

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA MESIN WARSTILA 18V38  
SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL  
(PT.PJBS Unit PLTD SUPPA)**

**DISUSUN OLEH :**

**SAFARUDDIN**

**D21114040**



**JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2020**

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA MESIN WARSTILA 18V38  
SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL  
(PT.PJBS Unit PLTD SUPPA)**

**OLEH :  
SAFARUDDIN  
D21114040**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2020**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**ANALISIS KINERJA MESIN WARSTILA 18V38  
SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL  
(PT.PJBS Unit PLTD SUPPA)**

**SAFARUDDIN**

**D21114040**

Makassar, 11/08/ 2020

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



**Ir. H. Baharuddin Mire, MT**  
NIP. 195509141 987021 001



**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, S.T., MT**  
NIP. 197911122 008122 002

Mengetahui,  
Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT**  
NIP. 1972 0825200031 001

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Safaruddin

Tempat Tanggal Lahir : Tawau, 06 Juni 1994

Alamat : Desa Bakaru, Kec. Lembang, Kab. Pinrang,  
Prov. Sulawesi Selatan

Riwayat Pendidikan :SD Islam Al Irsyad Kota Tarakan  
SMP N 5 Lembang Kab. Pinrang  
SMA Budi Utomo Jombang Jawa Timur

Riwayat Organisasi : Koordinator KPMP Cabang Lembang

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayahnya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan selesainya proses penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Ilyas Renring, MT, selaku ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir ini.
2. Ir. H. Baharuddin Mire, MT sebagai pembimbing yang dengan sabar memberikan saran, bimbingan, masukan dan dorongan yang sangat berharga dalam penyusunan tesis ini.
3. Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT sebagai pembimbing yang juga dengan sabar dan profesional memberikan saran, masukan, bimbingan, dan motivasi yang sangat berharga dalam penyusunan tesis ini.
4. Ir. Machmuud Syam, DEA, dan Ir. Mangkau, MT sebagai penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk menyempurnakan tesis ini.
5. Ibu Jazmiah selaku orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan dan motivasi bagi peneliti untuk menyelesaikan tesis ini.
6. Muhammad Ridwan, Dewi Sartika, dan Muhammad Nurhamzah selaku kakak-kakak tercinta yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

7. Para dosen dan karyawan di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin dan saudari Wahyu Nindi Sayekti, SST., M.Keb yang sama-sama berjuang dan saling memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Dengan segenap kerendahan hati, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna perbaikan dan penyempurnaan hasil skripsi ini. Semoga hasil skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Makassar, April 2020

**Safaruddin**

**D21114040**

## ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin wartsila 18V38 sebelum dan sesudah *overhaul*. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan desember 2018 di PT.PJBS Unit PLTD suppa. Penelitian ini menggunakan data mesin 4 yaitu data awal kinerja mesin, data sebelum dan sesudah overhaul.

Berdasarkan analisis kinerja mesin 4 dengan tipe 18V38 dengan pembuktian data awal dan data sebelum dan setelah *overhaul* memiliki perbedaan daya generator 11.340 kW pada waktu pemakaian mesin masih baru. Kemudian sebelum *overhaul* memiliki daya generator 8.620 kW dan setelah *overhaul* daya generator 9.720 kW, pada waktu mesin beroperasi 72.000 Jam Tahun 2018. Ini membuktikan bahwa semakin lama mesin digunakan (mesin telah beroperasi > 20 tahun) berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan, pada saat terjadi overhaul mengalami kerusakan di bagian komponen, sehingga daya generator yang dihasilkan menurun kemudian pada saat setelah *overhaul* dimana bagian komponen yang rusak diganti dengan komponen yang baru. Adapun daya yang dihasilkan setelah *overhaul* lebih tinggi dari sebelum terjadi *overhaul*.

**Kata Kunci :** Mesin Diesel tipe 18V38, Sebelum Dan Setelah *Overhaul*.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR BAGAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Gambaran Umum Mesin Diesel. ....	4
2.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel. ....	5
2.3 Sistem Bahan Bakar Diesel .....	8
2.4 Anatomi Motor. ....	18
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel.....	27
2.6 Overhaul .....	27
2.7 Rumus Analisis Perhitungan .....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	32
3.2 Alat Dan Bahan.....	32
3.3 Metode Pengumpulan Data .....	32
3.4 Flowchart Penelitian.....	34

<b>BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN &amp; PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Analisa Perhitungan Data mesin 4 dengan daya 8.620 kW .....	35
4.2 Pembahasan Kinerja Mesin data awal, Sebelum Dan Setelah <i>Overhaul</i> .....	38
4.3 Perbaikan Mesin Sebelum Dan Setelah Overhaul .....	42
4.4 Pembahasan Analisa Tekanan Mesin 4 72.000 Jam (Silinder A ) Sebelum <i>Overhaul</i> .....	45
4.5 Pembahasan Analisa Tekanan Mesin 4 72.000 Jam (Silinder B) Setelah <i>Overhaul</i> .....	46
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel .....	5
Gambar 2.2 <i>Turbocharger</i> .....	7
Gambar 2.3 Sistem Bahan Bakar Diesel.....	8
Gambar 2.4 Tahapan Pembakaran Pada Mesin CI.....	9
Gambar 2.5 <i>Vaccum Switch</i> .....	11
Gambar 2.6 <i>Feed Pump</i> .....	13
Gambar 2.7 <i>Injection Nozzle</i> Dan <i>Nozzle Holder</i> .....	17
Gambar 2.8 Anatomi Motor.....	18
Gambar 2.9 Batang Penghubung .....	20
Gambar 2.10 <i>Silinder Head</i> .....	22
Gambar 2.11 Piston.....	24
Gambar 2.12 <i>Valve/Katup</i> Tutup Dan Katup Buang.....	25
Gambar 2.13 <i>Crank Shaft</i> (Poros Engkol).....	27

## DAFTAR BAGAN

Bagan 3.1 Flowchart Penelitian.....	34
-------------------------------------	----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1.Latar belakang

Pemakaian mesin-mesin kalor dari jenis mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) khususnya dari kelompok motor bakar torak, sekarang ini meningkat dengan pesatnya pada bidang transportasi maupun untuk pembangkitan daya stasioner. Hal tersebut disebabkan karena motor bakar torak lebih sederhana, lebih ringan, jika dibandingkan dengan mesin-mesin dari jenis lainnya, sehingga lebih menguntungkan untuk dipakai pada bidang transportasi maupun untuk pembangkitan daya stasioner.

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* adalah peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator.

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) PT.PJBS Unit PLTD SUPPA sala satu pembangkit listrik tenaga diesel yang ada di Sulawesi Selatan tepatnya terletak di daerah Suppa Kabupaten Pinrang. PT.PJBS Unit PLTD SUPPA menghasilkan daya listrik sebesar  $6 \times 10,4$  MW.

Pada PT.PJBS Unit PLTD SUPPA Suppa menggunakan jenis mesin diesel wartsila tipe 18V38 sebagai mesin utama. Namun dalam beberapa tahun

terakhir ini mesin-mesin ini mengalami kerusakan yang disebabkan oleh karena mesin-mesin yang digunakan disana sudah tua sehingga mengakibatkan daya yang dihasilkan menurun. Mesin wartsilah tipe 18V38 yang sudah tua ini telah dilakukan penggantian beberapa komponen namun tidak membuat kinerja mesin kembali efisien. Mesin mengalami kerusakan pada bagian komponen-komponen sehingga mengakibatkan daya yang dihasilkan menurun, sehingga beberapa waktu yang lalu mesin warstilah 18V38 dilakukan overhaul.

Berdasarkan penjelasan di atas maka akan dilakukan penelitian tentang kinerja mesin wartsila tipe 18V38 yang ada di PLTD suppa dengan judul: **“Analisis Kinerja Mesin Warstila 18V38 sebelum dan sesudah *overhaul* (PT. PJBS Unit PLTD Suppa)”**.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Bagaimana menganalisis kinerja mesin wartsila 18V38 sebelum dan sesudah *overhaul*.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin wartsila 18V38 sebelum dan sesudah *overhaul*.

