



REPUBLIK INDONESIA  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201953411, 3 September 2019

**Pencipta**

Nama : **Hasan Maksun, Wawan Purwanto, , dkk**

Alamat : Komplek Jondul V, Blok O, No. 06, RT. 005, RW.013, Kel. Parupuk Tabing, Kec. Koto Tangah, , Kota Padang, Sumatera Barat, , Sumatera Barat, 25171

Kewarganegaraan : Indonesia

**Pemegang Hak Cipta**

Nama : **Hasan Maksun, Wawan Purwanto, , dkk**

Alamat : Komplek Jondul V, Blok O, No. 06, RT. 005, RW.013, Kel. Parupuk Tabing, Kec. Koto Tangah, , Kota Padang, 3, 25171

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **Teknologi Motor Bakar**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 1 November 2012, di Padang

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000152695

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.  
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.  
NIP. 196611181994031001

**LAMPIRAN PENCIPTA**

No	Nama	Alamat
1	Hasan Maksun	Komplek Jondul V, Blok O, No. 06, RT. 005, RW.013, Kel. Parupuk Tabing, Kec. Koto Tengah,
2	Wawan Purwanto	Jl. Adinegoro, No. 12a, RT.001, RW.002, Kel. Lubuk Buaya, Kec. Koto Tengah,
3	Raffles	Simpang Musholla Aljadid, Jl. Pulau No. 33, RT.001/ RW.002, Desa. Piai Tengah, Kec. Pauh,

**LAMPIRAN PEMEGANG**

No	Nama	Alamat
1	Hasan Maksun	Komplek Jondul V, Blok O, No. 06, RT. 005, RW.013, Kel. Parupuk Tabing, Kec. Koto Tengah,
2	Wawan Purwanto	Jl. Adinegoro, No. 12a, RT.001, RW.002, Kel. Lubuk Buaya, Kec. Koto Tengah,
3	Raffles	Simpang Musholla Aljadid, Jl. Pulau No. 33, RT.001/ RW.002, Desa. Piai Tengah, Kec. Pauh,



# Teknologi Motor Bakar

Hasan Maksum,  
Reffles,  
Wawan Purwanto



Penerbitan & Percetakan  
**UNP PRESS**

# KATA PENGANTAR

Hasan Maksum, dkk.

Teknologi Motor Bakar

Hasan Maksum, dkk.

## TEKNOLOGI MOTOR BAKAR

Hasan Maksum

Raffles

Wawan Purwanto



UNP PRESS

2012

**Hasan Maksum, dkk**

*Teknologi Motor Bakar  
/ Hasan Maksum, dkk*

*Editor, Tim editor UNP Press*

*Penerbit UNP Press Padang, 2012*

*1 (satu) jilid; 14 x 21 cm (A5)*

*198 hal.*

**Teknologi Motor Bakar**

**ISBN: 978-602-8819-39-8**

*1. Teknologi 2. Teknik 3. Pendidikan*

*1. UNP Press Padang*

---

**Teknologi Motor Bakar**

*Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis*

*Hak penerbitan pada UNP Press*

---

*Penyusun: Drs. M. Hasan Maksum, MT*

*Drs. Rafless, M.Kom*

*Wawan Purwanto, S.Pd., MT*

*Editor Substansi: Dr. Wakhinuddins, M.Pd*

*Editor Bahasa: Prof. Dr. Syahrul R., M.Pd*

*Layout & Desain Sampul: Drs. Nasbahry Couto, M.Sn & Khairul*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah Swt, yang telah melimpahkan kekuatannya kepada penulis untuk mewujudkan penulisan buku Teknologi Motor Bakar ini. Harapan besar buku ini dapat dijadikan referensi bagi khalayak umum, guru maupun siswa Sekolah Menengah Kejuruan jurusan otomotif, mahasiswa, mekanik perbengkelan.

Pada perkembangannya, motor bakar telah mengalami inovasi yang sangat pesat sekali. Jika masa lalu sistem pengontrolan mesin masih menggunakan sistem manual, semua peralatan digerakkan secara mekanis. Di zaman modern ini semua sistem motor bakar telah di kontrol menggunakan *Electronic Control Unit (ECU)*. Sistem kontrol elektronik dilakukan untuk mendapatkan proses kerja lebih optimal, daya hasil pembakaran lebih baik, emisi yang dihasilkan lebih kecil.

Sistem kontrol elektronik menuntut kemampuan seorang mekanik untuk dapat mengikuti perkembangan proses kerja dan pengaturannya. Seorang mekanik untuk dapat memecahkan permasalahan teknis, setidaknya harus mengetahui nama komponen, cara kerja, fungsi kerja, konsep pemeriksaannya. Hadirnya buku ini memberikan pengetahuan akan nama komponen sistem, cara kerja komponen yang dapat dijadikan referensi tambahan bagi seorang teknisi. Sudikiranya kritik dan saran yang membangun dari pemabaca untuk lebih menyempurnakan hasil karya ini.

Terima Kasih

Penulis

# DAFTAR ISI

PENGANTAR

DAFTAR ISI

## BAGIAN I. KONSEP DASAR MESIN

A. Sejarah mesin .....	1
B. Klasifikasi <i>diesel engine</i> .....	2
C. Klasifikasi mesin berdasarkan linernya .....	7
1. <i>Single silinder</i> .....	7
2. <i>In-line</i> .....	7
3. <i>V Engine</i> .....	8
4. <i>Opposed Cylinder engine</i> .....	8
5. <i>W engine</i> .....	9
6. <i>Opposed piston engine</i> .....	9
7. <i>Radial engine</i> .....	10
D. Klasifikasi mesin berdasarkan metode pemasukan udara ( <i>air intake</i> ) .....	10
1. <i>Naturally aspirated</i> .....	10
2. <i>Turbocharger</i> .....	11
3. <i>Supercharger</i> .....	11
E. Dasar-dasar utama motor bakar .....	13
1. Volume silinder .....	13
2. Perbandingan kompresi .....	14
3. Momen putar .....	15
4. Daya .....	16
5. Efisiensi .....	16
6. <i>Firing order, Tabel squance dan velve timing</i> ...	17
F. <i>Valve location</i> (mekanisme katup) .....	26

1. <i>Over head Valve</i> .....	26
2. <i>Valve in Side</i> .....	29
3. <i>F-Head tipe</i> .....	29
4. <i>T-Head tipe</i> .....	29
G. <i>Two stroke</i> (dua langkah) dan <i>four stroke</i> (empat langkah) engine .....	30
1. Mesin 4 langkah .....	30
2. Mesin 2 langkah .....	35
H. Komponen-komponen mesin .....	39

## **BAGIAN II. SIKLUS MOTOR BAKAR**

A. Siklus termodinamika .....	56
1. Besaran pokok termodinamika .....	56
2. Bentuk energi motor bakar .....	57
3. Siklus ideal motor bakar .....	61
a. Siklus udara volume konstan .....	62
b. Siklus udara tekanan konstan .....	66
c. Siklus gabungan .....	70
d. Siklus Aktual .....	73

## **BAGIAN III. SISTEM BAHAN BAKAR**

A. Sistem Bahan Bakar .....	75
1. <i>In-line injaction pump</i> .....	78
2. <i>Distributor injaction pump</i> .....	87
3. <i>Unit pump</i> .....	93
4. <i>Unit injector</i> .....	99
a. Lucas A3 .....	102
b. Bosch .....	103
c. Delpi E1 .....	103



d. Delpi E3 .....	103
5. Common rail .....	107
<b>B. Fuel filter .....</b>	<b>124</b>
a. <i>Efficiency</i> .....	124
b. <i>Capacity</i> .....	125
c. Kemampuan penyaringan.....	125
d. Beta ratio .....	126
e. Perbedaan tekanan.....	127

#### **BAGIAN IV. SISTEM PELUMASAN**

A. Mekanikal <i>Friction and Lubrication</i> .....	128
B. Zat additive pada pelumas .....	131
C. Tingkat kekentalan pelumas .....	132
a. Oli dengan derajat kekentalan tunggal ( <i>sigle grade</i> ).....	133
b. Oli dengan derajat kekentalan ganda ( <i>multi grade</i> )	133
D. Gesekan pada Mesin .....	134
E. Pelumasan pada mesin .....	136
1. Pelumas ( <i>lubricant</i> ) .....	137
2. Pendingin ( <i>coolant</i> ) .....	138
3. Pembersih ( <i>Cleaner</i> ) .....	139
4. Penyekat ( <i>Sealing</i> ) .....	140
5. Peredam suara .....	140

#### **BAGIAN V. SISTEM PEMASUKAN UDARA PADA MESIN**

A. Konsep pemasukan udara pada mesin .....	150
B. Komponen-komponen sistem Pemasukan udara .....	153
1. <i>Pre air cleaner</i> .....	154
2. <i>Air cleaner (main filter)</i> .....	155

3. Sistem pemasukan udara .....	158
4. <i>Intercooler</i> .....	162
5. <i>Preheating</i> .....	164
C. <i>Variable valve timing</i> .....	165
D. Sistem pengendalian gas buang (EGR).....	169

## **BAGIAN VI. COOLING SYSTEM**

A. Dasar-dasar kerja sistem pendingin .....	171
B. Komponen sistem pendingin .....	173
1. Prinsip perpindahan panas .....	173
2. Radiator sebagai Pembuang Panas Mesin .....	178
3. Termostat .....	180
4. Pompa air .....	183

## **BAB VII. ELECTRONIC DIESEL ENGINE CONTROL**

A. Sistem umum <i>engine elektronik kontrol</i> .....	184
B. Jenis dan kerja sensor .....	186
1. <i>Engine speeds control (camshaft position sensor)</i> ..	186
2. <i>Engine speeds sensor (crankshaft speeds sensor)</i> .	189
3. <i>Fuel level sensor</i> .....	192
4. <i>Boost temperatur and pressure sensor</i> .....	193
5. <i>Coolant temperatur sensor</i> .....	194
6. <i>Oil pressure and temperatur sensor</i> .....	195
7. <i>Inlet air and temperatur sensor</i> .....	196
8. <i>Throttle position sensor</i> .....	196

DAFTAR PUSTAKA .....	198
----------------------	-----

# Konsep Dasar Mesin

## A. Sejarah Mesin

Pada tahun 1875 Nicolas Otto dan E. Langen, dua orang kebangsaan Jerman telah menemukan sebuah mesin 4 langkah dengan menggunakan bahan bakar gas. Teknologi semakin berkembang dengan pesat. Mesin yang semula menggunakan bahan bakar gas diubah menjadi mesin berbahan bakar bensin serta diaplikasikan pada kendaraan-kendaraan kecil. Pada tahun 1892, Rudolf Diesel dengan dilatarbelakangi oleh kebutuhan mesin, menggunakan bahan bakar yang lebih murah daripada bensin dan mempunyai tenaga lebih besar. Diesel menciptakan sebuah sistem mesin dengan menggunakan bahan bakar solar.

Awal pemikiran Diesel adalah bagaimana menciptakan mesin yang beroperasi dengan bahan bakar padat seperti abu batubara. Setelah beberapa kali melakukan penelitian, ia selalu menemukan jalan buntu. Dari beberapa penelitiannya tersebut, kemudian Diesel berpikir untuk mengarahkan penelitiannya pada bahan bakar cair. Pada saat melakukan penelitian tersebut, ia berhasil menemukan sebuah mesin yang berukuran besar sehingga dapat diaplikasikan pada kendaraan-kendaraan dengan daya yang tinggi.

Teknologi semakin berkembang dengan pola pikir kreatif ilmuwan-ilmuwan masa itu. Pada tahun 1920, sebuah pabrik pembuat truk berhasil memproduksi sebuah mesin bersilinder dua dengan kapasitas 30 HP. Selain itu, teknologi Hasselman mengembangkan sebuah mesin dengan bahan bakar solar yang kemudian disebut mesin Hasselman yang membutuhkan pengapian listrik.

Hingga abad modern saat ini perkembangan dunia otomotif tidak pernah padam. Setiap pabrik kendaraan berlomba-lomba untuk menciptakan sebuah mesin yang hemat bahan bakar, ramah lingkungan, nyaman, dan bertenaga tinggi.

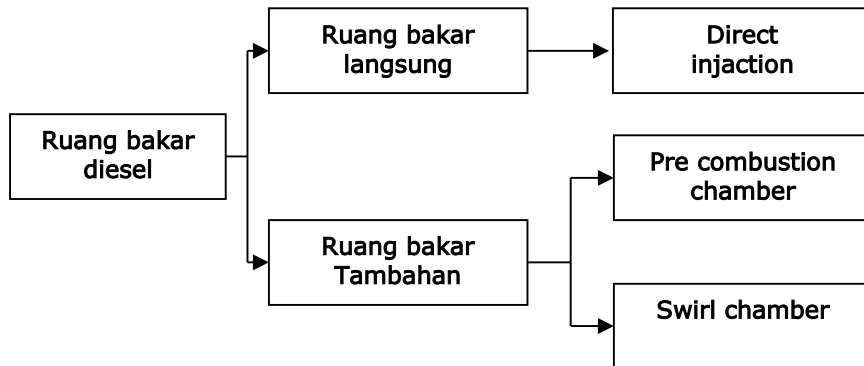
## B. Klasifikasi Mesin Diesel

Pada motor diesel, proses pembakaran terjadi karena adanya campuran bahan bakar dan udara serta panas kompresi pada ruang bakar, sehingga motor diesel menerapkan sistem desain khusus untuk menghasilkan tekanan kompresi yang tinggi. Pada proses pembakaran, untuk menghasilkan sistem pembakaran yang sempurna dibutuhkan pencampuran bahan bakar dan oksigen yang *stokiometri* di dalam ruang bakar. Suatu ciri khusus yang membedakan antara mesin diesel (*compression ignition*) dan mesin bensin (*spark-ignition*).

Pada *compression ignition* (CI), bahan bakar dan udara tercampur karena proses di dalam ruang bakar atau pada proses kerjanya, sistem pemasukan udara masuk ke dalam ruang bakar menjadi fokus utama. *Throttel valve* mengatur jumlah udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar. Setelah *throttel valve* membuka dan memasukkan udara pada ruang bakar beberapa derajat sebelum piston mendekati *Top Dead Center* (TMA), injektor menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Setelah bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar, dalam waktu yang relatif singkat bahan bakar harus bercampur dengan oksigen secara homogen untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.

Ruang bakar mesin diesel merupakan bagian yang terpenting untuk menentukan kemampuan mesin diesel. Telah dikembangkan berbagai macam konfigurasi ruang bakar mesin diesel untuk menjamin bahan bakar yang disemprotkan ke dalamnya dapat terurai, mengabut dan bercampur udara secara homogen. Beberapa desain yang terus dikembangkan meliputi saluran masuk pada kepala silinder. Udara pada kepala silinder dapat berputar di dalam ruang sehingga dapat bercampur secara homogen untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.

Proses pencampuran bahan bakar dan oksigen sebelum pembakaran, terjadi pada waktu yang singkat. Pada sistem mesin diesel, posisi proses pencampuran udara dan bahan bakar dikategorikan menjadi beberapa macam, yaitu:

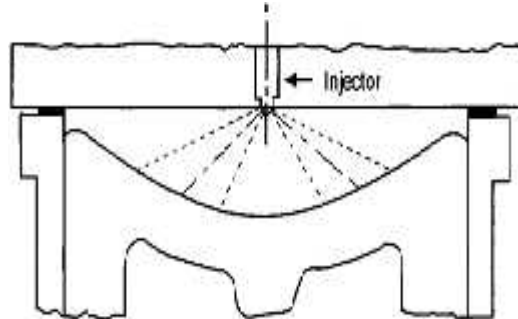


a) *Direct Injection (DI)*, pada *direct injection* proses pencampuran bahan bakar terjadi langsung pada *combustion chamber* (ruang bakar). Ruang yang ada pada bagian atas piston merupakan salah satu bentuk yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan memiliki efisiensi pemanfaatan bahan bakar lebih baik, terhadap mesin tidak tetap (*non-stationery*) dengan konstruksi kepala silinder tetap (*fixed cylinder head*) maupun dengan *single* atau *multiple spray nozzle* (*nozzle* lubang banyak).

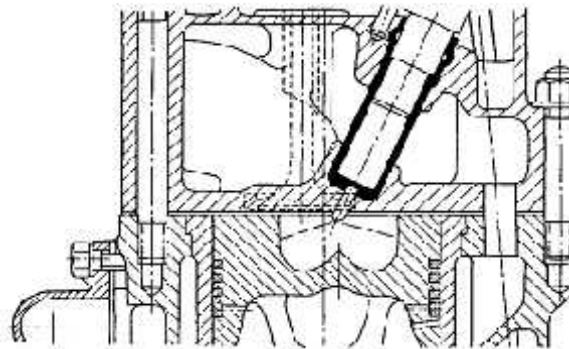
Keuntungan dari penerapan sistem injeksi langsung ini adalah:

- a. Penampang permukaan ruang penyemprotan langsung yang kecil dapat mengurangi kerugian panas sehingga akan meningkatkan suhu udara yang dikompresikan dan menyempurnakan pembakaran. Pada tipe ini, pemanasan awal tidak diperlukan untuk menghidupkan mesin dengan suhu udara sekitarnya normal. Efisiensi panas tinggi yang dihasilkan juga dapat meningkatkan tenaga dan menghemat bahan bakar.
- b. Struktur kepala silinder lebih sederhana, jadi kemungkinan deformasi karena panas akan lebih kecil.
- c. Karena kerugian panas kecil, maka perbandingan kompresi dapat diturunkan.

Perhatikan struktur sebuah ruang bakar injeksi langsung pada gambar. 1



**Gambar 1** *Quiescent combustion system*. Aplikasi pada mesin 4 tak dan 2 tak di bawah 150 mm bore (ruang bakar).



**Gambar 2** *High swirl system*.

Selain keuntungan dari ruang bakar injeksi langsung juga terdapat kerugian di antaranya adalah:

- Pompa injeksi harus mampu menghasilkan tekanan tinggi yang diperlukan untuk mengatomisasikan bahan bakar dengan memaksanya keluar melalui *nozzle* tipe lubang banyak (*multiple hole type*)
- Kecepatan maksimumnya lebih rendah karena pusaran campuran bahan bakar lebih kecil daripada tipe ruang bakar kamar depan (*auxiliary combustion chamber*)
- Tekanan pembakaran yang tinggi menyebabkan timbulnya suara yang lebih keras dan resiko *knocking* (ketukan) lebih besar

- d. Mesin sangat peka terhadap kualitas bahan bakar dan biasanya diperlukan kualitas bahan bakar yang bermutu tinggi.

b) *Indirect Injection (IDI)* bahan bakar disemprotkan oleh *nozzle* ke kamar depan, sebagian bahan bakar berada di pusaran dan sisa-sisa pembakaran yang tidak terbakar ditekan pada sebuah saluran antara pembakaran mula dan ruang bakar, kemudian terurai menjadi partikel-partikel yang halus dan terbakar di ruang bakar.

Keuntungan sistem pembakaran langsung adalah:

- a. Bahan bakar yang kualitasnya kurang baik dapat teraplikasikan pada sistem ini.
- b. Mudah pemeliharaan, karena tekanan injeksi bahan bakar relatif rendah dan mesin tidak terlalu peka terhadap perubahan saat penginjeksian.
- c. Terjadinya *knocking* dapat di kurangi karena diaplikasikan *throttle type nozzle* sehingga kinerja mesin lebih baik dan suara tidak berisik.

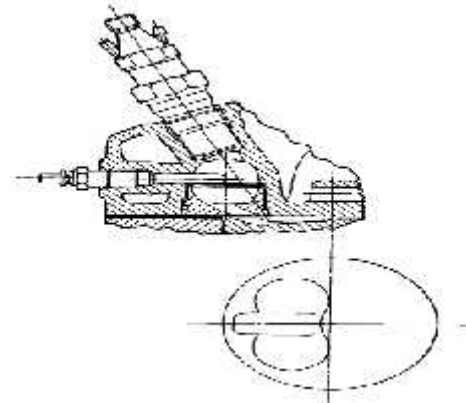
Selain keuntungan, juga terdapat beberapa kelemahan sistem injeksi langsung, di antaranya adalah:

- a. Biaya pembuatan lebih tinggi karena bentuk silinder lebih rumit.
- b. Diperlukan starter lebih besar dan proses starter lebih sulit.
- c. Pemakaian bahan bakar relatif lebih boros.

c) *Swirl chamber type*. *Swirl Chamber* mempunyai bentuk *spherical*. Udara yang dikompresikan oleh piston memasuki kamar pusar dan membentuk aliran turbolensi di tempat bahan bakar yang diinjeksikan. Tetapi sebagian bahan bakar yang belum terbakar akan mengalir ke ruang bakar utama melalui saluran transfer untuk menyelesaikan pembakaran.

Keuntungan sistem pembakaran *swirl camber* adalah:

- a. Dapat mencapai kecepatan mesin yang tinggi arena turbolensi kompresinya tinggi.
- b. Gangguan pada *nozzle* karena menggunakan *nozzle* tipe pin.
- c. Tingkat kecepatan mesin lebih luas dan operasinya yang halus membuatnya banyak digunakan pada mesin berpenumpang.



**Gambar 3. Ruang Bakar Mula pada *Compression Swirl*.**

Selain keuntungan, kerugian sistem ini adalah:

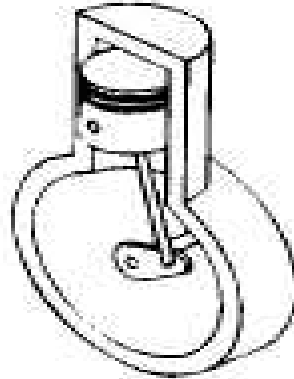
- a. Konstruksi kepala silinder dan blok silinder lebih rumit.
- b. Efisiensi panas dan konsumsi bahan bakar lebih buruk daripada sistem injeksi langsung.
- c. Terjadinya ketukan akan lebih besar pada kecepatan rendah.



## C. Klasifikasi Mesin Berdasarkan Posisi Linernya

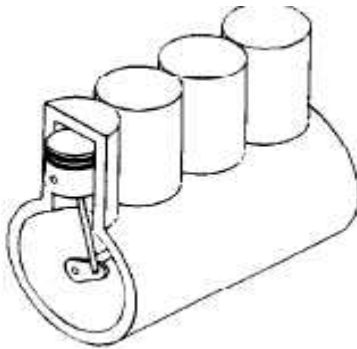
### 1. Silinder Tunggal

Mesin dengan silinder tunggal biasanya terapkan pada kendaraan kecil dengan cc di bawah 200 cc. Pada sistem ini piston langsung dihubungkan dengan poros engkol. Naik turunnya piston akibat pembakaran pada ruang bakar langsung berdampak pada putaran poros engkol. Poros engkol akan berhubungan dengan sistem penggerak yang akan mentransfusikan putaran menuju roda. Silinder tunggal banyak terapkan pada sepeda motor.



Gambar 4. Mesin silinder tunggal

### 2. Silinder Segaris (*In-Line Cylinder*)



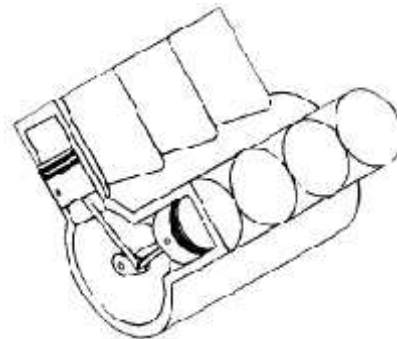
Gambar 5. Silinder segaris

Silinder segaris adalah sebuah mekanisme silinder yang diposisikan pada satu garis lurus. Pola desain penempatan mesin berada segaris di sepanjang poros engkol. Sistem ini terdiri dari 2 sampai 11 silinder atau bahkan lebih banyak. *In-line* empat silinder mesin banyak diaplikasikan pada mobil baik pribadi maupun komersial.

*In-line* enam dan delapan

silinder banyak dipergunakan pada mesin-mesin alat berat (*heavy equipment engine*) dengan daya yang besar. Mesin *In-line* Mempunyai kapasitas angkut yang besar. Hampir semua mesin alat berat menggunakan tipe silinder segaris.

### 3. Mesin Tipe V



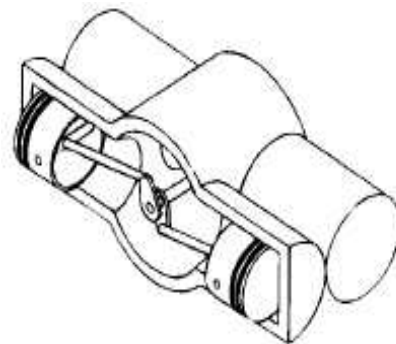
Gambar 6. V mesin

Dua bagian silinder memiliki satu sudut sama yang terhubung pada satu poros engkol. Sudut di antara bagian silinder terdapat diantara  $15^\circ$  sampai  $120^\circ$ , yang biasa teraplikasi pada sebuah desain V mesin  $60^\circ$ - $90^\circ$ . V mesin mempunyai jumlah silinder dari 2 sampai 20 atau lebih banyak. V6 dan V8 biasa banyak teraplikasi pada mesin mobil, baik pribadi

maupun kendaraan komersial. V12 dan V16 biasanya diaplikasikan pada mesin yang membutuhkan tenaga yang lebih besar (*high-performance vichicle*).

### 4. Opposed Cylinder Engine

Dua bagian silinder yang dihubungkan berlawanan untuk menggerakkan satu poros engkol ( $180^\circ$ ). *Opposed cylinder engine* biasanya diaplikasikan pada pesawat udara kecil dan pada mobil dengan jumlah silinder genap antara dua sampai delapan atau lebih. Mesin yang menggunakan jenis ini, biasanya disebut mesin datar, karena melihat

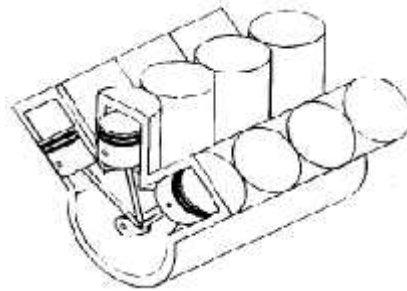


Gambar 7. Opposed cylinder engine

posisi piston yang mendatar dan membentuk sudut 180°. Perhatikan gambar 07 di atas.

## 5. Mesin Tipe W

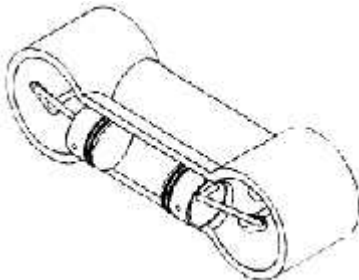
Mesin tipe W sama seperti mesin tipe V, kecuali dengan tiga bagian silinder pada satu poros engkol. Dilihat dari struktur mesinnya, jarang sekali mesin bertipe ini diaplikasikan pada mesin-mesin saat ini. Aplikasi mesin ini terutama pada *reacing automobil* (mobil-mobil balap),



Gambar 8. W engine

V mesin dan W mesin keduanya tidak lagi modern dan sangat bersejarah karena strukturnya yang unik. Biasanya terdiri dari 12 silinder dengan sudut 60° pada setiap bagian poros engkol.

## 6. Mesin Opposed Piston



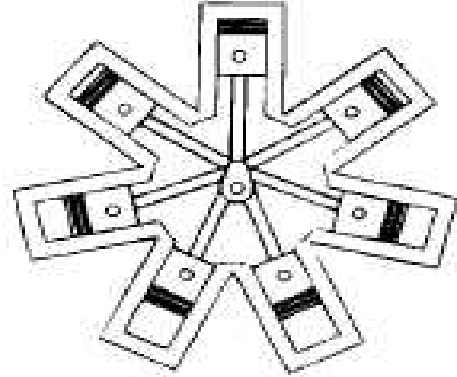
Gambar 9. Mesin berjenis *Opposed piston engine*

*Opposed piston* mesin memiliki dua penghisap pada setiap silinder dengan tipe pembakaran kamar pusat di antara penghisap. Proses pembakaran tunggal menyebabkan dua tenaga sekaligus pada waktu yang sama. Hasil proses pembakaran berupa daya akan dipindah pada setiap poros engkol. Hasilnya, mesin ini menghasilkan putaran dengan

baik pada dua poros engkol atau satu poros engkol dengan hubungan mekanis gabungan yang dihubungkan pada satu penggerak. Letak ruang bakar antara dua piston saling berhadapan sehingga terjadi pembakaran antara dua piston dalam satu waktu.

## 7. Mesin Radial (*Radial Engine*)

*Radial engine* memposisikan penghisap berbentuk lingkaran yang mengelilingi pusat poros engkol. Semua piston dihubungkan pada satu poros engkol. Bentuk silinder pada *radial engine* selalu memiliki angka ganjil dengan jumlah silinder berkisar dari 3 sampai 13 atau lebih



**Gambar 10. Radial mesin**

banyak. *Radial engine* beroperasi pada empat langkah. Semua silinder melakukan pembakaran dan menggerakkan satu poros engkol sebagai penghubung putaran ke roda-roda penggerak. Teraturnya pembakaran memberikan efek yang sangat halus pada mesin. Radial engine banyak diaplikasikan pada *propeller-driven* pesawat udara. Untuk pesawat udara besar, dua atau banyak bagian silinder dihubungkan secara bersama. Silinder satu dan lainnya terdapat pada poros engkol tunggal yang menghasilkan satu transfusi tenaga, sehingga mesin menjadi halus. Pada mesin kapal yang sangat besar juga terdapat 54 silinder, terdiri dari enam bagian dengan 9 silinder pada setiap bagian mesin.

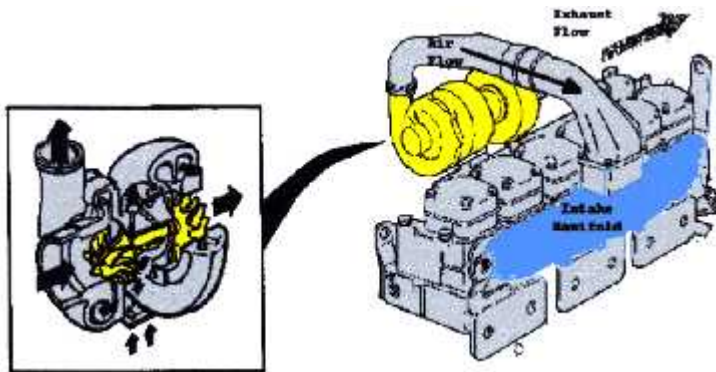
## D. Klasifikasi Mesin Berdasarkan Metode Pemasukan Udara

### 1. Pemasukan Secara Alami (*Naturally Aspirated*)

*Natural aspirated* adalah tipe memasukkan udara ke dalam ruang bakar secara alami tanpa ada suatu sistem yang dapat menghisap udara luar dan dimasukkan ke dalam ruang bakar. Udara masuk ke dalam ruang bakar disebabkan karena konsep keseimbangan zat, di mana terjadi perbedaan tekanan antara ruang bakar dan tekanan udara luar. Perbedaan tekanan tersebut

menyebabkan udara mengalir dan memenuhi saluran masuk, sedangkan masuknya udara pada ruang bakar karena hisapan piston saat langkah hisap dan katup masuk membuka.

## 2. Turbocharger



Gambar 11. Mesin dengan *turbocharger*

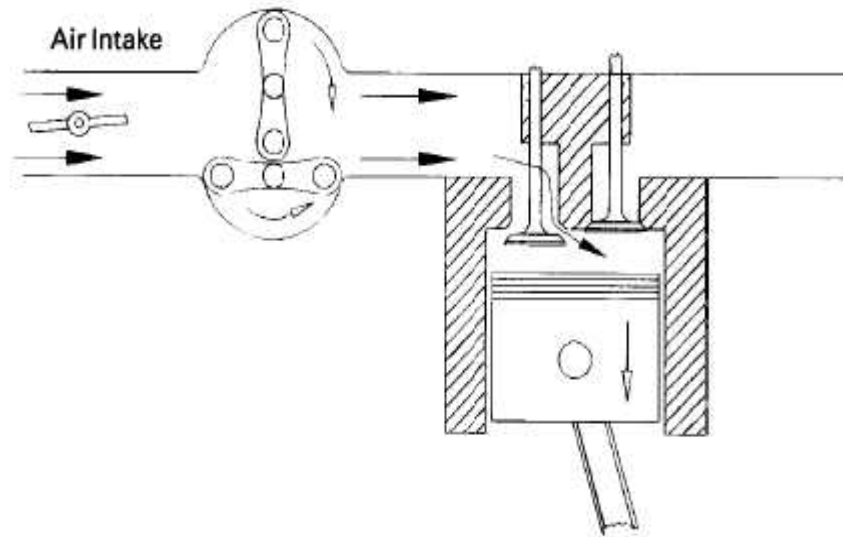
*Turbocharger* berfungsi menghisap lebih banyak udara ke dalam intake manifold kemudian masuk ke dalam ruang silinder lebih banyak dari sistem alami (*naturally aspirated*). Suplai udara pada setiap putaran mesin untuk mendapatkan performa mesin terbaik dapat tercapai dengan menggunakan sistem *turbocharger*. Karena cukupnya udara yang masuk ke dalam silinder, dapat menyeimbangkan jumlah udara dan bahan bakar untuk mendapatkan campuran *stokiometri* sehingga performa mesin lebih baik.

## 3. Supercharger

*Supercharger* yang sering dikenal yaitu memasukkan udara ke dalam ruang bakar dengan menggunakan sebuah *blower*. Tujuan penggunaan sistem ini sama dengan sistem *turbocharger* yaitu untuk memompakan udara ke dalam ruang bakar agar pada setiap putaran mesin. Perbandingan udara dan bahan bakar pada pembakaran dapat terpenuhi. Hanya bedanya sistem ini memanfaatkan putaran mesin untuk menggerakkan *blower*

*supercharger* sehingga rugi-rugi tenaga pada mesin salah satunya juga terdapat untuk pemutaran *blower*.

Pada sistem *blower*, banyaknya udara yang masuk ke dalam ruang bakar, tergantung putaran mesin melalui poros engkol yang memutar *blower*. Semakin cepat putaran mesin, maka putaran *blower* juga akan semakin cepat untuk memompakan udara pada ruang bakar. Dengan demikian, suplai udara untuk menyeimbangkan dengan bahan bakar tetap akan tercapai.