## **1.4. Batasan Masalah**

Untuk melaksanakan penelitian lebih terarah, maka dalam penelitian ini tidak semua masalah dapat dibahas. Akan tetapi hanya membatasi ruang

lingkup pembahasan yaitu mengenai kinerja mesin 4 wartsila 18V38 pada saat data awal dan di waktu 72000 Jam sebelum dan setelah *overhaul* di PT. PJBs PLTD Suppa.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

1. Bagi penulis :

Menambah pengetahuan baru mengenai kinerja mesin tipe wartsila 18V38 pada PT.PBJS Unit PLTD Suppa.

2. Bagi akademik

Sebagai bahan referensi atau perbandingan dalam melakukan pengujian atau percobaan yang berhubungan dengan kinerja mesin pada PLTD.

3. Bagi Perusahaan/industri

Memberi masukan kepada pihak perusahaan/industry mengenai segala sesuatu yang berhubungan dengan kinerja mesin tipe wartsila 18V38 PT. PBJS Unit PLTD Suppa.

## **BAB II**

### **TINJUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum Mesin Diesel**

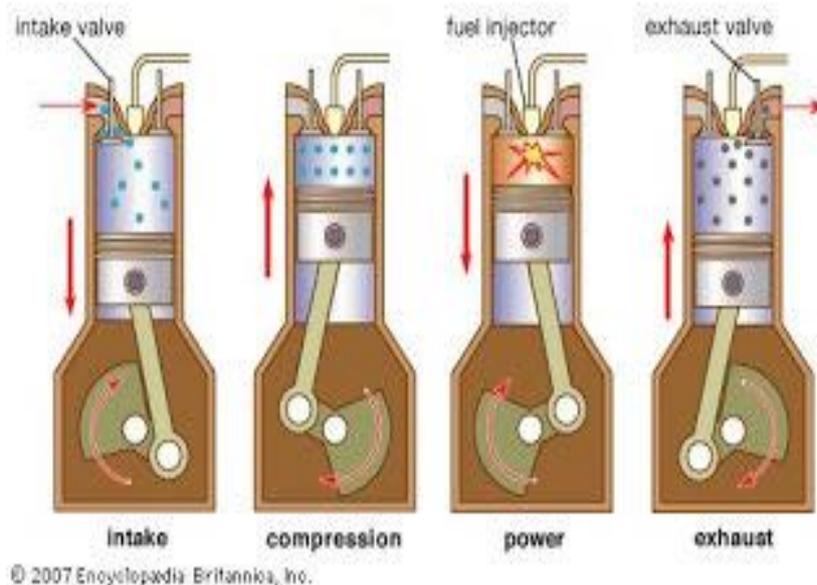
Mesin diesel adalah suatu mesin yang mengikuti prinsip kerja ideal siklus tekanan terbatas atau siklus gabungan (sikluss otto dan diesel), dimana pemasukan kalor terjadi pada volume dan tekanan konstan, mesin diesel termasuk dalam motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dan biasanya di sebut “motor penyalaan kompresi” (*compression ignition engine*) (Masrin & Latief, 2004).

Mesin diesel ada yang bekerja proses 2 langkah (*two strokes*) dan ada yang bekerja dengan empat langkah (*four strokes*) namun demikian, mesin mesin diesel yang digunakan di pembangkit umumnya bekerja dengan empat langkah (*four strokes*), yaitu pada dua kali putaran engkol baru menghasilkan satu kerja pada langkah kerjanya. Adapun pada mesin *two strokes*, satu kerja itu dihasilkan satu putaran engkol pada langkah kerjanya (Masrin & Latief, 2004).

Pada motor pembakaran dalam, energi kimia dari bahan bakar di ubah menjadi energy mekanis. Dimana energy mekanis tersebut dihasilkan dari kerja torak yang bergerak translasi (bolak balik) dalam silinder yang dihubungkan keporos engkol dengan perantaraan batang bergerak, dan gas hasil pembakaran yang terjadi selama proses pembakaran berlangsung itulah yang akan menggerakkan torak yang selanjutnya memutar engkol dan poros utamanya (Mahiruddin & Santri, 2002).

## 2.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel

Udara yang masuk ke dalam silinder melalui katup masuk karena hisapan piston yang bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), kemudian ditekan atau dikompresikan oleh piston sehingga, ketika udara dikompresi suhunya akan meningkat (seperti dinyatakan oleh Hukum Charles), mesin diesel menggunakan sifat ini untuk proses pembakaran. Udara disedot ke dalam ruang bakar mesin diesel dan dikompresi oleh piston yang merapat, jauh lebih tinggi dari rasio kompresi dari mesin bensin. Beberapa saat sebelum piston pada posisi TMA atau BTDC (*before top dead center*), bahan bakar diesel disemprotkan ke ruang bakar dalam tekanan yang cukup tinggi melalui nozzle supaya bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Hasil pencampuran ini terbakar dengan sendirinya dan terbakar dengan cepat (Buntarto, 2016).

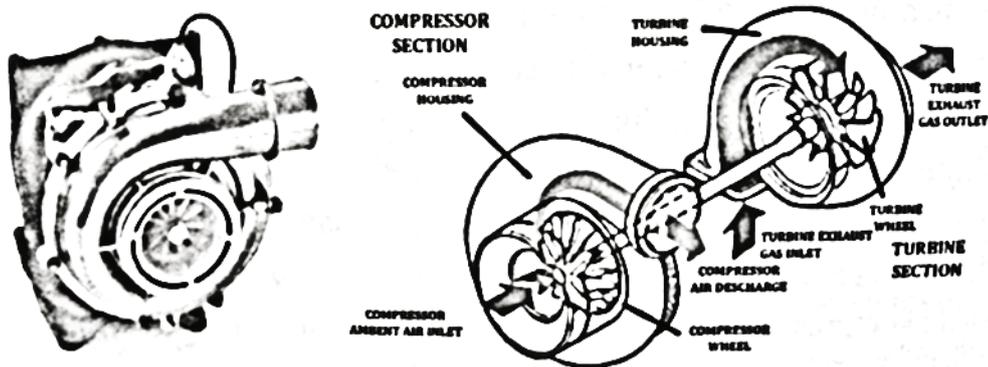


Gambar 2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel

Penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar mulai dilakukan saat piston mendekati TMA untuk menghindari detonasi. Penyemprotan bahan bakar yang langsung ke ruang bakar di atas piston dinamakan injeksi langsung (*direct injection*) sedangkan penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang khusus yang berhubungan langsung dengan ruang bakar utama di mana piston berada dinamakan injeksi tidak langsung (*indirect injection*). Ledakan tertutup ini menyebabkan gas dalam ruang pembakaran mengembang dengan cepat mendorong piston ke bawah dan menghasilkan tenaga linear. batang penghubung (*connecting rod*) menyalurkan gerakan ini ke crankshaft dan oleh crankshaft tenaga linear tadi diubah menjadi tenaga putar. Tenaga putar pada ujung poros crankshaft dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (Buntarto, 2016).

Untuk meningkatkan kemampuan mesin diesel, umumnya ditambahkan komponen:

1. *Turbocharger* atau *supercharger* untuk memperbanyak volume udara yang masuk ruang bakar karena udara yang masuk ruang bakar didorong oleh turbin pada turbo/*supercharger*.
2. *Intercooler* untuk mendinginkan udara yang akan masuk ruang bakar. Udara yang panas volumenya akan mengembang begitu juga sebaliknya, maka dengan didinginkannya udara tersebut supaya udara yang menempati ruang bakar bisa lebih banyak.