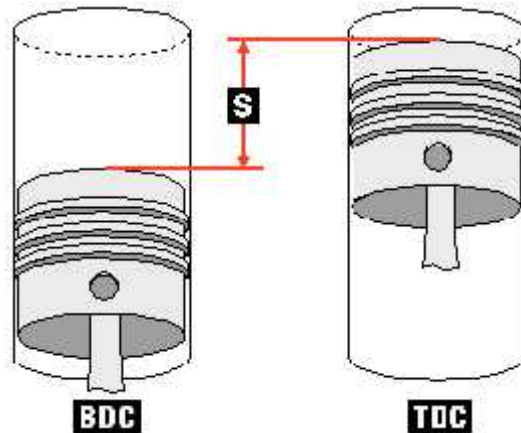


**Gambar 12.** Sistem pemasukan udara dalam ruang bakar dengan sistem *blower*

Mekanisme penggerak *blower* dapat berupa rangkaian gear atau menggunakan mekanisme *belt*. Pada rangkaian gear penggerak *blower* terdapat beberapa roda gigi berangkai yang berfungsi sebagai penerus putaran dari poros engkol atau poros cam untuk menggerakkan *blower*.

## E. Dasar – Dasar Utama Motor Bakar

### 1. Volume Silinder



Gambar 13. Perbandingan volume silinder

Volume silinder adalah volume sepanjang langkah torak yang dihitung dari TMA ke TMB. Umumnya volume silinder dari suatu motor dinyatakan dalam  $\text{Cm}^3$  (cc) atau liter (l). Menghitung volume silinder adalah sebagai berikut:

$$V_s = \frac{f}{4} \cdot D^2 \cdot S \quad [\text{Cm}^3]$$

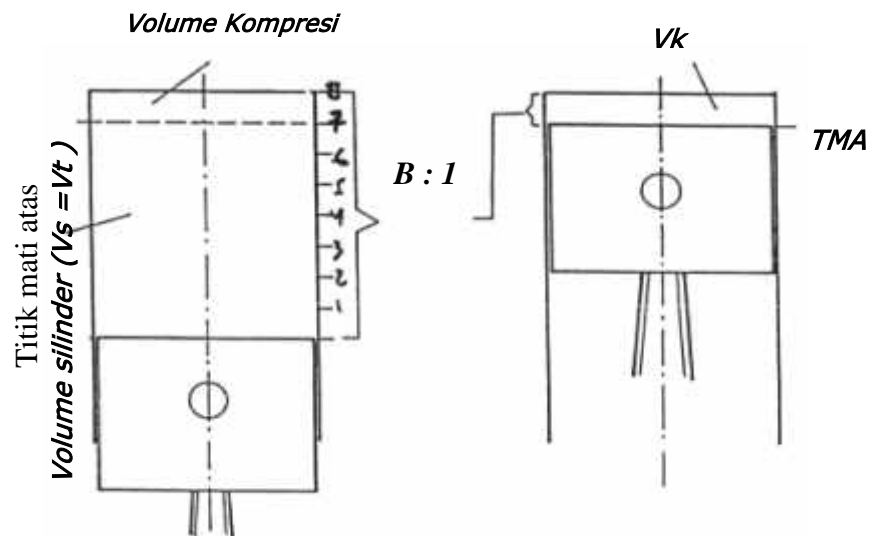
Dimana :

$V_s$  : Volume silinder

$D$  : Diameter silinder

$S$  : langkah torak (l)

## 2. Perbandingan Kompresi



**Gambar 14. Perbandingan kompresi**

Perbandingan kompresi (tingkat pemampatan) adalah perbandingan volume di atas torak saat torak di TMB dengan volume di atas torak saat torak di TMA, atau lebih dikenal dengan perbandingan antara volume langkah piston ditambah dengan volume langkah kompresi dibagi dengan volume langkah kompresi. Secara matematis, perbandingan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Sigma = \frac{VL + Vk}{Vk}$$

Dimana:

VL : Volume langkah piston

VK : Volume langkah kompresi

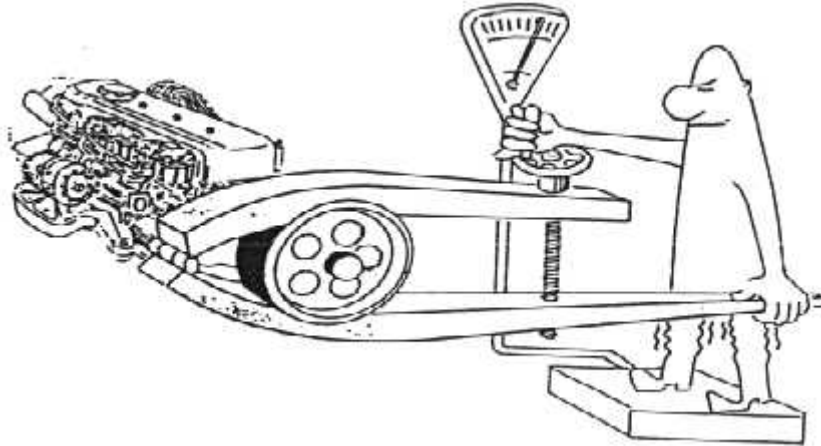
Perbandingan kompresi secara umum biasanya adalah:

Otto (bensin) = 7 : 1 sampai 12 : 1

Diesel (diesel) = 14 : 1 samapi 25 : 1



### 3. Momen Putar



Gambar 15. Ilustrasi momen putar

Momen putar (momen puntir) suatu motor adalah kekuatan putar poros engkol yang akhirnya menggerakkan kendaraan. Kekuatan putar poros ini pada mesin dihasilkan oleh pembakaran yang efeknya mendorong piston naik turun. Piston naik turun menyebabkan putaran poros engkol yang kemudian akan ditransfer menuju ke roda-roda penggerak sehingga mencapai roda. Momen puntir dapat di hitung dengan persamaan:

$$M_p = F_k \cdot r \quad [ Nm ]$$

Dimana :

$F_k$  = Gaya keliling, diukur dalam satuan Newton ( N )

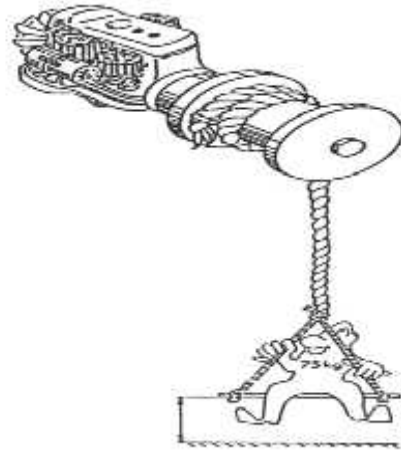
$r$  = Jari-jari (jarak antara sumbu poros engkol sampai tempat mengukur gayakeliling), diukur dalam satuan meter (m).

$M_p$  = Momen putar, adalah perkalian antara Gaya keliling dan jari-jari.

## 4. Daya

Daya adalah hasil kerja yang dilakukan dalam batas waktu tertentu [F.c/t]. Pada motor, daya merupakan perkalian antara momen putar ( $M_p$ ) dengan putaran mesin ( $n$ ). Untuk menghitung momen putar dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{M_p \times n}{9550} \text{ Kw}$$



Gambar 16. Gambaran sebuah daya

Angka 9550 merupakan faktor penyesuaian satuan.

Dimana :

$M_p$  = Momen putar (Nm)

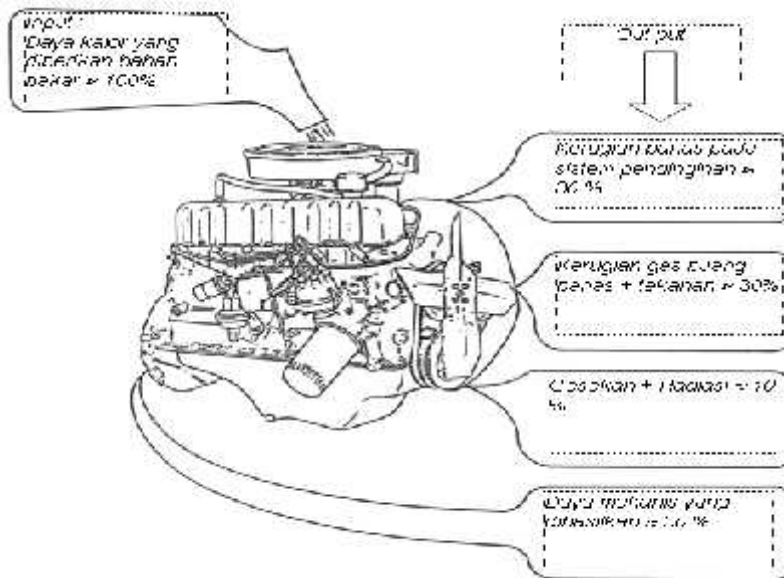
$n$  = Putaran mesin (Rpm)

$P$  = Daya motor, dihitung dalam satuan kilo Watt (Kw)

## 5. Efisiensi

Efisiensi adalah angka perbandingan daya mekanis yang dihasilkan oleh motor dengan daya kalor bahan bakar yang telah digunakan atau dengan kata lain, efisiensi dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$y = \frac{\text{Output}}{\text{input}} \times 100\%$$



**Gambar 17. Efisiensi mesin**

Sebagai batasan dan panduan, tidak ada sebuah mesin yang memiliki efisiensi 100%. Karena proses di dalam sebuah mesin tersebut memiliki beberapa kelemahan yang menyebabkan kerugian mekanis akibat kerja di dalam sistem. Hal ini sejalan dengan konsep kekekalan energi di mana jika energi mekanik pada titik 1 (*input*) lebih besar dari pada titik lain (*output*) maka ada energi yang diubah dalam bentuk lain. Pada motor bakar, kerugian mekanis dapat terjadi energi baru tersebut adalah:

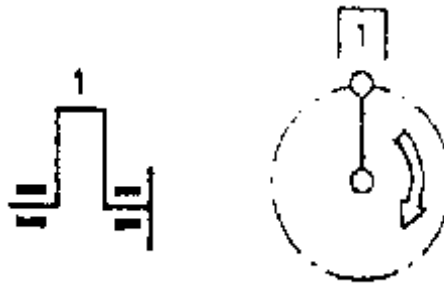
- Kerugian panas pada sistem pendingin 30%.
- Kerugian akibat gas buang panas dan tekanan 30%.
- Kerugian karena gesekan 10%.
- Jadi yang tenaga yang dihasilkan sebagai output mesin hanya berkisar antara 30 - 40%.

## **6. Urutan Pembakaran (*Firing Order*), Tabel Kerja (*Tabel Sequence*) dan *Valve Timing***

Urutan pembakaran adalah urutan terjadinya pembakaran pada ruang bakar. Urutan pembakaran yang sempurna akan

menciptakan keseimbangan daya yang akan dihasilkan oleh mesin. Bentuk poros engkol sangat menentukan terjadinya keseimbangan putaran saat memindahkan putaran dari gaya turun dan naiknya piston menjadi putaran poros engkol dan menuju ke sistem penggerak hingga mencapai roda.

**a. Mesin Silinder 1**



**Gambar 18. Mesin 1 silinder**

Pada mesin 1 silinder, pembakaran hanya terjadi pada silinder tersebut. Aplikasi mesin satu silinder biasanya pada mesin diesel stationer, kendaraan bermotor, baik pada kendaraan empat langkah maupun kendaraan dua langkah.

Jarak pembakaran yang terjadi pada mesin satu silinder adalah sebagai berikut:

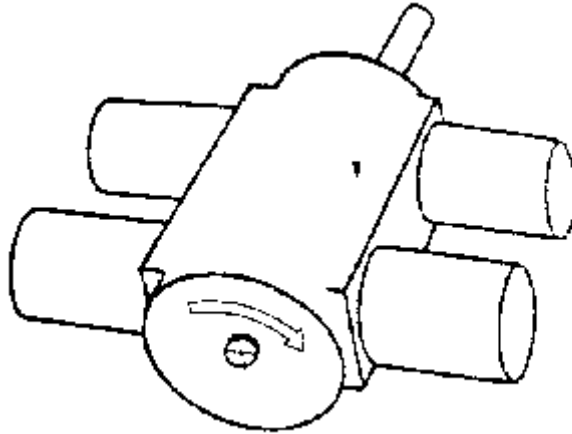
$$JP = \frac{720}{1} = 720^\circ$$

Jarak urutan pembakaran hanya terjadi pada silindernya, artinya tidak ada jarak pembakaran pada sistem kerjanya, sedangkan diagram kerja untuk mesin satu silinder adalah sebagai berikut:



**Gambar 19. Diagram kerja silinder**

**b. Mesin Boxer 2 Silinder**

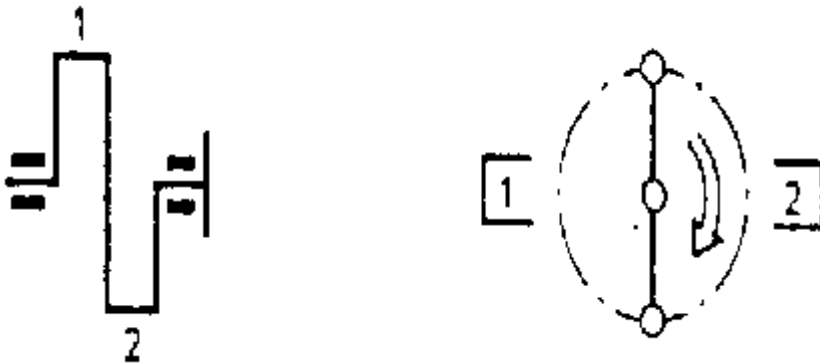


**Gambar 20. Mesin boxer**

Mesin boxer memiliki karakteristik di antaranya:

- 1) Konstruksi pendek dan rendah.
- 2) Keseimbangan getaran lebih baik dari lainnya.
- 3) Perlu dua kolektor gas buang.
- 4) Saluran hisap panjang jika hanya satu karburator.

Skema dari poros engkol mesin boxer 2 silinder adalah sebagai berikut:



**Gambar 21. Skema poros engkol pada mesin boxer**

Proses pembakaran pada mesin boxer terjadi secara bergantian. Kedua piston dihubungkan pada satu poros engkol sehingga proses penyaluran putaran dari mesin ke roda-roda penggerak melalui satu poros engkol. Jarak pembakaran pada mesin ini dapat dihitung:

$$JP = \frac{720}{2} = 360^\circ$$

Artinya, pada suhu  $360^\circ$  terjadi pembakaran pada satu silinder,  $360^\circ$  berikutnya terjadi pembakaran pada silinder yang lainnya. Sistem pembakaran secara bergantian dengan baik dan teratur akan menghasilkan tenaga lebih besar dibanding dengan silinder satu. Perhatikan diagram kerja silinder pada mesin boxer dua silinder di bawah ini:

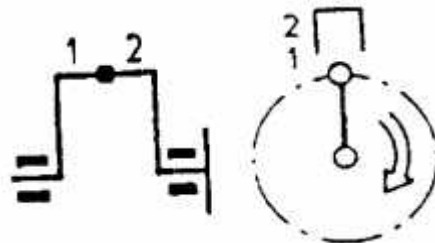
1	Kompresi	Usaha	Buang	Hisap
2	Buang	Hisap	Kompresi	Usaha

Gambar 22. Diagram kerja mesin boxer dua silinder

Diagram di atas menjelaskan bahwa saat silinder satu sedang melakukan langkah kompresi, maka silinder dua sedang melakukan buang.

### c. Mesin Segaris 2 Silinder

Mesin 2 silinder sebaris sering dikenal dengan istilah *in-line*, dewasa ini silinder sebaris lebih banyak digunakan bila dibandingkan dengan silinder yang lainnya. Perhatikan gambar poros engkol pada silinder segaris.



Gambar 23. Poros engkol mesin 2 silinder segaris

Jarak pembakaran pada silinder *in-line* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$JP = \frac{720}{2} = 360^\circ \text{ Pe}$$

Sama dengan mesin 2 silinder boxer memiliki jarak pembakaran  $360^\circ$ , dengan demikian pembakaran akan terjadi secara bergantian antara satu silinder dengan silinder yang lainnya. Perhatikan diagram pembakaran pada mesin 2 silinder *in-line* sebagai berikut:

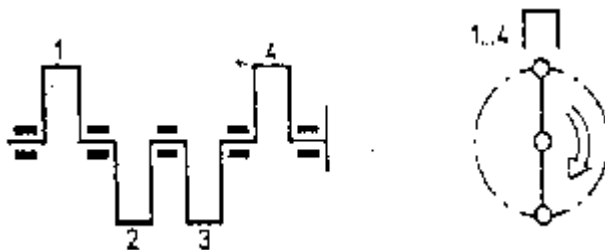
1	<b>Kompresi</b>	<b>Usaha</b>	<b>Buang</b>	<b>Hisap</b>
2	<b>Buang</b>	<b>Hisap</b>	<b>Kompresi</b>	<b>Usaha</b>

Gambar 24. Diagram kerja motor 2 silinder *in-line*

Tidak jauh berbeda dengan diagram pembakaran pada mesin boxer 2 silinder, saat silinder satu sedang melakukan langkah kompresi maka silinder 2 sedang melakukan langkah buang. Yang membedakan antara mesin boxer 2 silinder dan mesin 2 silinder segaris hanyalah desain silindernya, di mana silinder boxer berbentuk horisontal sedangkan silinder segaris berbentuk vertikal.

#### d. Mesin Sebaris 4 Silinder

Mesin sebaris 4 silinder dewasa ini sangat banyak digunakan, baik sebagai kendaraan komersial atau kendaraan pribadi dengan tenaga yang dihasilkan dan volume ruang bakar yang bervariasi. Urutan pembakaran pada mesin 4 silinder segaris adalah (FO: 1-3-4-2).



Gambar 25. Poros engkol mesin 4 silinder segaris

Jarak pembakaran yang terjadi pada sistem ini adalah

$$JP = \frac{720}{4} = 180^\circ \text{ Pe}$$

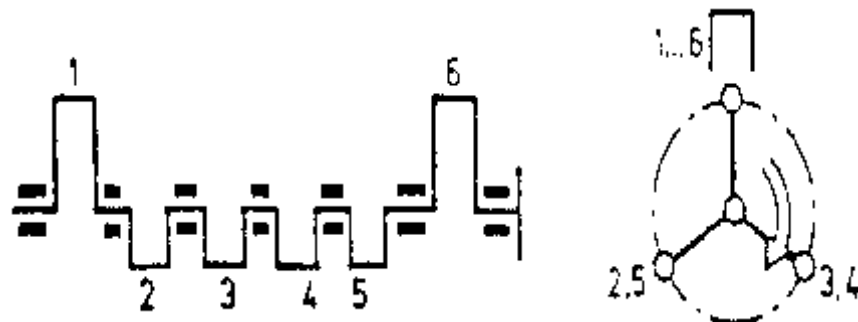
Jarak kerja pembakaran setiap langkah pada silinder 4 langkah segaris hanya pada  $180^\circ$ , artinya setiap langkah kerja hanya terjadi selama  $180^\circ$ . Perhatikan diagram kerja pembakaran untuk mesin 4 silinder segaris di bawah ini:

1	<b>Kompresi</b>	<b>Usaha</b>	<b>Buang</b>	<b>Hisap</b>
2	<b>Usaha</b>	<b>Buang</b>	<b>Hisap</b>	<b>Kompresi</b>
3	<b>Hisap</b>	<b>Kompresi</b>	<b>Usaha</b>	<b>Buang</b>
4	<b>Buang</b>	<b>Hisap</b>	<b>Kompresi</b>	<b>Suaha</b>

Gambar 26. Diagram kerja pada mesin 4 silinder

Diagram kerja ini menjelaskan bahwa pada saat silinder satu terjadi langkah kompresi, maka silinder dua sedang terjadi langkah usaha dan silinder tiga sedang terjadi langkah hisap sementara silinder empat sedang terjadi langkah buang. Diagram tersebut dapat dijadikan pedoman kerja setiap silinder dan mengetahui kerja silinder yang lainnya.

#### e. Motor 6 Silinder Segaris



Gambar 27. Bentuk poros engkol motor 6 silinder segaris



Mesin silinder 6 dewasa ini banyak diaplikasikan pada mesin-mesin yang mempunyai kapasitas dan tenaga yang tinggi. Perhatikan tabel *sequence* untuk mesin 6 silinder *in-line* di bawah ini:

Urutan pembakaran: 1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4

$$\text{Beda langkah tiap silinder JP} : \frac{720}{6} = 120^\circ \text{ Pe}$$

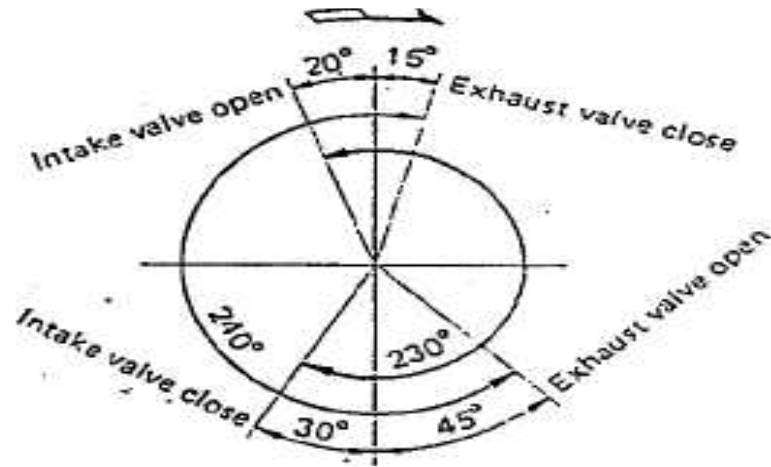
Jadi jarak antar siklus pada setiap silinder adalah  $120^\circ$ , artinya beda antara langkah yang satu dengan langkah yang lainnya pada setiap silinder hanya  $120^\circ$ . Perhatikan tabel *sequence* untuk mesin 6 silinder *in-line* di bawah ini:

	0°	90°	180°	270°	360°	450°	540°	630°	720°
Cy1.1.	Power		Exhaust		Intake		Compression		
Cy1.2.	Exhaust		Intake		Compression		Power		Ex -
Cy1.3.	Intake		Compression		Power		Exhaust		Inta -
Cy1.4.	Compression		Exhaust		Intake		Compression		Power
Cy1.5.	Power		Exhaust		Intake		Compression		Power
Cy1.6.	Exhaust		Intake		Compression		Power		Exhaust
	0°	180°	360°	540°	720°				

Gambar 28. Tabel kerja mesin 6 silinder segaris

#### f. Valve Timing

*Valve timing* adalah saat bekerjanya katup untuk membuka dan menutup sesuai dengan urutan kerja katup pada setiap silinder mesin. Sistem pembakaran akan sangat dipengaruhi *valve timing*, karena *valve timing* akan menentukan seberapa banyak oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar serta lamanya langkah pembilasan pada setiap silinder. Hitungan setiap katup akan membuka dan menutup dapat digambarkan pada contoh di bawah ini:



Titik mati bawah

Gambar 29. Katup Timing

Urutan pembakaran : 1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4

Dari data-data di atas diketahui:

- Katup masuk membuka : 20° sebelum titik mati atas
- Katup masuk menutup : 30° setelah titik mati bawah
- Katup buang membuka : 45° sebelum titik mati bawah
- Katup buang menutup : 15° setelah titik mati bawah

Dari data di atas dapat diketahui panjang setiap langkah pada mesin adalah:

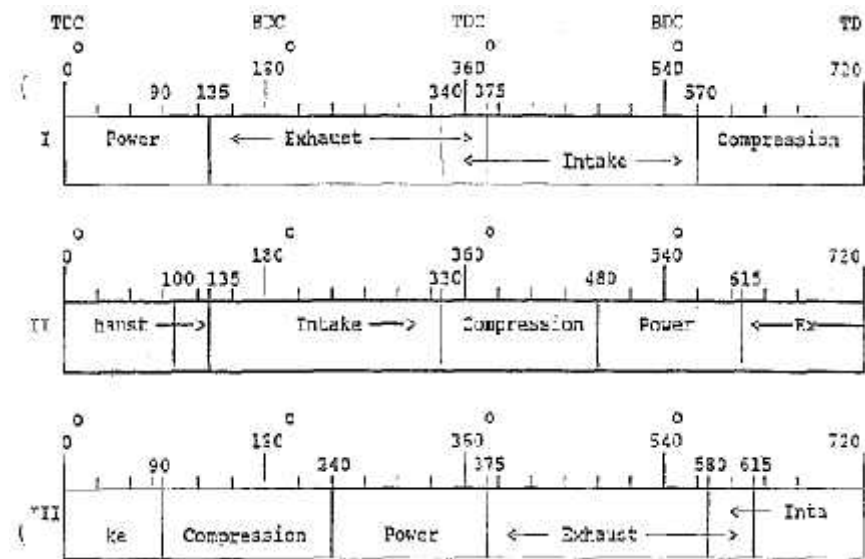
- Langkah masuk :  $20 + 180 + 30 = 230$
- Langkah kompresi :  $180 - 30 = 150$
- Langkah usaha :  $180 - 45 = 135$
- Langkah buang :  $45 + 180 + 15 = 240$
- Total langkah :  $230 + 150 + 135 + 240 = 755$
- Jadi langkah *overlapping* :  $755 - 720 = 35$

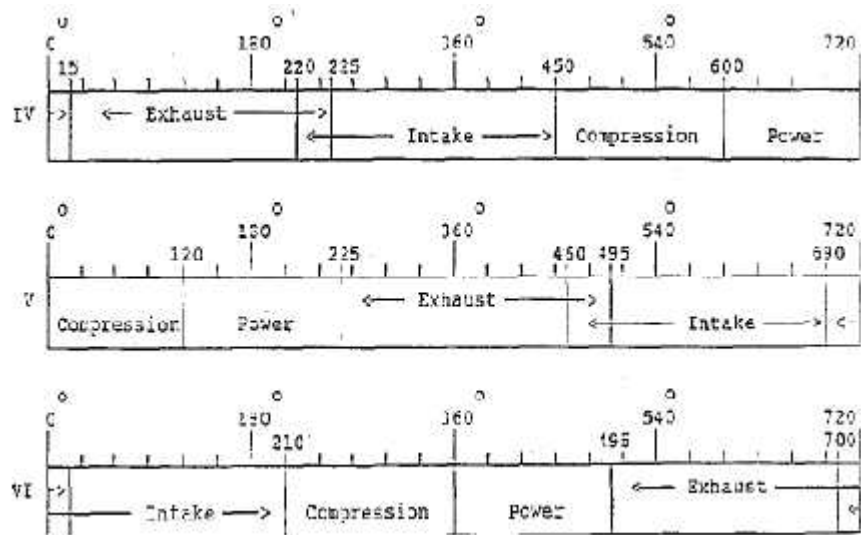
Langkah *overlapping* adalah suatu langkah di mana yang terjadi antara katup hisap dan katup buang sama-sama membuka untuk melakukan langkah pembilasan. Langkah pembilasan dimaksudkan agar sisa-sisa pembakaran dapat semuanya terdorong keluar melalui katup buang.

Untuk membuat tabel *sequence* yang sebenarnya berdasarkan perhitungan di atas adalah sebagai berikut:

Akhir buang :  $0 + 135 = 135$   
 Awal masuk :  $375 - 35 = 340$   
 Akhir masuk :  $340 + 230 = 570$   
 Akhir kompresi :  $270 + 150 = 720$

Untuk silinder 2 dan seterusnya, dapat dihitung seperti langkah di atas, setelah di kalkulasi maka didapatkan tabel *sequence* yang lebih akurat sesuai dengan langkah yang terjadi pada mesin. Adapun tabel *sequence* untuk perhitungan di atas adalah sebagai berikut:





Gambar 30. Tabel kerja sesuai perhitungan

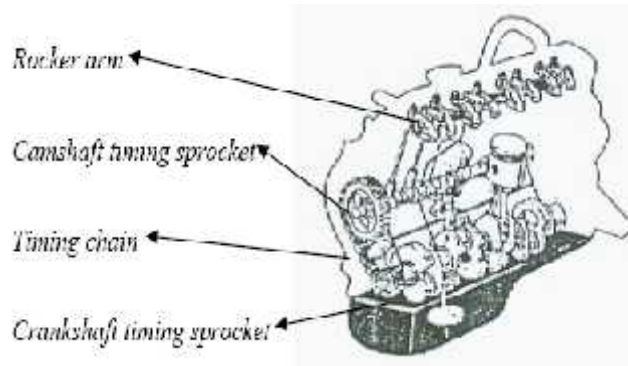
## F. Tempat Katup (Mekanisme Katup)

Mekanisme katup adalah mekanisme yang mengatur saat katup masuk atau katup buang mulai membuka atau menutup. Perubahan desain sebuah kendaraan memiliki keuntungan dan kelebihan tersendiri. Biasanya sebuah produsen menerapkan desain menjadi ciri khas dari produsen tersebut. Tempat Katup yang diterapkan kendaraan-kendaraan sekarang adalah:

### 1. Katup di Atas Kepala Silinder (*Over Head Valve*)

#### a. *Over Head Valve*

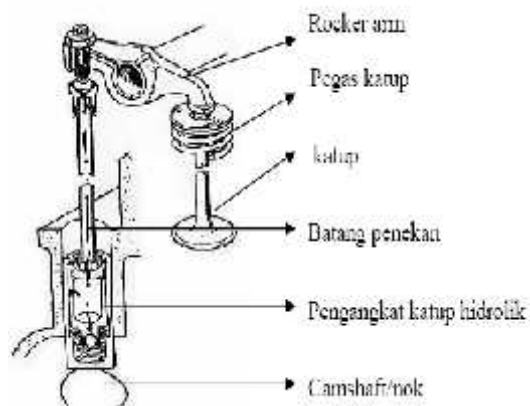
*Over head valve* adalah sebuah desain mesin yang meletakkan poros cam pada block mesin dan katup pada kepala silinder. OHV membutuhkan *tapped* dan *lifter* dalam menyalurkan gerakan dari poros cam untuk mengatur katup membuka atau menutup.



**Gambar 31. Katup pada kepala silinder**

Pola hubungan putaran antara poros engkol menuju poros cam biasanya dihubungkan dengan menggunakan *idle gear* atau rantai. Perbandingan putaran antara poros engkol dengan poros cam 2 : 1, artinya saat poros engkol berputar 2 kali putaran poros engkol terjadi hanya sekali. Pola ini akan berpengaruh pada pembukaan dan penutupan katup.

Putaran dari poros cam saat *tapped* bergesekan dengan poros cam akan mendorong *valve lifter* untuk mengangkat *rocker arm* dan menekan katup. Perhatikan gambar di bawah ini:



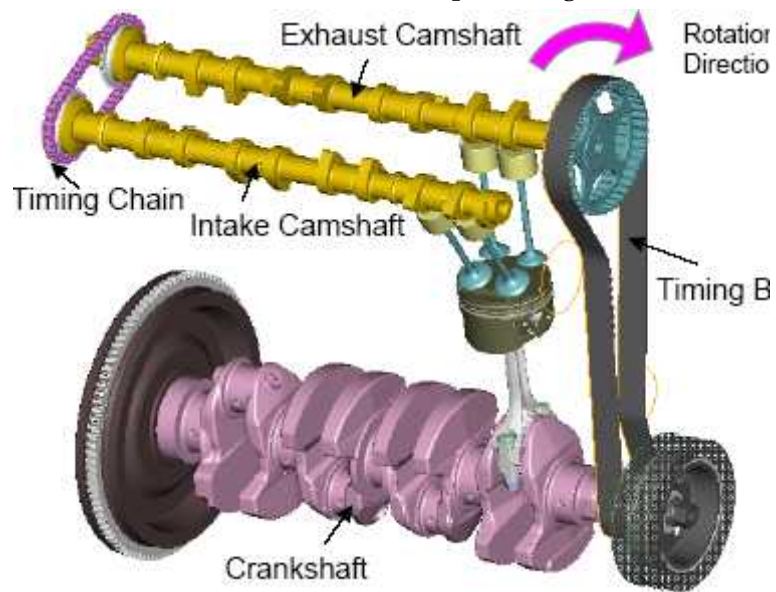
**Gambar 32. Overhead Valve dengan sistem *tapped* dan *pushrod***

**b. Single Over Head Camshaft (SOHC)**

Pada sistem SOHC, kepala silinder hanya terdapat satu poros cam yang dilengkapi mekanisme cam untuk katup masuk maupun katup buang. Pola hubungan putaran dari poros engkol menuju poros cam biasanya dihubungkan dengan menggunakan mekanisme *gear* atau mekanisme sabuk. Sistem ini tidak membutuhkan banyak celah untuk meletakkan mekanisme poros cam atau pun mekanisme lainnya.

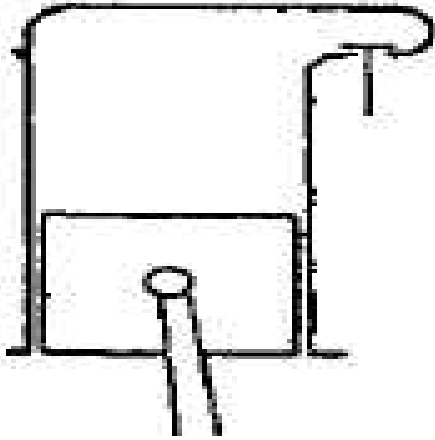
**c. Double Over Head Camshaft (DOHC)**

Pada DOHC terdapat dua poros cam yang terdapat pada kepala silinder. Kedua poros cam tersebut mengatur katup masuk maupun buang secara bersilangan. Ada juga desain DOHC setiap poros cam mengatur katup secara tersendiri, artinya katup masuk diatur oleh satu poros cam dan katup buang juga diatur oleh satu camshaft. Sistem ini memerlukan celah lebih besar pada kepala silinder untuk meletakkan mekanisme poros engkol.



**Gambar 33. Double over head camshaft**

## 2. Tipe Katup di Samping (*Valve In Side*)



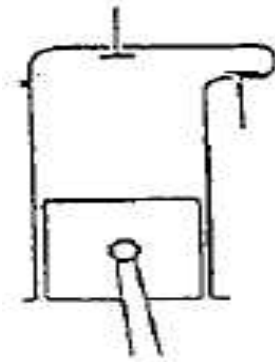
Gambar 34. Side valve Type

Letak katup masuk dan katup buang berada sejajar lurus di satu sisi blok silinder. Tipe ini juga disebut tipe *L-head*. Biasanya, konstruksi ruang bakar untuk sistem pembakaran adalah rata (*flat*) sehingga struktur kepala silinder lebih sederhana dan biaya pembuatannya lebih murah dibandingkan dengan tipe katup diatas kepala silinder walaupun efisiensi pembakaran lebih buruk,

strukturnya juga lebih menguntungkan terutama pada saat melakukan perawatan dan untuk pembongkaran dan pemasangan kepala seilinder.