### Turbocharger

Gambar 2.2 Turbocharger

Mesin diesel sulit untuk hidup pada saat mesin dalam kondisi dingin. Beberapa mesin menggunakan pemanas elektronik kecil yang disebut busi pijar (*spark/glow plug*) di dalam silinder untuk memanaskan ruang bakar sebelum penyalaan mesin. Lainnya menggunakan pemanas “resistive grid” dalam “intake manifold” untuk menghangatkan udara masuk sampai mesin mencapai suhu operasi. Setelah mesin beroperasi pembakaran bahan bakar dalam silinder dengan efektif memanaskan mesin (Sukoco & Arifin, 2008).

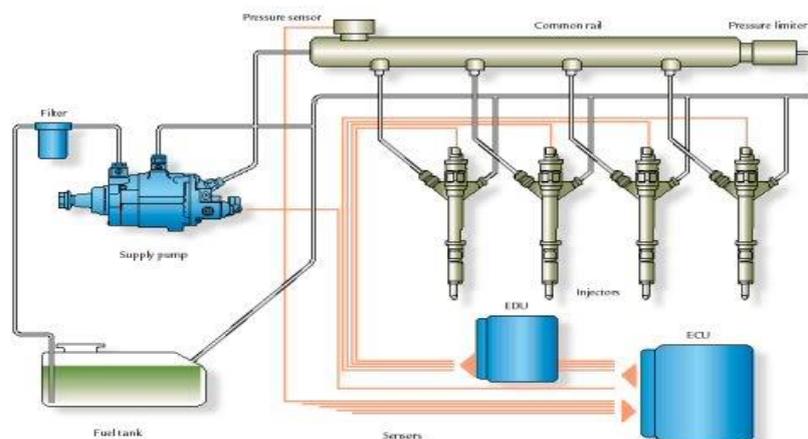
Pada cuaca yang sangat dingin, bahan bakar diesel mengental dan meningkatkan viscositas dan membentuk kristal lilin atau gel. Ini dapat mempengaruhi sistem bahan bakar dari tangki sampai nozzle, membuat penyalaan mesin dalam cuaca dingin menjadi sulit. Cara umum yang digunakan adalah untuk memanaskan penyaring bahan bakar dan jalur bahan bakar secara elektronik (Sukoco & Arifin, 2008).

Untuk aplikasi generator listrik, komponen penting dari mesin diesel adalah governor, yang mengontrol suplai bahan bakar agar putaran mesin selalu pada putaran yang diinginkan. Apabila putaran mesin turun terlalu banyak, kualitas

listrik yang dikeluarkan akan menurun sehingga peralatan listrik tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya, sedangkan apabila putaran mesin terlalu tinggi maka dapat mengakibatkan *over voltage* yang bisa merusak peralatan listrik. Mesin diesel modern menggunakan pengontrolan elektronik canggih untuk mencapai tujuan ini melalui modul kontrol elektronik (ECM) atau unit kontrol elektronik (ECU) – yang merupakan “komputer” dalam mesin. ECM/ECU menerima sinyal kecepatan mesin melalui sensor dan menggunakan algoritma dan mencari tabel kalibrasi yang disimpan dalam ECM/ECU. ECM/ECU juga mengontrol jumlah bahan bakar dan waktu melalui aktuator elektronik atau hidraulik untuk mengatur kecepatan mesin (Samlawi, 2018).

### 2.3 Sistem Bahan Bakar Diesel

Pada sistem bahan bakar mesin diesel, *feed pump* mengisap bahan bakar dari tangki bahan bakar. Bahan bakar disaring oleh fuel filter dan kandungan air yang terdapat pada bahan bakar dipisahkan oleh fuel separator sebelum dialirkan ke pompa injeksi bahan bakar (Buntarto, 2016).

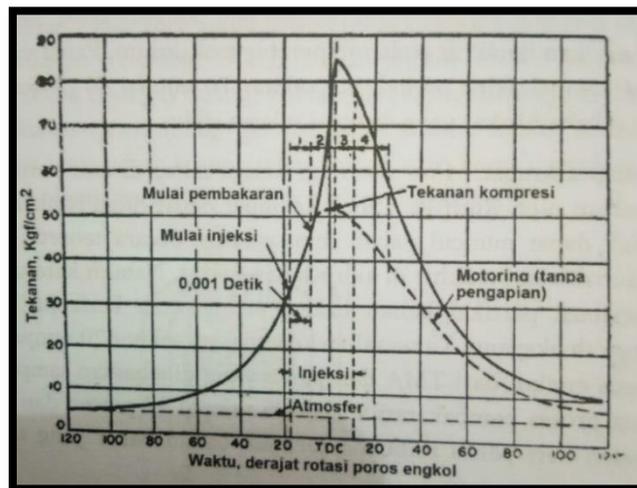


Gambar 2.3 Sistem Bahan Bakar Diesel

Rakitan pompa injeksi terdiri dari pompa injeksi, *governor*, *timer* dan *feed pump*. Ada dua tipe pompa injeksi, yaitu tipe distributor dan tipe line. Dengan digerakkan oleh mesin, pompa injeksi menekan bahan bakar dan mengalirkannya melalui *delivery line* ke injection nozzle dan selanjutnya diinjeksikan ke dalam silinder menurut urutan pembakaran (Kristanto, 2015).

Pompa injeksi dan nozzle dibuat dengan presisi pada ketelitian 1/1000 mm (1/40). Kemampuan mesin akan sangat terpengaruh bila bahan bakar tercampur debu atau air. Saringan bahan bakar dan fuel sendimenter digunakan untuk menyaring debu dan air yang terlindung dalam bahan bakar (Kristanto, 2015).

Tahap pembakaran menurut Ricardo pada mesin *compression ignition* (CI) dibagi menjadi tiga tahap pembakaran berbeda (lihat gambar 2.4) yaitu:



Gambar 2.4 Tahap pembakaran pada mesin CI

1. Tahap pertama: Priode kelambatan pembakaran, pada tahap ini sebagian bahan bakar telah diinjeksikan tetapi belum terbakar. Kelambatan pembakaran dihitung mulai injeksi dimana kurva P-0

terpisah dari pengkompresian udara murni. Kelambatan pembakaran adalah fasa persiapan yang pendek.

2. Tahap kedua: Pembakaran cepat atau tak terkendali. Pada tahap kedua ini tekanan naik dengan cepat karena selalama priode kelambatan pembakaran *droplet* itu bahan bakar telah mempunyai waktu untuk menyebar dan mendapat udara di sekitarnya. Tahap ini dihitung dari titik akhir tahap kelambatan sampai titik tekanan maksimum dalam tekanan indikator. Sekitar sepertiga panas dibebaskan selama priode ini.
3. Tahap ketiga: Pembakaran terkendali. Pada akhir tahap kedua tekanan dan temperatur sudah sangat tinggi sehingga *droplet* bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar ketika masuk ruang bakar dan kenaikan tekanan selanjutnya dapat dikendalikan dengan mekanik murni, yaitu dengan laju penginjeksian. Priode ini di asumsikan pada temperatur maksimum. Panas yang dibebaskan pada priode ini sekitar 70 sampai 80 persen dari panas total bahan bakar yang disuplai selama siklus.
4. Tahap keempat: *After burning*. ketiga tahap di atas pertama kali diusulkan oleh Ricardo. Tahap keempat dapat ditambahkan. Tahap ini tidak dapat muncul pada semua kasus. Secara teoritik pembakaran berakhir di akhir tahap ketiga. Karena miskinnya distribusi partikel bahan bakar, pembakaran berlanjut selama proses ekspansi. Lama tahap keempat ini sekitar 70 sampai 80 derajat poros engkol dari TMA dan panas yang dibebaskan sampai akhir semua proses pembakaran adalah 95 sampai 97 persen dan 3 sampai 5 persen dari panas terbang menjadi

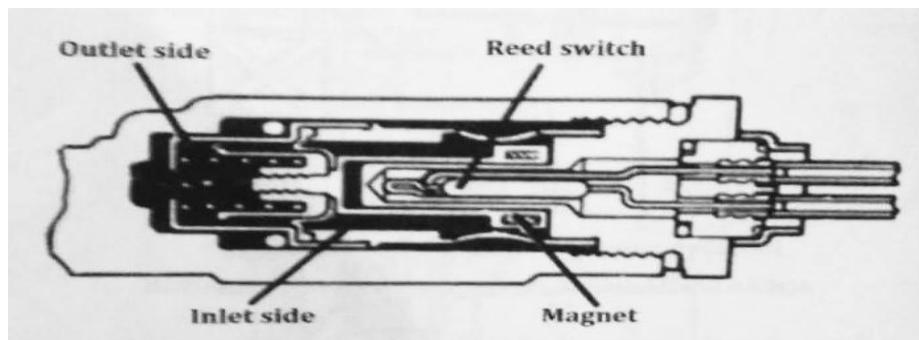
bahan bakar yang tak terbakar selama gas buang. (Astu pudjanarsa & Djati Nursuhud, 2013).