## 3. Head Type

Katup masuk dan buang masing-masing di pasang pada silinder head dan pada sisi silinder block. Tipe ini adalah gabungan (perpaduan) dari tipe *over head valve* dan tipe *side valve*. Bentuk ruang bakar menyerupai tipe *side valve*. Bagimanapun juga, mekanisme gerakan katup lebih kompleks dibanding dengan tipe *side valve*. Sehingga tipe ini jarang digunakan.

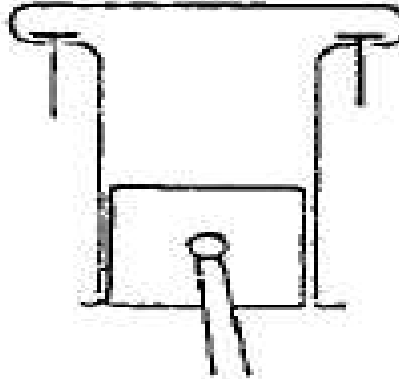


Gambar 35. F-head tipe

## 4. Head Type

Masuk dan katup buang mesing-mesing dipasang secara terpisah di sisi dari blok silinder. Tipe ini memudahkan udara

masuk dan keluar. Sebaliknya, diperlukan waktu yang lebih lama untuk meratakan pembakaran dan pendinginan permukaan juga lebih besar sehingga efisiensi panas (*thermal efficiency*) lebih buruk. Karena itu, ruang bakar tipe ini sangat jarang digunakan.



Gambar 36. T head type

## G. Mesin 2 Langkah dan Mesin 4 Langkah

Pada proses kerja, sistem untuk menghasilkan tenaga. Dalam upaya melakukan kerja, mesin diesel biasa diklasifikasikan menjadi mesin 4 langkah dan mesin 2 langkah. Kedua sistem ini memiliki perbedaan pada siklus kerjanya. Dimana, mesin 4 tak akan melakukan lebih banyak siklus yang dimulai dari langkah hisap, kompresi, usaha dan buang, sehingga membutuhkan  $720^{\circ}$  putaran poros engkol atau dua kali putaran untuk mendapatkan langkah usaha. Mesin 2 tak membutuhkan  $360^{\circ}$  putaran poros engkol atau satu kali putaran poros engkol untuk mendapatkan satu kali langkah usaha.

### 1. Mesin 4 Langkah

Mesin empat langkah berarti empat kali piston turun naik atau dua kali putaran poros engkol menghasilkan satu kali langkah usaha. Mesin empat langkah selalu dilengkapi dua katup yaitu katup buang dan katup hisap. Jumlah katup buang dan hisap bervariasi, tergantung aplikasi pada mesin. Jika sering di temui



katup hisap jumlahnya lebih besar atau lebih banyak dari katup buang, hal itu bertujuan untuk mendapatkan jumlah udara lebih banyak yang dibutuhkan pada saat pembakaran pada setiap kecepatan. Keempat langkah tersebut adalah:

#### a. Langkah Hisap

Pada saat langkah hisap terjadi, piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju ke titik mati bawah (TMB) serta diiringi dengan katup Hisap terbuka dan katup buang tertutup, udara mengalir dari saringan udara melalui *intake manifold* menuju ke dalam ruang bakar. Pada mesin diesel, yang masuk melalui masuk manifold hanya udara saja, karena bahan bakar akan disemprotkan ke dalam ruang bakar beberapa derajat sebelum proses kompresi terjadi. Jadi katup *troothle* membuka untuk melewatkan udara ke ruang bakar. Pada motor diesel, campuran yang masuk ke dalam ruang bakar adalah campuran udara dan bahan bakar.



Gambar 37.  
Langkah hisap

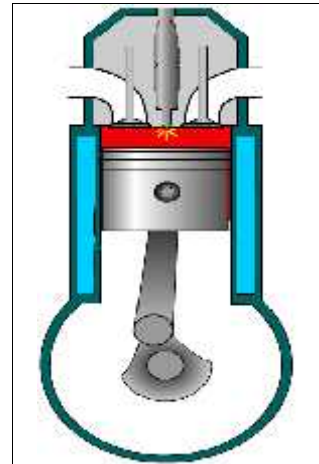
#### b. Langkah Kompresi

Pada saat langkah kompresi piston bergerak dari TMB ke TMA, Katup buang dan katup hisap tertutup, berkisar antara 11 - 15 derajat sebelum piston mencapai TMA, injektor menyemprotkan bahan bakar dalam ruang bakar dan dalam waktu beberapa detik. Udara dan bahan bakar tercampur dan terbakar oleh tekanan piston saat mencapai TMA, tetapi pembakaran tidak hanya terjadi pada beberapa derajat sebelum titik mati atas melainkan 9 - 13° setelah titik mati atas pembakaran baru berakhir.

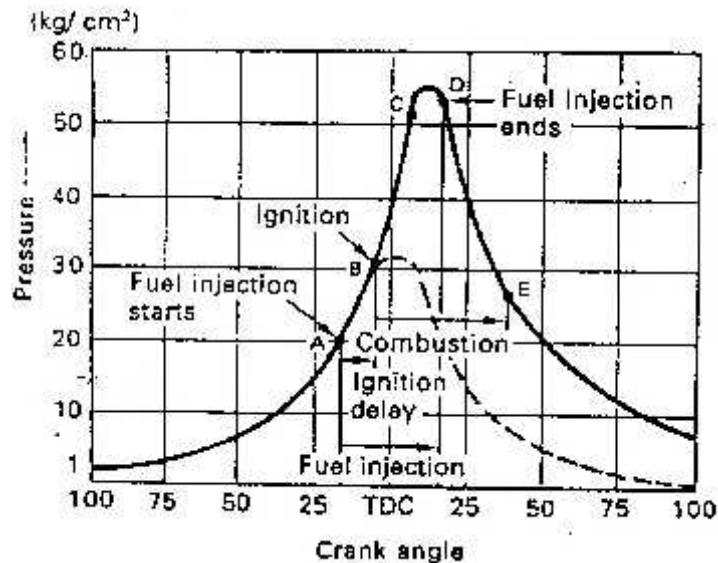
Pada saat terjadi kompresi, harus tidak terdapat sedikitpun terjadi kebocoran pada meknisme silinder. Jika pada saat kompresi terdapat kebocoran, maka langkah kompresi tidak optimal, yang

akan berdampak pada tenaga yang dihasilkan menjadi berkurang. Selain berdampak pada tenaga yang dihasilkan, *blow bay gas* (gas pada ruang poros engkol) menjadi besar yang akan berdampak pada semakin menurunnya tenaga yang dihasilkan oleh mesin.

Proses pembakaran yang terjadi pada motor diesel diperlihatkan dalam hubungan tekanan dan waktu dalam grafik di bawah ini dan dapat dibagi ke dalam empat fase (*Training Manual Toyota, 2000*).



**Gambar 38.**  
**Langkah kompresi**



**Gambar 39.** Grafik Pembakaran pada Motor Diesel

### **1) Fase Pertama**

fase ini merupakan saat penundaan pembakaran (*ignation delay*) pada garis A - B. Pada saat ini, adalah persiapan pembakaran, dimana partikel-partikel yang sempurna dari bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara dalam silinder untuk dibentuk menjadi campuran yang mudah terbakar. Peningkatan tekanan secara konstan terjadi sesuai dengan pergerakan sudut poros engkol.

### **2) Fase Kedua**

Phase ini adalah Saat Perambatan Api (*Flame propagation*), garis B - C. Dengan berakhirnya fase pertama, campuran yang mudah terbakar telah dibentuk dalam bermacam-macam bagian dalam silinder, dengan awal pembakaran terjadi di beberapa tempat. Api ini akan merambat pada kecepatan yang sangat tinggi sehingga campuran terbakar secara *explosive* (letupan) dan menyebabkan kenaikan tekanan yang tinggi begitu cepat. Saat ini disebut fase pembakaran *explosive*. Naiknya tekanan dalam phase ini merupakan persiapan untuk membentuk banyaknya campuran yang mudah terbakar dalam fase ketiga.

### **3) Fase Ketiga**

Pada fase ini merupakan saat pembakaran langsung (*Direct Combustion*) yang terjadi pada garis C - D. Pembakaran langsung dari bahan bakar yang sedang diinjeksikan dalam suatu tempat pada fase ini sesuai dengan terbakarnya bahan bakar dengan adanya api dalam silinder. Pembakaran dapat dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dalam fase ini, dan ini disebut sebagai pengontrolan periode pembakaran.

### **4) Fase Keempat**

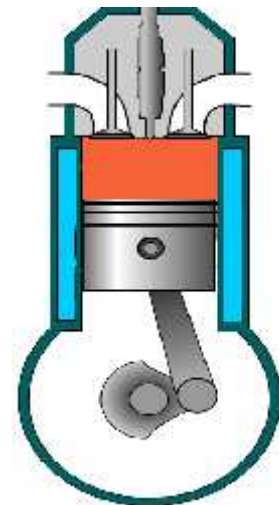
Fase ini merupakan fase pembakaran lanjut (*After burning*) yang berlangsung pada garis D - E. Akhir dari proses pembakaran terjadi pada titik D, tetapi sebagian bahan bakar masih ada dalam ruang bakar untuk dibakar kembali. Apabila fase ini terlalu panjang, maka suhu gas buang akan naik yang disebabkan oleh menurunnya efisiensi.

Apabila fase-fase pembakaran ini dilalui dengan baik, maka inilah yang disebut dengan proses pembakaran sempurna. Apabila pembakaran tertunda (*ignation delay*) terlalu lama ( $>0,001$  detik) atau terlalu banyak bahan bakar yang diinjeksikan selama periode ini, maka akan terjadi kelebihan campuran yang sedang terbakar, hal ini akan mengakibatkan terlalu cepat naiknya tekanan dalam silinder, sehingga akan menimbulkan getaran dan bunyi, hal ini disebut dengan detonasi (pembakaran tidak sempurna). Untuk menghindari agar tidak terjadi detonasi, maka perlu dilakukan hal-hal berikut ini: (1) Penggunaan bahan bakar dengan *cetana number* yang tinggi, (2) Menaikkan temperatur udara dan tekanannya saat mulai injeksi, (3) Mengurangi volume injeksi saat mulai menginjeksikan bahan bakar, (4) Menaikkan temperatur ruang bakar (pada ruang dimana bahan bakar diinjeksikan), dan (5) Memperpendek saat pembakaran tertunda (*Ignation Delay*)(Hariadi, 2005).

### c. Langkah Usaha

Langkah pembakaran yang menyebabkan terjadinya usaha pada motor bakar terjadi pada saat piston bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas. Pada saat itu, kondisi katup masuk dan katup buang tertutup, gerakan piston menyebabkan oksigen pada ruang bakar tertekan dan  $11^0$  sebelum TMA injektor menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar, sehingga campuran bahan bakar dan oksigen terbakar karena tekanan dari piston.

Hasil pembakaran menyebabkan ledakan yang mengakibatkan piston bergerak dari TMA ke TMB. Gerakan piston akibat dari pembakaran tersebut



**Gambar 40. Langkah pembakaran**

yang di sebut langkah usaha. Piston yang bergerak dari TMA ke TMB menyebabkan putaran poros engkol yang akan diteruskan ke *flywheel* dan selanjutnya menjadi putaran tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Gerakan piston turun naik akibat proses pembakaran, menyebabkan poros engkol berputar yang selanjutnya menjadi tenaga mesin.

#### d. Langkah Buang

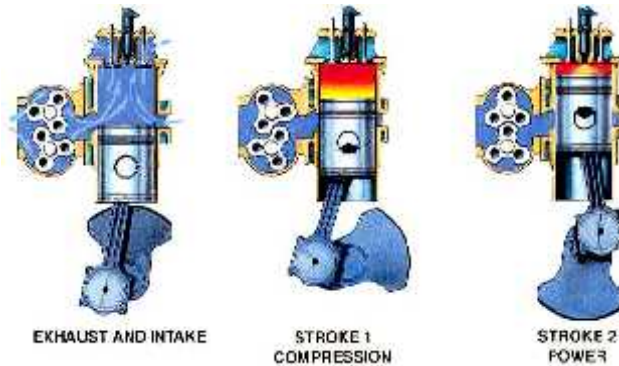
Piston bergerak dari TMB ke TMA, pada saat pergerakannya katup buang terbuka dan katup masuk tertutup. Tetapi 10<sup>0</sup> piston mencapai TMA katup masuk mulai terbuka sementara katup buang juga terbuka. Terbukanya katup masuk pada saat langkah buang bertujuan untuk melakukan pembilasan. Pada langkah bilas, udara bersih masuk dari saluran masuk kelalui katup masuk ke dalam ruang bakar yang akan mendorong sisa-sisa pembakaran keluar ke kenalpot melalui katup buang.



Gambar 41. Langkah buang

#### b. Mesin 2 Langkah

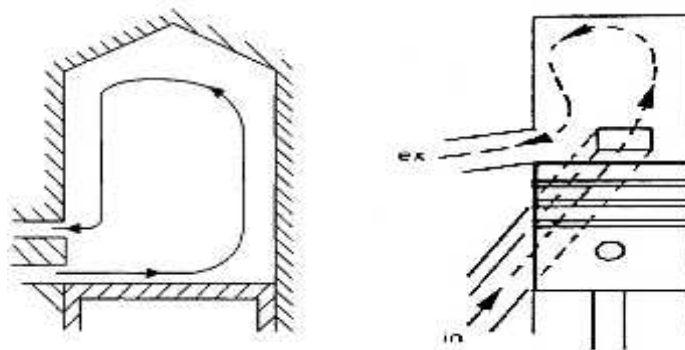
Mesin 2 langkah bekerja hanya satu kali putaran poros engkol (360<sup>0</sup>) menghasilkan satu kali langkah usaha. Pada saat piston bergerak dari TMA ke TMB terjadi langkah hisap. Saat piston dari TMB ke TMA terjadi langkah pembilasan, di akhir langkah pembilasan terjadi langkah kompresi. Ledakan pembakaran pada langkah kompresi menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB yang sekaligus memutarakan poros engkol untuk memindahkan daya menuju sistem pemindah tenaga.



**Gambar 42. Sistem pembakaran pada mesin 2 langkah**

Pada saat langkah buang dan masuk terjadi langkah pembilasan, udara masuk dari saluran *intake manifold* mendorong sisa-sisa pembakaran untuk keluar melalui kenalpot. Ada beberapa metode yang terjadi pada saat langkah pembilasan pada mesin 2 langkah, yaitu:

**a. Loop Scavenged Engine**

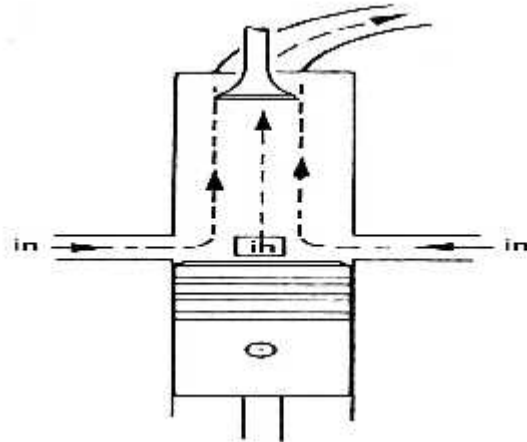


**Gambar 43. Loop scavenging proses**

Prinsip kerja pembilasan model *loop scavenging* adalah saat terjadinya di akhir langkah usaha dan awal langkah masuk. Udara masuk dari masuk manifold berputar di dalam ruang bakar untuk mendorong sisa-sisa pembakaran keluar menuju kenalpot. Kata *Loop*

identik dengan berputar, dalam hal ini langkah pembilasan udara berputar pada ruang bakar.

### b. Katup Buang pada Kepala Silinder



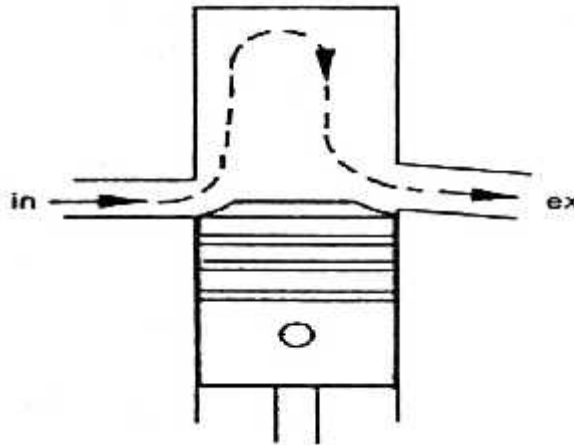
Gambar 44. Sistem pembilasan katup buang pada kepala silinder

Pada sistem pembilasan, katup buang pada kepala silinder mesin artinya, katup buang berada pada kepala silinder dan katup masuk berada pada bodi mesin. Pada sistem ini biasanya tidak terdapat katup masuk yang menjadi penyebab masuknya udara dari luar adalah dinding piston itu sendiri. Pada saat piston berada pada titik mati atas, saluran masuk tertutup pada dinding piston. Sedangkan pada saat piston berada di titik mati bawah, saluran masuk terbuka dan katup buang terbuka. Pada saat saluran masuk memasukkan udara dan katup buang membuka terjadi pengeluaran sisa-sisa pembakaran.

Pada sistem pembilasan katup buang pada kepala silinder mesin, keluaranya gas sisa pembakaran bukan karena dorongan piston melainkan dorongan udara bersih yang keluar dari lubang masuk pada silinder. Tidak dapat dihindari, ada udara bersih yang keluar bersama sisa-sisa pembakaran walau jumlahnya sedikit.