## 1. Pemanas Bahan Bakar

Lilin yang tidak terlarut terdapat pada bahan bakar diesel akan membeku sebagian pada suhu mendekati nol derajat Celcius dan akan menyumbat filter bahan bakar. Untuk mengatasi hal tersebut, maka ditambahkan pemanas bahan bakar pada sistem bahan bakar. Bagian utama bahan bakar terdiri dari elemen pemanas dan *vaccum switch*.

### a. *Vaccum Switch*

*Vaccum switch* dipasang pada bagian atas *fuel filter* untuk menghindari perbedaan tekanan bagian *inlet* dan *outlet* pada *fuel filter*. Bila perbedaan tekanannya lebih besar dari ketentuan, magnet akan bergerak ke arah bagian outlet dan menghubungkan *reed switch*. Ini mengakibatkan arus listrik mengalir melalui elemen pemanas bahan bakar (Buntarto, 2016).



Gambar 2.5 *Vaccum Switch*

### b. Elemen Pemanas

Elemen pemanas dipasang di dalam *fuel filter housing*, memanaskan *housing* dan selanjutnya bahan bakar mengalir melalui *housing*. Elemen ini

dibuat dari bahan keramik yang tahanannya dapat naik tajam bila temperaturnya naik. Oleh karena itu, elemen dapat digunakan sebagai alat kontrol temperatur yang dapat menghentikan arus listrik bila temperaturnya telah mencapai batas tertentu. Cara ini kerjanya lebih aman daripada dengan elemen pemanas konvensional.

Pada saat suhu rendah, lilin yang terkandung di dalam bahan bakar akan memadat sebagian dan menyumbat filter. Hal ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan bahan bakar pada bagian *inlet* dan *outlet*. Bila perbedaan ini melebihi dari 150 mmHg, *vaccum switch* akan ON dan mengalirkan arus listrik melalui elemen pemanas bahan bakar. Ini akan mencairkan lilin agar tidak menyumbat filter. Bila perbedaan tekanan turun dibawah 120 mmHg, *vaccum switch* OFF menghentikan aliran arus listrik ke elemen pemanas bahan bakar (Buntarto, 2016).

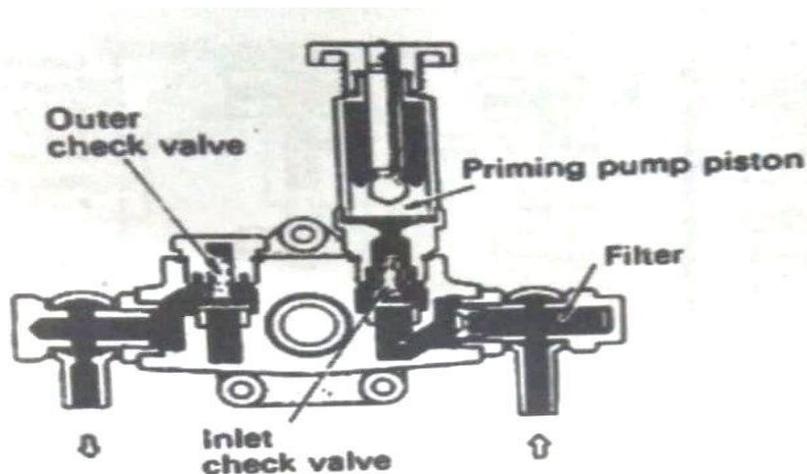
### c. *Feed Pump*

*Feed pump* berfungsi untuk mengisap bahan bakar dari tangki dan menekannya ke pompa melalui fuel filter. *Feed pump* adalah *single acting pump* yang dipasang pada bagian sisi pompa injeksi dan digerakkan oleh camshaft pompa injeksi. Manual pump juga dipasang di sini untuk mengeluarkan udara dari saluran bahan bakar bila diperlukan sebelum mesin dihidupkan (Buntarto, 2016).

Ruang bahan bakar pada pompa injeksi harus terus-menerus terisi bahan bakar dalam jumlah yang cukup, tetapi *fuel pump* sendiri tidak dapat memberikan bahan bakaryang cukup pada saat mesin kecepatan tinggi.

Karena itu, bahan bakar diesel harus dialirkan ke pompa injeksi pada tekanan tertentu dan untuk tujuan itu tekanan pengaliran dipertahankan pada 1,8-2,2 kg/cm<sup>2</sup> (25-31 psi, 177-216 kpa) (Buntarto, 2016).

Cara kerja *feed pump* digerakkan oleh camshaft pompa injeksi yang menyebabkan piston bergerak bolak balik, sehingga dapat mengisap dan mengeluarkan bahan bakar dengan tekanan. Pada saat camshaft (1) tidak mendorong *tappet roller* (2), piston (4) mendorong *push rod* (5) ke bawah karena adanya tegangan piston spring (6). Pada saat itu, volume pada *pressure chamber* (7) membesar dan membuka *inlet valve* (5) untuk mengisap bahan bakar. Camshaft terus berputar dan kadang-kadang mendorong piston melalui *tappet roller* dan *push rod* (Buntarto, 2016).



Gambar 2.6 *Feed Pump*

Piston naik menekan bahan bakar didalam *pressure chamber*, menutup *inlet valve* (8) dan bahan bakar dikeluarkan dengan tekanan. Sebagian bahan bakar yang dikeluarkan memasuki *pressure chamber* (9)

yang terletak di belakang piston. Bila tekanan bahan bakar (tekanan penegluaran) di belakang piston naik mencapai 1,8-2,2 kg/cm<sup>2</sup> (25-31 psi, 177-126 kpa), tegangan pegas tidak cukup kuat untuk menurunkan piston. Akibatnya, piston tidak dapat lagi bergerak bolak balik dan pompa berhenti bekerja (Buntarto, 2016).

## 2. Pompa Injeksi

Pompa injeksi biasanya dipasang di bagian sisi mesin dan digerakkan oleh *crankshaft* melalui *timing gear* atau sebuah *timing belt*, ada dua tipe pompa injeksi, yaitu tipe distributor dan tipe in-line (Samlawi, 2018).

### a. Pompa Injeksi Tipe Distributor

Bahan bakar diesel disaring oleh water sedimenter dan *fuel filter* kemudian ditekan ke rumah pompa injeksi oleh vane *type feed pump* yang mempunyai empat buah vane. Bahan bakar melumasi komponen pomppa pada saat mengalir ke pump plunger. Sebagian bahan bakar kembali ke tangki melalui *overflow screw* sambil mendinginkan bagian-bagian pompa yang dilewatinya (Samlawi, 2018).

*Pump plunger* bergerak lurus bolak-balik sambil berputar akibat Bergeraknya *drive shaft, compleate, tappet rolers, plunger spring* dan bagian-bagian lainnya. Gerakan bolak-balik plunger menaikkan tekanan bahan bakar dan menekan bahan bakar melalui *delivery valve* ke *injection nozzle*. *Machanical governor* mengatur banyaknya bahan bakar yang disemprotkan dari nozzle dengan menggerakkan *spiil ring*, sehingga mengubah saat akhir langkah efektif plunger (Samlawi, 2018).

*Fuel injection timing* diatur oleh *pressure timer*. *Timer* diatur oleh tekanan pengirim dari *fuel pump*. Posisi *tapped roller* diubah-ubah oleh timer untuk mengatur *injection timing*. Mesin mati bila injeksi bahan bakar berakhir. Pada saat *starter switch off*, arus yang mengalir ke *fuel cut off solenoid* terputus dan saluran bahan bakar tertutup oleh *solenoid plunger*. Akibatnya, penginjeksian bahan bakar berhenti dan mesin mati (Samlawi, 2018).

b. Pompa Injeksi Tipe In Line

*Feed pump* mengisap bahan bakar dari tangki bahan bakar dan menekan bahan bakar yang telah disaring oleh filter ke pompa injeksi. Pompa injeksi tipe in-line mempunyai cam dan plunger yang jumlahnya sama dengan jumlah silinder pada mesin. Cam menggerakkan plungersesuai dengan firing order mesin. Gerak lurus bolak-balik dari plunger ini menekan bahan bakar dan mengalirkannya ke *injection nozzle* melalui *delivery valve* (Sukoco & Arifin, 2008).

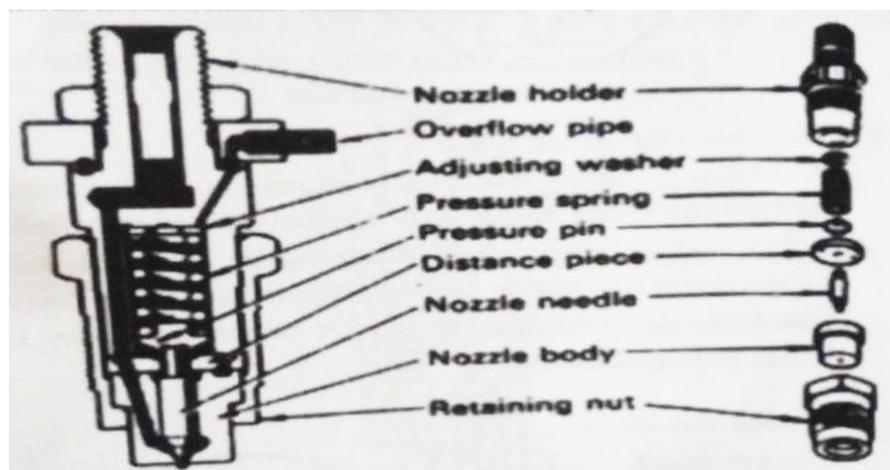
*Delivery valve* berfungsi mencegah aliran bahan bakar balik dari saluran bahan bakar ke plunger, dan mengisap bahan bakar dari *injection nozzle* untuk menghentikan injeksi dengan cepat. Plunger dilumasi oleh bahan bakar diesel dan camshaft oleh minyak pelumas mesin. *Governor* mengatur banyaknya bahan bakar yang disemprotkan oleh *injection nozzle* dengan menggeser *control rack*. *Governor* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu *simple mechanical sentrifugal governor* dan *combined governor*, yang merupakan kombinasi antara *pneumatic governor* dan *mechanical*

*centrifugal governor*. Timing injeksi bahan bakar diatur oleh *automatic centrifugal timer*. *Timer* mengatur putaran *camshaft*. Mesin mati jika *control rack* digerakkan ke arah akhir bahan bakar (Sukoco & Arifin, 2008).

### 3. *Injection Nozzle* dan *Nozzle Holder*

*Injection nozzle* terdiri dari *nozzle body* dan *needle*. *Nozzle* menyembrotkan bahan bakar dari pompa injeksi ke dalam silinder dengan tekanan tertentu untuk mengatomisasi bahan bakar secara merata. Pompa injeksi adalah sejenis katup yang dikerjakan dengan sangat presisi dengan toleransi 0,001 mm. Oleh karena itu, bila *nozzle* perlu diganti, *nozzle body* dan *needle* harus diganti bersama-sama. *Injection nozzle* harus dilumasi dengan bahan bakar diesel. *Nozzle holder* memegang *nozzle* dengan *retaining nut* dan *distance piece*. *Nozzle holder* terdiri dari *adjusting washer* yang mengatur kekuatan tekanan pegas untuk menentukan tekanan membukanya katup *nozzle* (Kristanto, 2015).

Cara kerja sebelum penginjeksian bahan bakar yang bertekanan tinggi mengalir dari pompa injeksi melalui saluran minyak pada *nozzle holder* menuju ke *oil pool* pada bagian bawah *nozzle body* (Kristanto, 2015)



Gambar 2.7 *Injection Nozzle* dan *Nozzle Holder*

Penginjeksian bahan bakar bila tekanan bahan bakar pada *oil pool* naik, akan menekan permukaan ujung *needle*. Jika tekanan ini melebihi kekuatan pegas, *nozzle needle* akan terdorong ke atas oleh tekanan bahan bakar dan *nozzle body seat*. Kejadian ini menyebabkan nozzle menyembrotkan bahan bakar ke ruang bakar (Kristanto, 2015).

Akhir penginjeksian bila pompa injeksi berhenti mengalirkan bahan bakar, tekanan bahan bakar turun dan tekanan pegas (*pressure spring*) mengembalikan *nozzle needle* ke posisi semula. Pada saat ini, *needle* tertekan kuat pada *nozzle body seat* dan menutup saluran bahan bakar. Sebagian bahan bakar tersisa di antara *nozzle needle* dan *nozzle body*, antara *pressure pin* dan *nozzle holder* dan lain-lain, melumasi semua komponen dan kembali ke *overflow pipe* (Kristanto, 2015).

Seperti terlihat di atas, *nozzle needle* dan *nozzle body* membentuk sejenis katup untuk mengatur awal dan akhir injeksi bahan bakar dengan tekanan bahan bakar.

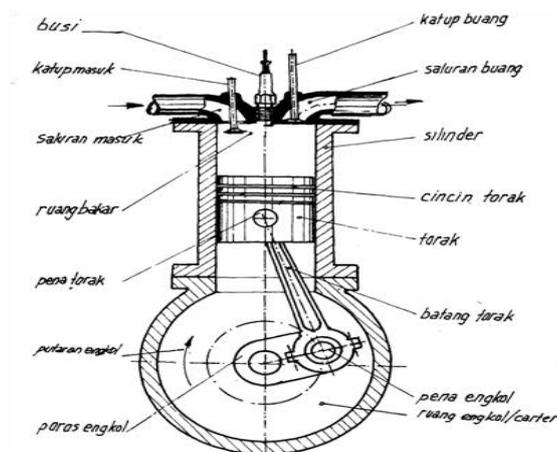
Ada dua macam nozzle yaitu model lubang dan model pin. Nozzle model lubang terdiri dari lubang satu dan lubang banyak. Sedangkan nozzle model pin terdiri dari jenis *throttle* dan jenis *pintle*. Jenis nozzle sangat menentukan proses pembakaran dan bentuk ruang bakar. Jenis lubang banyak umumnya digunakan untuk mesin semprot langsung, sedangkan model pin umumnya digunakan untuk mesin yang mempunyai ruang bakar muka dan ruang bakar model pusat (Samlawi, 2018).

Kebanyakan nozzle model pin adalah jenis *throttle*. Karena bentuk khusus dari jenis *pintle*, pada saat permulaaninjeksi, hanya sedikit jumlah bahan bakar

yang ditekan ke dalam ruang bakar muka. Tetapi pada akhir penyemprotan, jumlah yang disemprotkan bertambah banyak, bila sejumlah bahan yang dibutuhkan disalurkan (Samlawi, 2018).