### c. *Cross Flow Scavenging*

Pada sistem pembilasan *cross flow scavenging hole*, katup masuk dan buang berada pada silinder. Pembatasan antara pemasukan dan pengeluaran dilakukan oleh dinding piston. Pada saat piston berada pada titik mati bawah lubang masuk dan lubang buang sama-sama terbuka. Pada saat lubang masuk terbuka seketika udara masuk ke dalam ruang bakar, selain untuk memenuhi kebutuhan pembakaran juga untuk melakukan langkah pembilasan.



Gambar 45. Cross flow scavenging

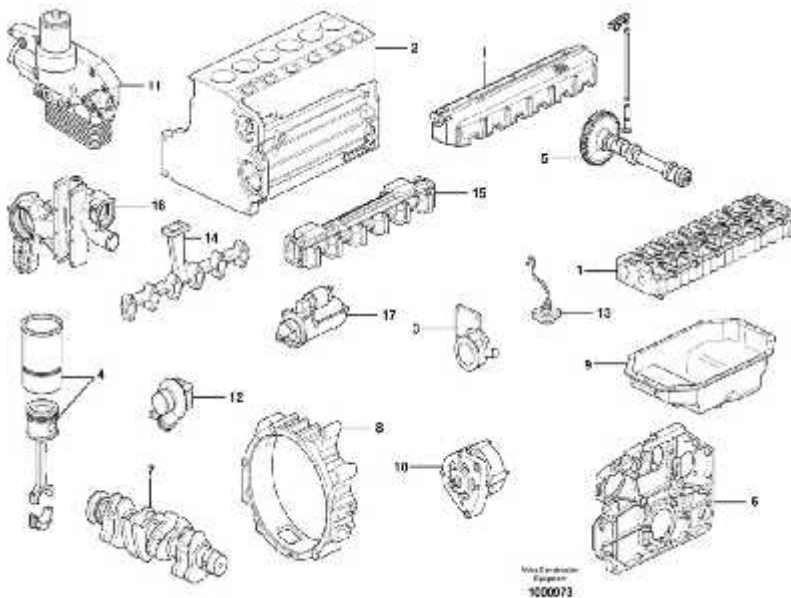
Udara masuk dari saluran masuk akan berputar ke atas ruang pembakaran dan mendorong sisa-sisa pembakaran keluar melalui lubang knalpot. Pada saat piston bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas, saluran masuk dan saluran buang sama-sama tertutup. Pada saat itu, piston menekan udara dan beberapa saat sebelum piston mencapai titik mati atas, *nozzel* menyemburkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran yang menghasilkan langkah usaha (tenaga) pada mesin.



## H. Komponen-Komponen Mesin

Mesin merupakan satu kesatuan sistem yang memiliki komponen yang sangat kompleks dan dalam aplikasi kerjanya saling mendukung dalam upaya mendapatkan kerja mesin yang dapat menghasilkan tenaga maupun daya sesuai dengan keinginan desain *manufacture* kendaraan. Pada dasarnya komponen mesin hasil desain *manufacture* antara satu perusahaan dengan perusahaan yang lain memiliki kesamaan prinsip kerja, hanya pola peletakan dan beberapa komponen tambahan yang dapat menyebabkan hasil desain sebuah *manufacture* memiliki karakteristik tersendiri.

Biasanya, ketidaksamaan sebuah hasil desain mesin yang dikeluarkan oleh perusahaan merupakan ciri khas tersendiri dari perusahaan pembuatnya. Spesifikasi yang ditetapkan merupakan analisis kebutuhan konsumen yang akan menggunakan produk tersebut. Pada dasarnya, mesin terdiri dari beberapa komponen, seperti yang diuraikan berikut:



Gambar 46. Bagian-bagian mesin

Keterangan :

1. Kepala silinder dan tutup kepala silinder  
Kepala silinder terletak di atas mesin sebagai tempat kedudukan mekanisme katup, Injektor dan sistem pembuangan dan sistem pemasukan (katup masuk)
2. Blok silinder  
Blok Silinder berfungsi sebagai rumah piston dan silinder liner, komponen ini juga terdapat mantel jacket yang berfungsi sebagai tempat bersirkulasinya air pendingin (*coolant*).
3. Crankcase Ventilasi  
Crankcase terletak di bagian depan mesin sebagai jalur untuk menjaga tekanan kerja mesin agar tetap berada pada kondisi tekanan kerja yang seimbang antara tekanan di dalam sistem dan tekanan di luar sistem
4. Piston dan Silinder liner  
Piston berfungsi sebagai komponen untuk melakukan pembakaran atau pengompresi (penekan) campuran bahan bakar dan udara agar terjadi pembakaran, selain itu efek gerak yang ditimbulkan oleh pembakaran disalurkan melalui piston ke roda-roda penggerak sehingga menghasilkan daya mesin.
5. Mekanisme Katup  
Mekanisme katup terletak pada kepala silinder, komponen dari mekanisme katup diantaranya adalah *rocker arm shaft*, *rocker arm*, *Valve and spring mechanism*. Mekanisme katup sangat berpengaruh pada proses terjadinya pembakaran dalam ruang bakar. Mekanisme katup ini akan mengontrol campuran udara dan bahan bakar sesuai dengan posisinya.
6. *Gear Timing Housing*  
*Timing gear housing* adalah rumah penutup yang terletak di depan mesin, sebagai penutup timing gear.
7. Poros engkol  
Poros engkol adalah komponen yang berfungsi sebagai pendukung piston dalam melakukan kerjanya. Selain itu, poros engkol juga berfungsi sebagai penggerak yang

memindahkan putaran dari gerak turun naiknya piston menjadi putaran menuju roda-roda. Poros engkol terletak di atas carter yang akan berhubungan dengan poros engkol pada piston

8. *Flywheel Housing*

*Flywheel Housing* adalah komponen yang mengamankan *flyheel* dari gangguan yang terjadi dari luar sistem. Posisi *flywheel housing* bagian belakang mesin sebagai penutup *flywheel*.

9. Carter (*Oil sum*)

Carter adalah komponen yang berfungsi sebagai penampung oli setelah oli bersirkulasi. Selain carter juga berfungsi sebagai penampung bram-bram hasil terkikisnya komponen mesin yang saling bergesekan. Posisi carter pada mesin adalah penutup oli bagian bawah mesin.

10. Alternator dengan *fitting*

Alternator adalah komponen mesin yang dapat menghasilkan arus listrik yang dapat dijadikan pengisian tegangan baterai kembali selama mesin hidup. Prinsip kerja dari alternator ini adalah kumparan yang dapat menyebabkan kemagnetan dan arus listrik pada sistem tersebut.

11. Pendingin oli (*Oil cooler*)

*Oil cooler* adalah komponen yang berfungsi sebagai pendingin oli setelah oli bersirkulasi pada mesin. Pada mesin tertentu pola pendinginan oli adalah dengan melewati bahan bakar pada *cooler*. Disini bahan bakar berfungsi sebagai fluida pendingin. Letak *oil cooler* pada mesin bervariasi tapi mesin generasi terbaru meletakkan *oil cooler* disebelah kanan mesin dan dilekatkan pada blok silinder.

12. *Turbocharger*

*Turbocharger* adalah komponen yang berfungsi sebagai pemompa udara dari luar sistem menuju ke dalam sistem (saluran masuk). Komponen ini sangat tepat diaplikasikan pada mesin-mesin dengan kapasitas dan daya yang besar.

### 13. Saluran bahan bakar, injektor

Saluran bahan bakar adalah komponen yang akan menyalurkan bahan bakar menuju injektor. Saluran bahan bakar memiliki karakteristik harus tahan terhadap tekanan tinggi, karena pada saat menyalurkan bahan bakar menuju ke pompa injeksi terjadi tekanan tinggi. Di sebelah kanan mesin yang akan berhubungan dengan pipa dan injektor.

### 14. Saluran masuk

Saluran masuk adalah komponen yang berfungsi sebagai penampung udara dari *intercooler* sebelum memasuki ruang bakar. Pada mesin dengan kapasitas besar pada intake manifold terdapat satu sensor yang digunakan sebagai sensor tekanan udara (*boost pressure sensor*). Sensor ini yang akan memberikan informasi referensi pada Mesin *Electronic Control Unit* (ECU) untuk menyempatkan bahan bakar. Saluran masuk terletak pada bagian kiri mesin yang akan berhubungan dengan *turbocharger* dan kepala silinder yang berhubungan dengan katup hisap.

### 15. Pipa saluran buang (*Exhaust Pipe*)

Pipa saluran buang adalah komponen yang akan menyalurkan sisa-sisa pembakaran menuju knalpot sebagai saluran buang, biasanya posisi saluran buang pada bagian kiri mesin yang akan berhubungan dengan knalpot dan turbocharger.

### 16. Pompa air and *thermostat*

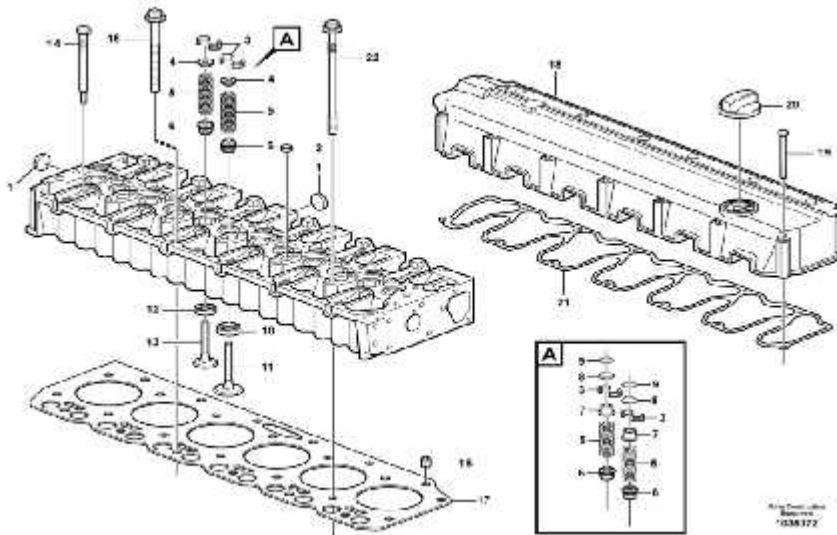
Pompa air adalah komponen pada mesin yang berfungsi sebagai pemompa air (*coolant*) pendingin agar bersirkulasi ke seluruh bagian mesin dengan keperluan pendinginan. Selama mesin bekerja, air pendingin haruslah selalu bersirkulasi agar tidak terjadi *overheating* yang dapat menurunkan kinerja mesin. Selama mesin beroperasi, terutama pada saat pemanasan (*warming up*) air pendingin tidak mengalami pendinginan tetapi setelah mencapai suhu kerja mesin antara 80<sup>o</sup> - 95<sup>o</sup>, air

pendingin baru mengalami pendinginan. Bersirkulasinya air pendingin menuju radiator diatur oleh sebuah termostat. Posisi termostat pada sebuah mesin biasanya pada bagian depan atas mesin yang akan menghubungkan saluran air dari silinder block ke radiator.

#### 17. Starter motor

Starter motor adalah komponen yang berfungsi sebagai penggerak mula untuk memutar mesin. Putaran motor stater didapat dari sistem kemagnetan yang terjadi pada kumparan motor stater karena adanya picuan arus dari kunci kontak. Posisi motor starter pada mesin biasanya terletak pada bagian kiri belakang mesin yang akan berhubungan dengan *flywheel*

### 1. Bagian-Bagian Kepala Sylinder



Gambar 47. Bagian-bagian cylinder head

Kepada silinder adalah kepala silinder mesin yang terletak pada bagian atas mesin. Kepala Silinder merupakan tempat untuk

mengikatkan mekanisme katup yang berkaitan dengan pemasukan udara dan bahan bakar serta saluran keluar untuk sisa-sisa pembakaran. Pada mesin-mesin yang telah menggunakan teknologi baru, pada kepala silinder juga terdapat konstruksi untuk mengontrol mekanisme kerja sistem pembuangan sisa-sisa pembakaran dan injeksi bahan bakar pada mesin. Dari gambar 47 di atas dapat diketahui nama-nama sebagai berikut:

1. *Care plug*

*Care plug* adalah komponen mesin yang berfungsi sebagai penyekat atau lubang penutup yang tidak digunakan. Tujuan utama adanya *care plug* adalah agar tidak ada kebocoran dari lubang yang terhubung dengan sistem kerja mesin. Tidak semua mesin terdapat *care plug*, hanya pada mesin-mesin tertentu dan biasanya terdapat pada mesin dengan daya besar, salah satunya pada mesin D6DGE2 pada volvo mesin.

2. *Valve cone*

*Valve cone* adalah komponen pengikat antara puncak katup steam dengan *spring washer*. Tujuan ikatan katup cone biasanya adalah sebagai penguat hubungan spring dengan katup *steam*, sehingga spring dapat bekerja dengan baik saat *rocker arm* menekan katup pada saat langkah hisap maupun pada langkah buang.

3. *Washer*

*Washer* adalah salah satu komponen pada mekanisme pegas yang berfungsi sebagai penyangga pegas dan sebagai penguat karena mendukung ikatan antara *washer* dengan *valve cone*.

4. *Spring disc*

*Spring disc* adalah komponen yang berfungsi sebagai plate penahan pegas yang akan di kuncikan dengan *washer*. Bagian *spring disc* mendukung saat *rocker arm* menekan katup sehingga saat *rocker arm* membebaskan tekanan *spring* akan kembali dan mengangkat posisi piston karena ikatan yang diciptakan oleh *spring disc* untuk mengikat *spring*.

#### 5. Pegas Katup

Katup spring adalah komponen pada mekanisme katup yang berfungsi sebagai pengembali katup dan mendukung katup agar selalu berada pada posisi tertutup. Pada saat *rocker arm* menekan katup, bersamaan dengan itu *rocker arm* melawan gaya pegas sebelum katup terbuka. Pada saat *rocker arm* mulai melepaskan tekanannya, maka pegas katup akan mengembalikan posisi katup pada keadaan awal yaitu tertutup. Dengan demikian, gaya pegas akan sangat mempengaruhi cepat atau lambatnya pembukaan atau penutupan celah katup ketika bekerja. Gaya pegas yang lemah dapat menyebabkan kembalinya katup terlambat, keterlambatan tersebut dapat berdampak pada pemasukan udara atau pengeluaran udara pada ruang bakar sehingga sangat besar efeknya pada kesempurnaan pembakaran.

#### 6. *Valve seal*

*Valve seal* adalah komponen pada mekanisme pegas yang memisahkan pelumas agar tidak masuk ke dalam ruang bakar saat katup bekerja. Banyak dikenal batang katup untuk inisial lain dari *seal valve*. Posisi sebuah *seal* yang berada pada batang katup. Dapat diprediksi pada saat katup *steam* bocor maka oli pelumas akan masuk ke dalam ruang bakar dan dapat menghasilkan asap putih pekat sisa-sisa pembakaran. Pada saat melakukan penggantian komponen pada mekanisme katup dan seorang mekanik melepas katup maka disarankan untuk mengganti *steam seal*.

#### 7. *Trus washer*

*Trus washer* memiliki fungsi yang sama dengan *washer* hanya posisi komponen tersebut pada kepala silinder berbeda. Kedua komponen ini saling mendukung dalam mengikat pegas katup agar selalu terkunci dengan plat pegas. Terkuncinya kedua komponen ini akan menyebabkan ikatan yang erat antara katup, *washer*, dan *spring disc* kokoh.

8. *Snap ring*

*Snap ring* adalah komponen pada mekanisme spring yang berfungsi sebagai perapat, sehingga saat spring bekerja tidak terjadi guncangan atau gerakan yang dapat mempengaruhi kinerja pegas dalam mengembalikan posisi katup menjadi menurun. *Snap ring* juga dapat berfungsi sebagai penguat ikatan antara washer dengan *valve cone* dan *valve disc*.

10. Dudukan katup

Dudukan Katup adalah komponen pada kepala silinder yang berfungsi sebagai dudukan katup. Dudukan katup mempunyai sudut antara  $15^{\circ}$  sampai  $30^{\circ}$ , komponen ini sangat penting karena dapat menyebabkan kebocoran pada saat terjadinya pembakaran maupun terjadinya kebocoran pada oli pendingin dan masuk ke dalam ruang bakar. Efek terbesar saat terjadi kebocoran pada bagian ini adalah berkurangnya tenaga yang dihasilkan oleh mesin dan menghasilkan asap pembakaran berwarna putih.

11. Katup masuk

Katup masuk adalah komponen pada kepala silinder yang berfungsi sebagai pemasukan udara atau campuran antara udara dan bahan bakar menuju keruang bakar. Pada suatu mesin, katup masuk biasanya lebih besar dari pada katup buang. Hal ini terjadi karena pada saat pemasukan udara pada ruang bakar untuk kebutuhan pembakaran dibutuhkan suplai udara yang terjadi pada jangka waktu yang cepat dan dalam jumlah banyak.

12. Dudukan katup

Dudukan Katup yang dimaksudkan pada bagian ini memiliki kesamaan dengan bagian sepuluh sebelumnya. Hanya posisi letak yang berbeda, satu dudukan katup yang diletakkan di bagian masuk katup sedangkan yang pada bagian ini diletakkan pada katup buang. Kedua komponen ini memiliki kesamaan fungsi yaitu sebagai dudukan katup pada saat katup menutup. Akibat yang akan di timbulkan apabila sudut dudukan katup ini tidak sesuai dengan



spesifikasi yang berbeda adalah gas sisa-sisa pembakaran yang dikeluarkan akan mengalami kebocoran dan dapat mempengaruhi kinerja mesin atau tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Pada saat terjadi kerusakan pada sistem ini, rekomendasi utama adalah melakukan kalibrasi antara sudut katup dengan sudut kedudukan katup dengan cara melakukan sekir katup.

#### 13. Katup Buang

Katup buang adalah katup yang berfungsi sebagai saluran pengeluaran sisa-sisa pembakaran menuju pipa saluran buang dan *muffler*. Katup ini memiliki celah yang biasanya lebih besar tetapi memiliki dimensi lebih kecil bila di banding dengan katup masuk. Katup buang harus memiliki karakter tahan panas karena sisa-sisa pembakaran pada ruang bakar bertemperatur sangat tinggi.

#### 14. *Plug*

*Plug* adalah komponen pada kepala silinder yang berfungsi sebagai plug atau penutup. Tidak semua mesin mekanisme penutup sebagai penyumbat saluran pada kepala silinder. Pada mesin-mesin dengan kapasitas kecil bahkan plug bentuk ini jarang di temukan.

#### 15. *Bolt* (baut)

Baut adalah komponen pada kepala silinder yang berfungsi sebagai pengikat atau penguat hubungan antara kepala silinder dengan blok silinder. Baut pada mesin memiliki spesifikasi torsi tertentu sesuai dengan besarnya mesin dan daya yang mampu dikeluarkan. Baut yang akan merapatkan hubungan antara kepala silinder dengan blok silinder. Pada saat terjadi pembakaran, pada suhu dan tekanan tinggi pada ruang bakar akan mencegah terjadinya kebocoran pada celah kepala silinder dengan blok silinder. Dapat diprediksi bila terjadi kebocoran pada sistem ini maka pengaruh yang dapat ditimbulkan adalah kebocoran oli pelumas melalui celah-celah pada kepala silinder dan blok silinder. Pola pengencangan pada kepala silinder memiliki variasi putaran, hal ini mencegah terjadinya

kemiringan dalam pengencangan baut yang dapat mengakibatkan terjadinya kebocoran pada saat mesin bekerja.

16. *Bushing*

Pada suatu kepala silinder biasanya terdapat dua *bushing* yang berfungsi sebagai pengikat atau pengunci gasket kepala silinder baik saat pemasangan maupun setelah di pasang pada kepala silinder dan blok silinder.

17. *Cylinder head gasket* (gasket kepala silinder)

Gasket kepala silinder adalah komponen yang berfungsi sebagai perapat antara kepala silinder dengan blok silinder. Komponen ini terbuat dari bahan aluminium campuran. Pada saat melakukan pembongkaran pada kepala silinder direkomendasikan untuk melakukan pergantian, agar saat pemasangan tidak terjadi kebocoran. Kebocoran pada gasket kepala silinder akan mengakibatkan tekanan kompresi pada mesin menurun dan akan berdampak pada penurunan daya yang dihasilkan mesin.

18. Penutup katup

Penutup katup adalah komponen yang berfungsi sebagai pelindung komponen kepala silinder termasuk mekanisme katup, agar tidak ada kontaminasi kotoran atau dapat mencegah oli pelumas terpancar keluar sistem.

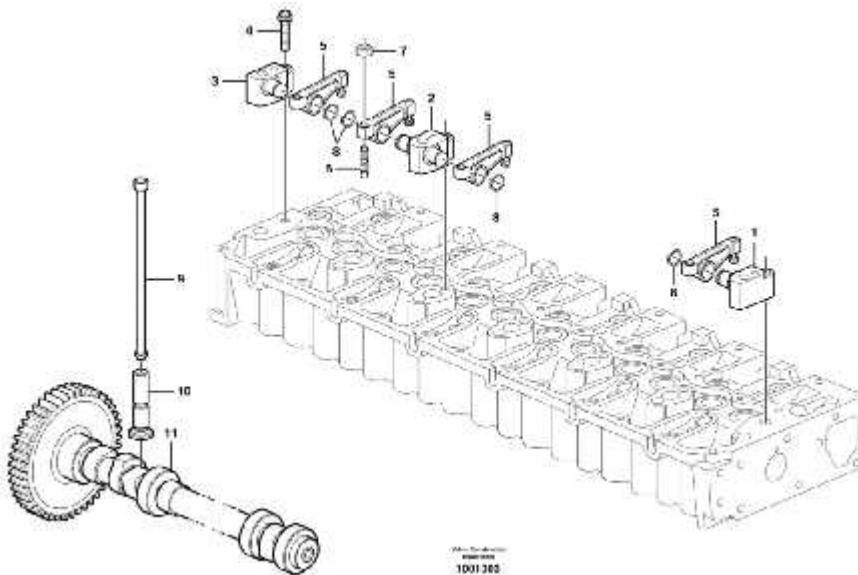
19. *Screw*

*Screw* adalah komponen yang berfungsi sebagai pengikat hubungan antara tutup silinder dengan kepala silinder dengan tujuan utama untuk mencegah terjadinya kebocoran oli pelumas ke luar sistem.

20. *Filler cap*

*Filler cap* adalah komponen yang berfungsi sebagai penutup kepala silinder pada penutup katup. Selain itu lubang ini juga dimanfaatkan untuk melakukan pengisian oli mesin.

Selain itu, ada bagian lain pada kepala silinder di antaranya adalah sebagai berikut:



**Gambar 48. Mekanisme katup pada kepala silinder**

Keterangan:

1. Bracket
2. Bracket
3. Bracket

Bracket merupakan komponen yang memegang poros cam dan merupakan penyangga dudukan poros cam pada kepala silinder. Bracket pada kepala silinder selalu dilengkapi dengan *bearing cap* sebagai upaya memberikan dudukan dan penyekat gesekan langsung antara poros cam dengan kepala silinder sehingga akan mencegah terjadinya keausan pada poros cam. Braket selalu dilengkapi dengan celah-celah kecil sebagai lubang oli pelumasan. Oli pelumasan memungkinkan gerakan poros cam terjadi dengan halus.

4. *Screw*

*Screw* adalah komponen yang berfungsi sebagai pengikat antara bracket dengan kepala silinder yang memungkinkan braket dapat mengikat kepala silinder

dengan erat. Ikatan *screw* sangat menentukan kinerja poros cam, terutama pada *clearance* pada poros cam. *Clearance* yang besar dapat menyebabkan perputaran poros cam tidak stabil. Ketidakstabilan ini akan berdampak pada kinerja poros cam dalam menekan poros cam. *Clearance* yang sesuai merupakan titik tolak kestabilan kinerja poros cam dalam melakukan kerjanya.

5. *Rocker arm*

*Rocker arm* adalah komponen yang berfungsi sebagai penekan katup untuk menutup atau membuka sesuai dengan proses kerja pada setiap langkahnya. *Rocker arm* mendapatkan tekanan dari cam pada poros cam. Tetapi pada *over head valve* dimana posisi poros cam berada pada blok silinder, untuk melakukan penekanan pada *rocker arm* sebuah poros cam di bantu oleh *tapped* dan *lifter valve*. Selain itu, sebagai mengubah gerakan dari gerak melingkar pada poros cam menjadi gerak naik-turun katup pengangkat untuk mengangkat dan menekan *rocker arm*.

6. *Screw rocker arm*

*Screw rocker arm* adalah komponen yang berfungsi sebagai penyetel *clearance* antara *rocker arm* dengan katup. *Clearance* ini akan menentukan besarnya pembukaan katup baik buang maupun saluran masuk. Dengan demikian *clearance* pada baut *rocker arm* yang sesuai merupakan titik tolak kebaikan performa baik yang dihasilkan mesin.

7. *Nut* (mur)

Mur adalah pengikat yang akan mengikatkan sebuah bolt (baut). Pada saat melakukan penyetelan celah katup, nut yang dikendorkan dan dikencangkan adalah mur pengikat baut *rocker arm*.

8. *Snap ring*

*Snap ring* adalah komponen yang berfungsi sebagai perapat saat poros *rocker arm* diikatkan pada bracket. *Snap ring* ini juga merupakan pembantu mengencangkan ikatan bracket dengan poros *rocker arm*. *Snap ring* di posisikan pada sebelah kanan dan sebelah kiri bracket.

9. *Push rod*

*Push rod* adalah komponen yang lebih dikenal dengan istilah katup pengangkat. Dimana komponen ini memiliki fungsi sebagai pengangkat *rocker arm* untuk melakukan penekanan pada katup. Katup pengangkat ini yang akan menghubungkan putaran dari *rocker arm* dan *tapped*. Komponen ini biasanya terdapat pada mesin dengan tipe *over head katup* (hanya mekanisme katup terletak di silinder head sementara mekanisme poros cam terletak pada blok silinder).

10. *Tapped*

*Tapped* adalah komponen perubahan gerakan dari gerak berputar menjadi gerak naik turun, selain itu *tapped* juga berfungsi sebagai penyalur gerakan dari poros cam menuju ke katup pengangkat.

11. Poros cam (*camshaft*)

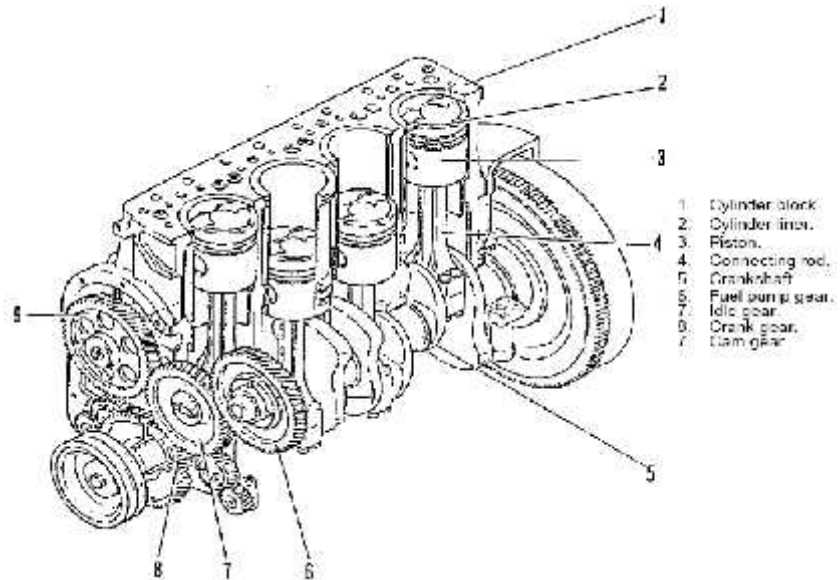
*Camshaft* adalah komponen yang berfungsi sebagai peletak mekanisme cam yang dapat mentransfer putaran dari poros engkol baik melalui *pully* maupun melalui sabuk dan di teruskan menuju *tapped* dan katup pengangkat. Poros cam juga dilengkapi sebuah gir yang akan berhubungan dengan sabuk atau *idle gear* ke poros engkol untuk memindahkan putaran.

## 2. Blok Silinder

### a. Blok Silinder

Blok silinder adalah komponen yang terbuat dari besi tuang dan di rancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan tekanan dan panas yang tinggi. Blok Silinder merupakan tempat meletakkan mekanisme piston, poros engkol, serta mekanisme pelumasan dan pendinginan. Pada proses pekerjaannya blok silinder akan dihubungkan dengan banyak komponen. Pada bagian atas dihubungkan dengan kepala silinder dengan mekanisme poros cam, pada bagian depan dihubungkan dengan *timing gear sistem*, pada bagian bawah dihubungkan dengan *carter* dan pada bagian

belakang dihubungkan dengan *fly wheel*. Semua komponen mesin ini bekerja sama hingga menghasilkan tenaga sebagai gerakan mesin.



Gambar 49. *Cylinder housing*

### b. Mekanisme Piston dan Linner

Pada bagian atas piston motor diesel terdapat ruang bakar yang berbentuk cekung, pada saat langkah kompresi piston akan menekan udara dan beberapa derajat sebelum TMA bahan bakar disemprotkan di bagian atas piston dan menghasilkan pembakaran karena tekanan yang dihasilkan piston saat bergerak dari TMB ke TMA.

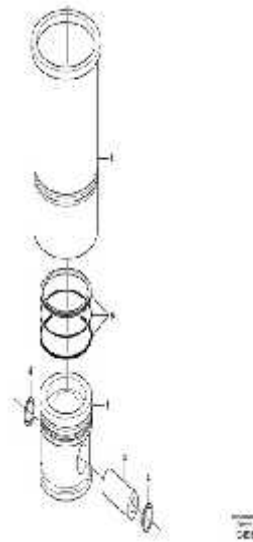
Piston pada mesin diesel dilengkapi dua ring kompresi dan satu bagian bawah ring pelumasan. Ring kompresi menahan agar kompresi pada bagian ruang bakar tidak bocor menuju *crankcase* (ruang poros engkol). Selain itu, ring piston juga berfungsi sebagai penjaga oil film pada dinding silinder serta memindahkan panas dari piston menuju ke linner.

Keterangan :

1. Kit silinder liner
2. piston
3. piston pin
4. clip
5. ring kit

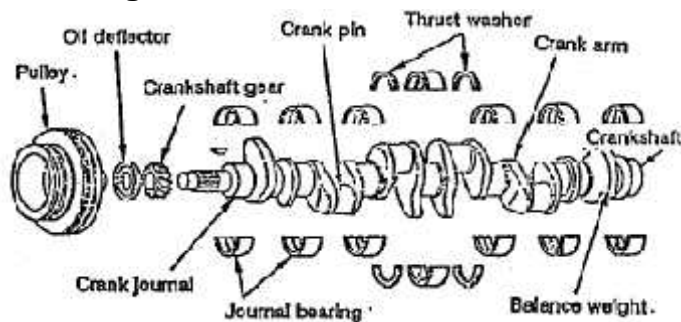
Piston diikatkan pada poros engkol dan menjadi penggerak utama pada mesin. Piston digerakkan oleh pembakaran yang terjadi pada ruang silinder dan gerakan vertikal (naik turun) diubah menjadi gerak melingkar oleh poros engkol.

Piston di tempatkan pada suatu tabung yang disebut *linner*. Silinder *linner* sebagai komponen yang menahan tekanan tinggi. Selain itu, silinder *linner* juga sering mengalami beban gesek yang sangat tinggi akibat gerak naik turunnya piston.



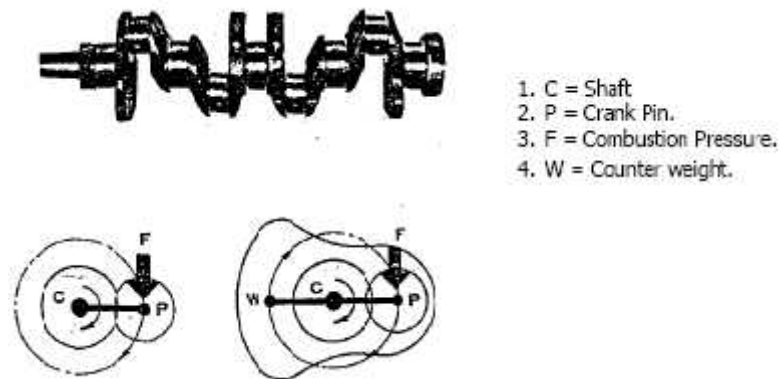
**Gambar 50. Mekanisme Piston dan Linner**

### c. Poros Engkol



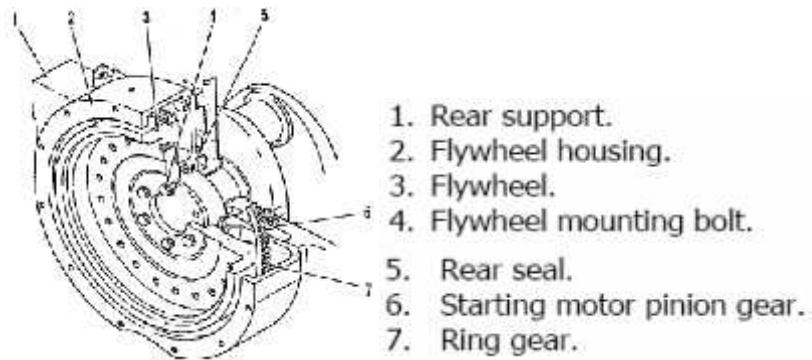
**Gambar 51. Poros engkol**

Poros engkol adalah komponen yang mengubah gerakan naik turun piston menjadi gerak melingkar dan kemudian diteruskan ke sistem penggerak untuk menggerakkan roda. Untuk mengatasi gaya sentrifugal, poros engkol di lengkapi penyeimbang (*counter weigh*) sehingga dapat meminimalisir atau bahkan menghilangkan gaya sentrifugal yang terjadi pada putaran mesin. Selain itu *counter weigh* juga sebagai penyeimbang gerakan naik-turun menjadi gerak berputar sehingga efektivitas gerakan poros engkol menjadi bertambah.



Gambar 52. Penyeimbang poros engkol

d. Flywheel



Gambar 53. Flywheel



*Flywheel* terpasang di bagian belakang mesin yang berhubungan dengan poros engkol serta diikatkan dengan menggunakan baut. *Flywheel* berfungsi sebagai penyalur putaran dari poros engkol menuju ke transmisi melalui daya maupun kopling mekanis.