Dengan demikian, kemungkinan terjadinya detonasi sangat kecil sekali dan pemakaian bahan bakar lebih hemat. Permukaan luncur antara *nozzle body* dan jarumnya diberi sedikit kelonggaran untuk memungkinkan bahan bakar dapat melumasi permukaan tersebut.

## 2.4 Anatomi Motor



Gambar 2.8 Anatomi Motor

### 1. Blok silinder

Blok silinder merupakan bagian dari dasar mesin yang terbuat dari besi tuang atau paduan aluminium. Susunan silinder terpasang pada bagian blok silinder bagian atas blok silinder ditutup oleh kepala silinder dan dibagian bawah terdapat bak engkol, dimana poros engkol bertumpu. Pada blok silinder motor berpendingin air terdapat mantel air sebagai sarana sirkulasi air pendingin dalam mengelilingi susunan silinder (Kristanto, 2015).

## 2. Poros bubungan

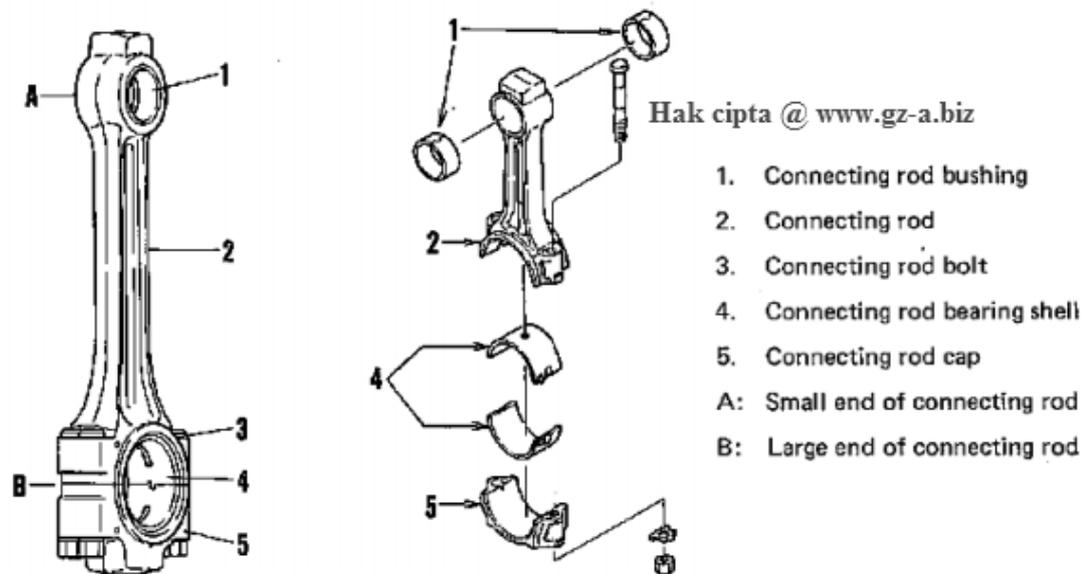
Poros bubungan (*camshaft*) adalah poros putar yang mempunyai jumlah bubungan (*cam*). Bubungan tersebut disusun sedemikian rupa pada poros yang digunakan untuk menggerakkan katup terbuka atau tertutup sesuai siklus motor. Selain untuk mengatur pembukaan dan penutupan katup, poros bubungan juga berfungsi menggerakkan distributor dan pompa bahan bakar mekanik (Kristanto, 2015).

## 3. Ruang bakar

Ruang antara kepala silinder dan muka torak dimana pembakaran terjadi. Ukuran dari ruang bakar secara kontinu berubah dari volume minimum saat torak berada di TMA ke volume maksimum saat torak berada di TMB (Kristanto, 2015).

## 4. Batang penghubung

Batang penghubung (*connecting rod*) adalah sambungan yang menghubungkan dengan poros engkol, fungsi dari batang penghubung adalah memindahkan gaya dorong piston ke poros engkol selama proses langkah daya. Pada batang penghubung terdapat bantalan batang penghubung (*connecting rod bearing*) yang menghubungkan ke batang penghubung poros engkol. Sebuah pin digunakan untuk menghubungkan piston ke batang penghubung. Pin ini disebut pena torak (piston pin) atau *gudgeon pin* (Kristanto, 2015).



Gambar 2.9 Batang penghubung

5. Bantalan utama (*main bearing*)

Bantalan yang di hubungkan dengan blok motor dimana poros engkol berputar , jumlah maksimum bantalan utama sama dengan jumlah torak ditambah satu (Londongsalu & Linggiallo, 2000).

6. Bak engkol (*crankcase*)

Bak engkol terdapat di bagian bawah blok silinder. Pada bak engkol kebanyakan dilengkapi bak pelumas yang merupakan bagian dari bak engkol (Kristanto, 2015).

7. Poros engkol

Poros engkol (*crankshaft*) adalah poros putar yang terletak di bagian dasar blok mesin dan ditopang oleh bantalan utama (*main bearing*) di bak engkol. Poros ini diputar oleh gerakan torak bolak balik melalui batang penghubung (*connecting rod*) ke poros engkol. Gerakan naik turun torak di pindahkan ke poros engkol melalui batang torak yang dipasang pada bantalan poros engkol (Kristanto, 2015).

## 8. Silinder

Silinder merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat perubahan tenaga kalor menjadi tenaga mekanik dengan gerak bolak balik torak karena kompresi dan ekspansi, karena proses pembakaran menghasilkan tekanan yang tinggi, dimungkinkan terjadi kebocoran. Gas keluar dari ruang silinder menuju bagian bawah mesin. Kebocoran biasanya melalui celah antara dinding silinder dan cincin torak, kebocoran akan menurunkan tekanan sehingga motor kehilangan sebagian energinya (Kristanto, 2015).

## 9. Manifold buang (*exhaust manifold*)

Sistem perpipaan yang membawa gas buang keluar dari kepala silinder. *Manifold* buang dibautkan ke sisi kepala silinder sehingga pipa-pipa tersebut segaris dengan saluran buang (*exhaust port*) (Masrin & Latief, 2004).

## 10. Sistem pembuangan (*exhaust system*)

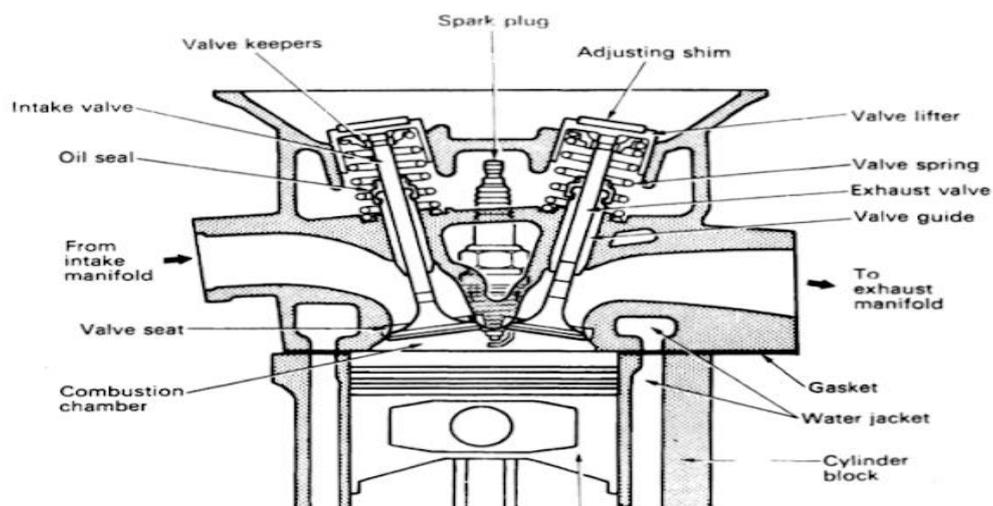
sistem pipa yang mengeluarkan gas buang dari silinder. sistem ini terdiri dari manifold buang yang membawa gas buang keluar dari motor, pengubah katalitis (*catalytic converter*) atau pengubah panas (*thermal converter*) untuk mengurangi emisi, knalpot atau peredam suara untuk mengurangi suara bising motor serta pipa pancar (*tailpipe*) untuk membawa gas buang menjauh dari kompartemen penumpang (Londongsalu & Linggiallo, 2000).

## 11. Kepala silinder.

Kepala silinder (*cylinder head*) merupakan penutup bagian atas silinder. Fungsi utama kepala silinder adalah menyediakan ruang dimana campuran bahan

bakar dengan udarah dapat dibakar secara efisien. Hal ini dilakukan dengan menyediakan lubang berbentuk khusus atau ruang yang posisinya berada di atas setiap silinder, saat silinder di bautkan ke blok silinder. Di kepala silinder terdapat busi (pada bensin) atau injector bahan bakar (pada motor diesel) (Sukoco & Arifin, 2008)

Kepala silinder juga mempunyai beberapa saluran yang disebut ports, saluran masuk adalah saluran campuran bahan bakar dan udarah kedalam ruang pembakaran. Saluran pembuangan adalah saluran pembuangan gas dari dalam ruang pembakaran ke system pembuangan. Saluran pendingin adalah saluran yang di lalui air pendingin dari radiator. Katup masuk dan katup buang ini ditempatkan sebagai penyekat terhadap ruang pembakaran dan saluran buang, pada saat katup-katup berada pada saat tertutup (Sukoco & Arifin, 2008).



Gambar 2.10 Silinder Head

## 12. Gasket kepala silinder

Terletak di antara kepala silinder dan blok silinder berfungsi untuk mencegah kebocoran gas pembakaran, air pendingin dan oli, gasket kepala silinder

harus tahan panas dan tekanan akibat perubahan suhu (Sumardiyanto & Susilowati, 2018).

13. Manifold masukan (*intake manifold*)

Sistem perpipaan yang berfungsi untuk menyalurkan campuran udara bahan bakar (pada motor bensin) atau udara (pada motor diesel) ke dalam silinder pada kebanyakan motor penyalaan motor bensin, bahan bakar ditambahkan ke udara yang mengalir dalam *system manifold* masukan, baik oleh injektor bahan bakar maupun dengan karburator. Beberapa manifold masukan dipanasi untuk meningkatkan penguapan bahan bakar. Manifold masukan dibautkan ke sisi kepala silinder sehingga pipa-pipa tersebut sejajar dengan saluran masuk (*intake port*) (Prasetya, 2007).

14. Bak pelumas

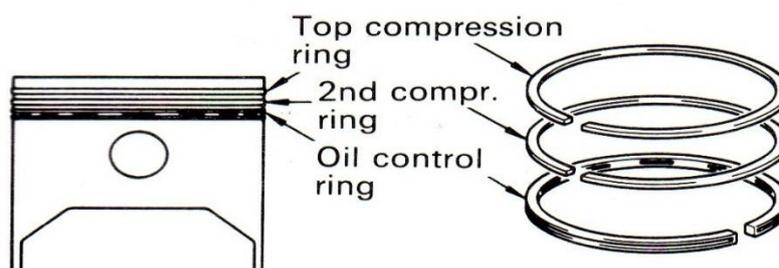
*Reservoir* untuk sistem pelumas motor biasanya merupakan bagian dari bak engkol. Beberapa motor mobil dengan poros bubungan di atas kepala silinder mempunyai bak pelumas sekunder di kepala silinder untuk menyuplai minyak ke mekanisme katup dan bubungan (*cam*) (Sukoco & Arifin, 2008).

15. Torak massa berbentuk silindris yang bergerak bolak balik didalam silinder, meneruskan gaya tekanan didalam ruang bakar untuk memutar poros engkol. Puncak torak, disebut mahkota (*crown*) torak atau kepala torak, kepala torak didesain secara tepat agar mampu membuat pusaran pada campuran bahan bakar-udara dan efisien terhadap pembuangan gas bekas, permukaan torak ada yang rata, concave. Domed atau kombinasi bentuk tersebut. Hal ini dipilih sesuai bentuk ruang bahan bakar agar tercapai efisien maksimum (Samlawi, 2018).

16. Pena torak

Pena torak sebuah pin yang menghubungkan torak dengan batang penghubung, yang memungkinkan batang penghubung berayun dalam piston (Sumardiyanto & Susilowati, 2018).

17. Cincin torak, biasanya torak dilengkapi tiga cincin yang berlingkar di sekelilingnya dan membentuk bidang geser yang melawan dinding silinder. Didekat puncak tprak pada umumnya terdapat dua cincin kompresi. Fungsi cincin ini adalah untuk membentuk perapat untuk membentuk perapat antara dinding silinder dengan torak, dan untuk membatasi gas tekanan tinggi didalam ruang bakar bocor lewat torak kedalam bak engkol. Cincin ke tiga yang terletak di bawah cincin kompresi adalah cincin minyak yang berfungsi untuk mencegah minyak pelumas pada dinding silinder masuk ke ruang bakar pada saat langkah kompresi (Sumardiyanto & Susilowati, 2018).



Gambar 2.11 Piston

18. Batang penekan (*push rods*)

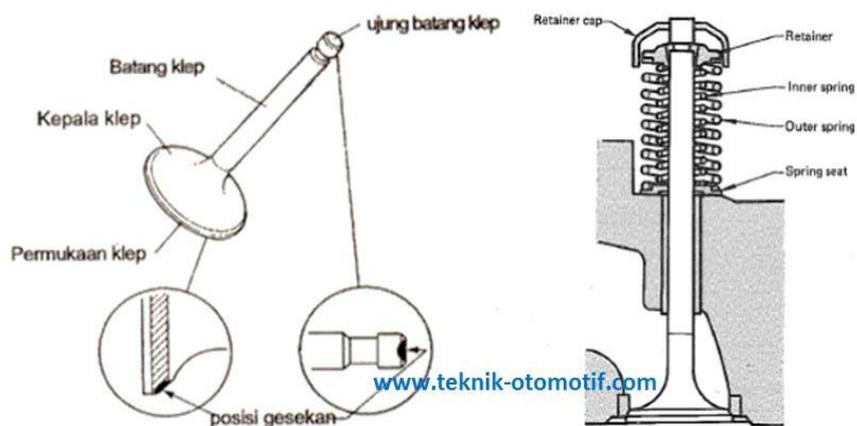
Sambungan mekanis antara poros bubungan dan katup pada motor dengan katup di atas kepala silinder (*overhead valve*) dengan poros bubungan pada bak engkol (*crankcase*) (Kristanto, 2015).

19. Busi (*spark plug*)

Perangkat elektrik yang digunakan untuk mengawali pembakaran pada motor penyalan percik dengan menciptakan percikan nyala api bertegangan tinggi ke celah electrode. Busi umumnya dibuat dari metal dikelilingi isolasi keramik (Buntarto, 2016).

## 20. Katup

Katup merupakan komponen mesin yang berfungsi untuk mengendalikan aliran udara dan bahan bakar (pada motor bensin) atau udarah (pada motor diesel) masuk kedalam silinder (katup masuk) dan mengeluarkan gas sisah pembakaran dari silinder (katup buang). secara umum, motor menggunakan penggerak katup mekanik (*poppet valves*) yang berisi pegas dimana dorongan untuk membuka dan menutup katup yang dilakukan aktivitas oleh poros bubungan (Kristanto, 2015).



Gambar 2.12 Valve/ katup tutup dan katup buang

## 21. Mantel air (*water jacket*)

Sistem aliran cairan melintasi sekeliling silinder pada umumnya di bangun sebagai bagian dari blok dan kepala silinder. Cairan pendingin mengalir sepanjang mantel air dan menjaga dinding silinder agar tidak terlalu panas. Pendingin yang digunakan pada umumnya berupa campuran air dengan *ethylene glycol* (Buntarto,

2016).

## 22. Radiator

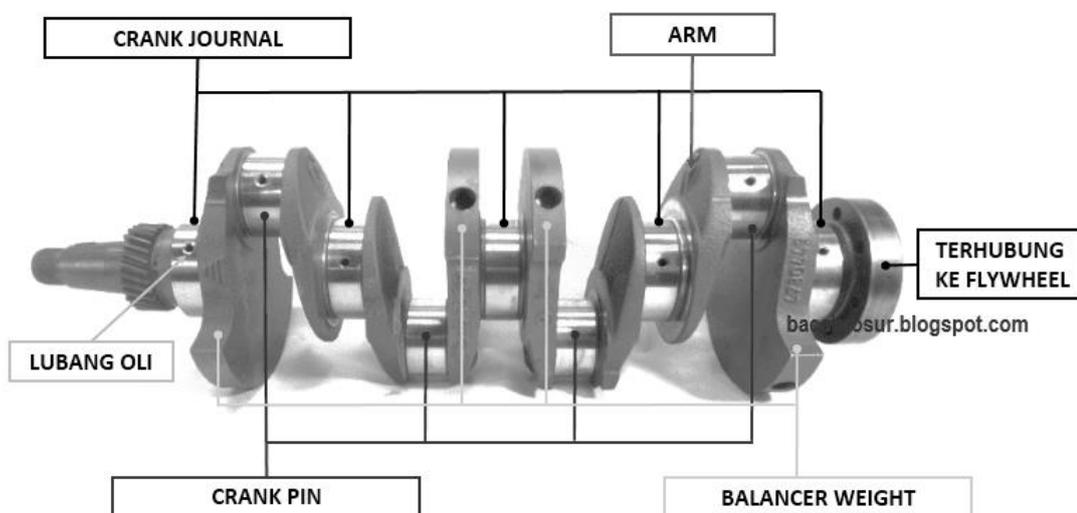
Penukar panas cairan ke udara (*liquid-to-air heat exchanger*), menggunakan konstruksi sarang lebah untuk memindahkan panas dari pendinginan motor setelah motor didinginkan (Kristanto, 2015).

## 23. Pompa air

Pompa yang di gunakan untuk sirkulasi pendingin melalui motor dan radiator. Pada umumnya secara mekanik bekerja berdasarkan putaran motor (Buntarto, 2016).

## 24. Roda penerus (*flywheel*)

Bagian dari komponen mesin yang menyimpan energi atau tenaga putar. Roda penerus memiliki momen inersia besar dan dihubungkan ke poros engkol motor (Kristanto, 2015).



gamba 2.13 *Crank Shaft* (Poros Engkol)

## 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*), yang berfungsi menghasilkan energy mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Didalam mesin diesel terjadi penyalaan sendiri, karena proses kerjanya berdasarkan udara murni yang dimanfaatkan didalam silinder pada tekanan yang tinggi (35–50atm), sehingga temperature didalam silinder naik, dan pada saat itu bahan bakar disemprot kandalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi melebihi titiknya bahan bakar sehingga akan menyala secara otomatis yang menimbulkan ledakan bahan bakar (Buntarto, 2016).

Mesin diesel memiliki efisiensi termal terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi. Mesin diesel kecepatan-rendah (seperti pada mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50% (KEMENDIKBUD, 2013).

## 2.6 Overhaul

*Overhaul* merupakan suatu kata dalam bahasa inggris yang mempunyai arti pemeriksaan yang sangat teliti, jadi dapat kita kembangkan lagi tentang pengertian atau definisi *engine over haul* yaitu kegiatan pembongkaran komponen komponen kendaraan, kemudian diperiksa dengan sangat teliti agar didapat data-data yang valid, sehingga langkah perbaikan selanjutnya dapat tepat atau sesuai. *Overhaul* tidak hanya sebatas pada mesin saja, tetapi *over haul* juga ada pada komponen lainnya seperti OH Rem, OH Karburator, OH, Transmisi, OH Distributor dan lain sebagainya. Kembali ke topik utama yakni tentang pengertian *engine over haul*, di

atas sudah di jelaskan tentang definisi dari *over haul* itu sendiri (Kristanto, 2015).

Jadi *engine over haul* adalah suatu kegiatan pembongkaran mesin (*engine*) pada kendaraan, dan kemudian komponen mesin tersebut diperiksa dengan sangat teliti supaya didapat data-data yang valid sehingga langkah perbaikan selanjutnya dapat tepat. Serta masalah pada *engine* tersebut teratasi. Orang awam sering menyebutkan *engine overhaul* sebagai turun mesin. Pada saat melakukan *engine over haul* banyak komponen-komponen mesin yang diperiksa dengan sangat teliti, seperti piston, poros engkol, block silinder, mekanisme katup, poros nok dan lain sebagainya. Biasanya engine overhaul dilakukan karena adanya masalah pada bagian mesin seperti, adanya suara abnormal, kompresi rendah atau adanya oli yang terbakar akibat ausnya ring piston atau silinder pada block silinder, kerusakan pada piston, batang piston, poros engkol dan lain sebagainya (Kristanto, 2015).

Selain *engine over haul* juga ada yang namanya *engine semi over haul*, yaitu pembongkaran hanya setengah mesinnya saja tidak sampai pada *block silinder*, ini dilakukan ketika terjadi bercampurnya oli dan air akibat kepala silinder melengkung, ditambah gasket kepala silinder yang sudah rusak. Atau kerusakan pada mekanisme katup, poros nok, dan lain sebagainya (Sumardiyanto & Susilowati, 2018).

## 2.7 Rumus Analisis Perhitungan

### 1. Rumus Perhitungan Daya Efektif

$$P_e = \frac{P_g}{\eta_g}$$

Keterangan :

$P_e$  = Daya efektif

$P_g$  = Daya generator

$\eta_g$  = Efisiensi generator

### 2. Rumus Perhitungan Daya Indikasi

$$P_i = \frac{P_e}{\eta_m}$$

Keterangan :

$P_i$  = Daya indikasi

$P_e$  = Daya efektif

$\eta_m$  = Efisiensi mekanis

### 3. Rumus Perhitungan Pemakaian Bahan Bakar

$$FC = SFC \cdot P_e$$

Keterangan :

FC = Jumlah pemakaian Bahan Bakar (kg/jam)

$SFC = \text{Specific Fuel Consumption}$  (Konsumsi Bahan Bakar)

(kg/Kw-jam)

$P_e = \text{Daya efektif}$

#### 4. Rumus Perhitungan Efisiensi Thermal

$$\eta_T = \frac{3,6 \times 10^6}{LHV \times SFC} \times 100\%$$

Keterangan :

$\eta_T = \text{Efisiensi Thermal}$

$LHV = \text{Energi bahan bakar (kW)}$

$SFC = \text{Specific fuel consumption (konsumsi bahan bakar) (kg/Kw-jam)}$

#### 5. Rumus Perhitungan Efisiensi Volumetrik

$$\eta_{vol} = \frac{m_{akt}}{m_{th}} \times 100\%$$

Keterangan :

$\eta_{vol} = \text{Efisiensi Volumetrik}$

$m_{akt} = \text{Laju Aliran Massa Udara Aktual}$

$m_{th} = \text{Laju Aliran Massa Udara Teoritis}$

#### 6. Densitas Udara Teoritis

$$\rho_{teo} = \frac{P_{sup}}{R \times T_{sup}}$$

Keterangan :

$\rho_{teo} = \text{Densitas Udara Teoritis}$

$P_{sup} = \text{Tekanan Udara Awal Kompresi}$

$R$  = Rasio Bahan Bakar

$T_{sup}$  = Temperatur Awal Kompresi

#### 7. Densitas Udara Aktual

$$\rho_{akt} = \frac{P_a}{R \times T_a}$$

Keterangan :

$\rho_{akt}$  = Densitas Udara Aktual

$P_a$  = Tekanan Awal Kompresi

$R$  = Rasio Bahan Bakar

$T_a$  = Temperatur Awal Kompresi