Pada awalnya, tenaga mesin dihasilkan oleh langkah kompresi di dalam mesin. Tidak dapat dipungkiri daya yang dihasilkan mesin tidak sama di setiap silinder. Adanya momen inersia pada *flywheel*, daya yang tidak sama akan diubah menjadi putaran yang merata pada *flywheel* sehingga momen inersia pada *flywheel* dapat mengisi kekosongan gerakan pada poros engkol.

# Siklus Motor Bakar

## A. Siklus Termodinamika

Analisis siklus termodinamika merupakan hal terpenting sebagai upaya memahami tidak hanya secara prinsip kerja, tetapi lebih dalam, hingga mencapai proses kerja dan kinerja motor bakar. Berbagai proses, baik secara kimia dalam menjalankan analisis campuran dan pembakaran, membutuhkan kemampuan teoritis dan analisis untuk memecahkan segala permasalahan pada perbandingannya. Selain proses kimia, proses termodinamika akan berhubungan dengan proses untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan dengan melalui berbagai proses.

Untuk mempermudah analisis proses termodinamika memerlukan suatu siklus yang diidealkan sehingga memudahkan untuk menganalisis motor bakar. Siklus yang diidealkan tentunya harus mempunyai kesamaan dengan siklus sebenarnya. Sebagai contoh kesamaannya adalah urutan proses, dan perbandingan kompresi. Di dalam siklus aktual, fluida kerja adalah campuran bahan bakar udara dan produk pembakaran, akan tetapi di dalam siklus yang diidealkan fluidanya adalah udara.

### 1. Besaran-Besaran Pokok Termodinamika

Temperatur dan tekanan adalah besaran yang menjadi pokok dari sistem termodinamika, karena hubungan antar keduanya sangat penting untuk mencirikan proses keadaan sistem. Di samping itu, besaran temperatur dan tekanan adalah besaran dari hasil pengukuran secara langsung dari suatu proses dalam sebuah sistem. Hal ini berbeda dengan besaran lainnya yang tidak berdasarkan pengukuran, tetapi diturunkan dari besaran temperatur dan tekanan. Sebagai contoh, kerja adalah besaran

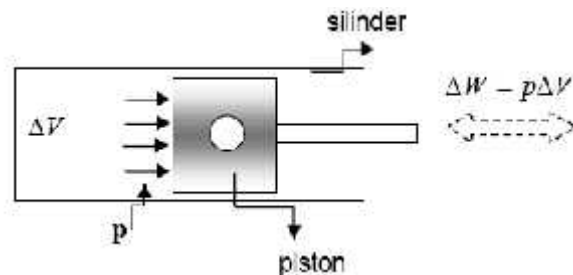
turunan dari tekanan atau temperatur. Kerja pada volume konstant  $W = m \cdot R \cdot \Delta T$  sedangkan kerja pada tekanan konstant  $W = P \cdot \Delta V$

## 2. Bentuk Energi Motor Bakar

Energi dan kerja mempunyai satuan yang sama, sedangkan kerja dapat didefinisikan sebagai usaha untuk memindahkan benda selama (S) sejauh meter (m) dengan gaya F (Newton). Adapun energi atau kerja mekanik pada mesin-mesin adalah kerja yang dihasilkan dari proses ekspansi atau kerja dari proses kompresi. Kerja mekanik (dW) tersebut sebanding dengan perubahan volume (dV) pada tekanan (p) tertentu.

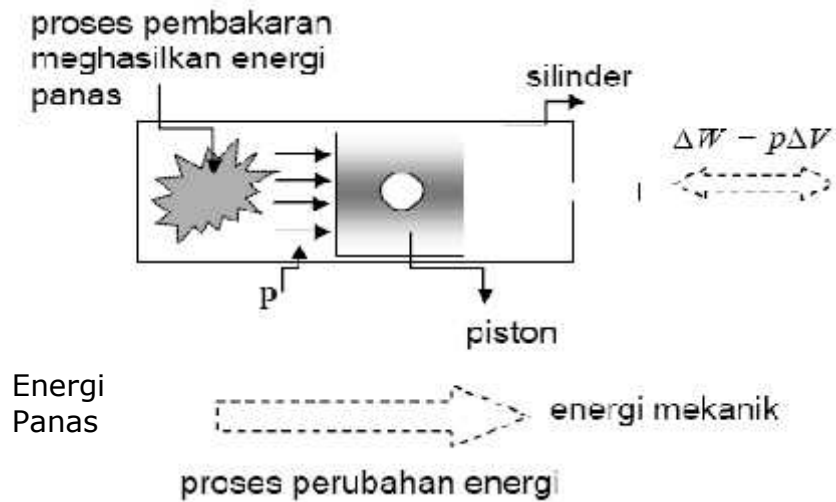
$$\Delta W = p\Delta V$$

Sebagai contoh, energi mesin yang memanfaatkan panas secara sederhana adalah kerja sebuah piston saat melakukan pembakaran dengan mengompresikan (memampatkan) bahan baar dan udara yaitu sebagai berikut:



**Gambar 54. Kerja sebuah piston pada saat pembakaran**

Pada piston motor bakar di atas juga terjadi transformasi energi, artinya energi dapat diubah dalam bentuk lain, pada kerja piston saat pembakaran di atas, diubah dari energi panas menjadi energi mekanik sebagai hasil dari mesin menuju ke roda-roda penggerak.

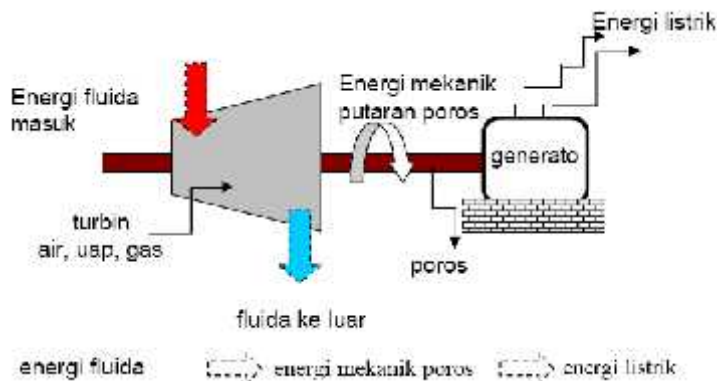


Gambar 55. Proses perubahan energi pada motor bakar

Contoh yang lain adalah proses perubahan energi atau konversi energi pada turbin dan pompa. Perubahan energi pada turbin adalah sebagai berikut, energi fluida (energi kinetik fluida) masuk turbin dan berekspansi, terjadi perubahan energi yaitu dari energi fluida menjadi energi mekanik putaran poros turbin. Kemudian, putaran poros turbin memutar poros generator listrik, dan terjadi perubahan energi kedua yaitu dari energi mekanik menjadi energi listrik.

Proses perubahan energi pada motor bakar mengalami perubahan dari sumber bahan bakar dan udara yang dibakar pada ruang bakar. Hal ini sesuai dengan hukum termodinamika pertama yaitu energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan hanya energi dapat di rubah dari satu bentuk energi ke dalam bentuk energi yang lainnya. Hukum termodinamika I dapat di tulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$EP_1 + EK_1 + ED_1 + EA_1 + \Delta Q = EP_2 + EK_2 + ED_2 + EA_2 + \Delta W$$

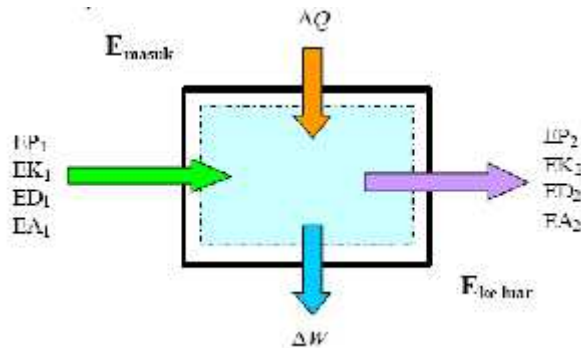


**Gambar 56. Perubahan energi pada turbine**

Pada sistem terbuka akan ada pertukaran energi dari sistem dengan lingkungan atau sebaliknya maka persamaan di atas dapat dijabarkan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$mgZ_1 + m \frac{V_1^2}{2} + [U_1 - p_1V_1] + \Delta Q - mgZ_2 + m \frac{V_2^2}{2} + [U_2 + p_2V_2] + \Delta W$$

Dengan dinamika perubahan energi kerja pada sebuah sistem adalah sebagai berikut :



**Gambar 57. Dinamika perubahan energi pada sebuah sistem**

Dengan  $(pV + U) = H$  dapat di tulis kembali menjadi persamaan sebagai berikut:

$$mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + H_1 + \Delta Q = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + H_2 + \Delta W$$

$$E_{masuk} = mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + H_1 + \Delta Q$$

$$E_{keluar} = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + H_2 + \Delta W$$

Jadi, pada sistem terbuka, persamaan termodinamika untuk siklus pertama dapat dituliskan secara sederhana sebagai berikut:

$$E_{masuk} = E_{keluar} \quad \text{atau} \quad \Delta EP + \Delta EK + \Delta H + \Delta Q = \Delta W$$



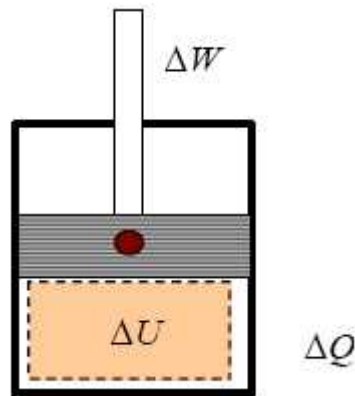
Gambar 58. Perubahan energi pada sistem terbuka

Jika Hukum termodinamika pertama dituliskan secara sederhana untuk sistem tertutup, dimana massa tidak dapat melintas batas sistem, maka energi EP dan energi EK dapat dihilangkan dari persamaan dan dapat dituliskan kembali dengan persamaan menjadi:

$$\Delta EP + \Delta EK + \Delta pV + \Delta Q = \Delta W + \Delta U \quad \Delta Q = \Delta W + \Delta U$$

Jadi untuk sistem tertutup akan berlaku persamaan

$$\Delta Q = \Delta W + \Delta U$$



Gambar 59. Perubahan energi pada sistem tertutup

### 3. Siklus Ideal Motor Bakar

Siklus di dalam silinder mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sangat kompleks sekali. Pertama, udara (pada motor diesel) atau udara akan bercampur bahan bakar (pada motor bensin) akan menjadi satu campuran pada ruang bakar untuk menghasilkan polutan hasil pembakaran yang bersih setelah pembakaran menghasilkan energi. Campuran pada ruang bakar akan dikompres oleh piston dan akan terbakar oleh tekanan atau lantikan bunga api dari busi. Untuk menghasilkan suatu pola pembakaran yang sempurna pada setiap kecepatan mesin, setiap mesin memiliki pola perhitungan tersendiri dan tergantung pada aplikasi dari mesin tersebut.

Adanya sistem kerja pada sebuah mesin untuk menghasilkan daya mesin guna menjalankan kerja dengan baik, dapat dipelajari dari terjadinya siklus pada mesin tersebut. Untuk mempermudah pola pemahaman dari sebuah siklus, penggunaan siklus ini berdasarkan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Fluida kerja dianggap udara sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan.
2. Langkah hisap dan buang pada tekan konstan.
3. Langkah kompresi dan tenaga pada keadaan adiabatik.

4. Kalor diperoleh dari sumber kalor dan tidak ada proses pembakaran atau tidak ada reaksi kimia.

Siklus udara pada motor bakar yang akan dibahas adalah

- a. Siklus udara pada volume konstan (Siklus Otto).
- b. Siklus udara pada tekanan konstan (Siklus Diesel).
- c. Siklus udara tekanan terbatas. (Siklus gabungan).

### **a. Siklus Udara Volume Konstan (*Otto Cycles*)**

Siklus ideal volume konstan ini adalah siklus untuk mesin otto (bensin). Siklus volume konstan sering disebut dengan siklus ledakan (*explosion cycle*) karena secara teoritis proses pembakaran terjadi sangat cepat dan menyebabkan peningkatan tekanan yang tiba-tiba. Penyalaan untuk proses pembakaran dibantu dengan loncatan bunga api. Nikolaus Otto menggunakan siklus ini untuk membuat mesin sehingga siklus ini sering disebut dengan siklus otto sesuai dengan nama penemu siklus tersebut.

Pada siklus mesin empat langkah yang terjadi pada volume konstan dan sistem pemasukan udara dengan *naturally aspirated* ditunjukkan pada gambar di bawah. Siklus tersebut banyak dipergunakan pada seluruh kendaraan, terutama berbahan bakar bensin. Untuk keperluan analisis siklus ini harus selalu memperhatikan *air standard cycle*. Pada langkah hisap saat dimulainya siklus otto, piston berada di TDC dan ini terjadi dengan tekanan konstan pada saat tekanan masuk dari atmosfer.

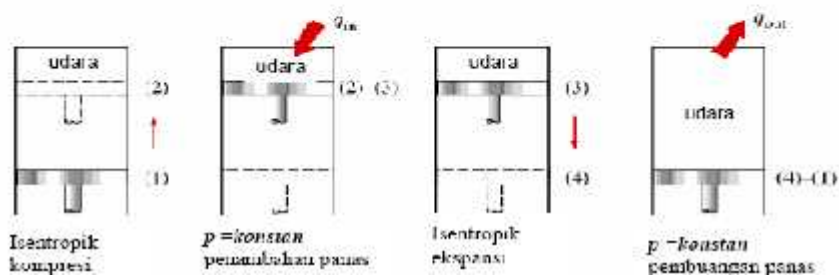
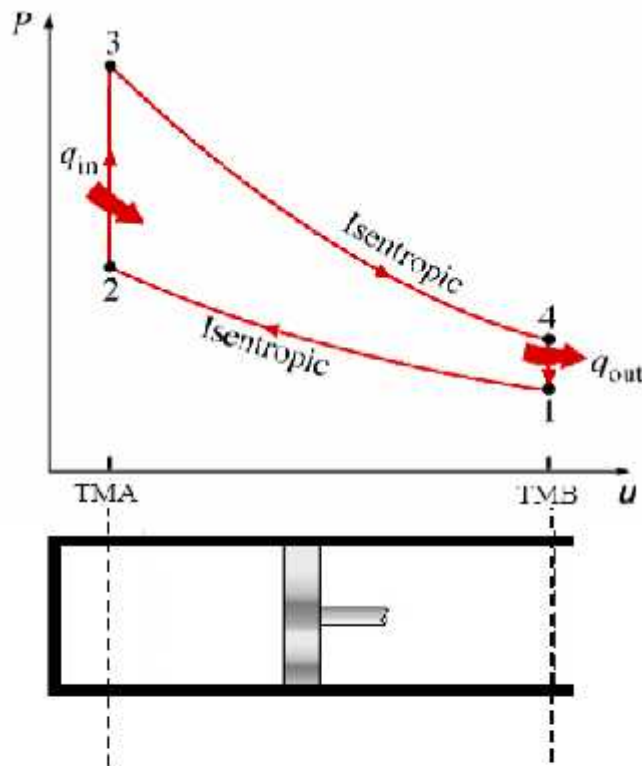
Adapun proses dari diagram PV dibawah adalah:

- 1) Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan. Pada langkah hisap campuran bahan bakar dan udara di hisap oleh piston melalui katup hisap ke dalam ruang bakar.
- 2) Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatik. Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.
- 3) Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatik



Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pengeluan kalor pada volume konstan

- 4) Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan, gas pembakaran dibuang lewat katup buang



Gambar 60. Siklus volume konstan

Selama terjadi siklus (1-2) dan (3-4) secara isentropis, tidak ada panas yang dimasukkan atau dikeluarkan selama proses. Perubahan panas terjadi selama volume constan 2-3 dan pembuangan panas terjadi selama volume constan pada proses 4-1.

Panas yang dimasukkan selama proses 2-3

$$= cp(T_3 - T_2)$$

Panas yang dibuang selama proses 4-1

$$= Cv(T_4 - T_1)$$

Kerja yang dilakukan adalah

$$= (\text{Panas masuk} - \text{panas keluar})$$

$$= Cv(T_3 - T_2) - Cv(T_4 - T_1)$$

Thermal efficiency  $y = \frac{\text{workdone}}{\text{heatSupply}}$

$$y = \frac{Cv(T_3 - T_2) - Cv(T_4 - T_1)}{Cv(T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$

Perbandingan kompresi  $V_1/V_2 = \text{Expansion ratio } V_4 - V_1 = r$

Untuk gas ideal  $pV = RT$  dan  $PV^x = \text{konstan}$

Persamaan ini akan menghasilkan

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_3}{T_4} = r^{\gamma-1}$$

$$T_3 = T_4 r^{\gamma-1} \text{ dan } T_2 = T_1 r^{\gamma-1}$$

Dari persamaan di atas, jika di substitusikan akan menghasilkan persamaan:

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_4 - T_1)r^{x-1}} = 1 - \frac{1}{r^{x-1}}$$

Efisiensi juga dapat ditemukan pada suhu  $T_4$  dan  $T_3$

Saat  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{r_3}{V_4}$  persamaan tersebut akan menghasilkan

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \text{ atau } \frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4}$$

Dan akan mempengaruhi

$$1 - \frac{T_2}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_4} \text{ atau } \frac{T_3 - T_2}{T_2} = \frac{T_4 - T_1}{T_4}$$

Dimana 
$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{T_4}{T_3}$$

Jika efisiensi tersebut disubstitusikan akan menghasilkan persamaan:

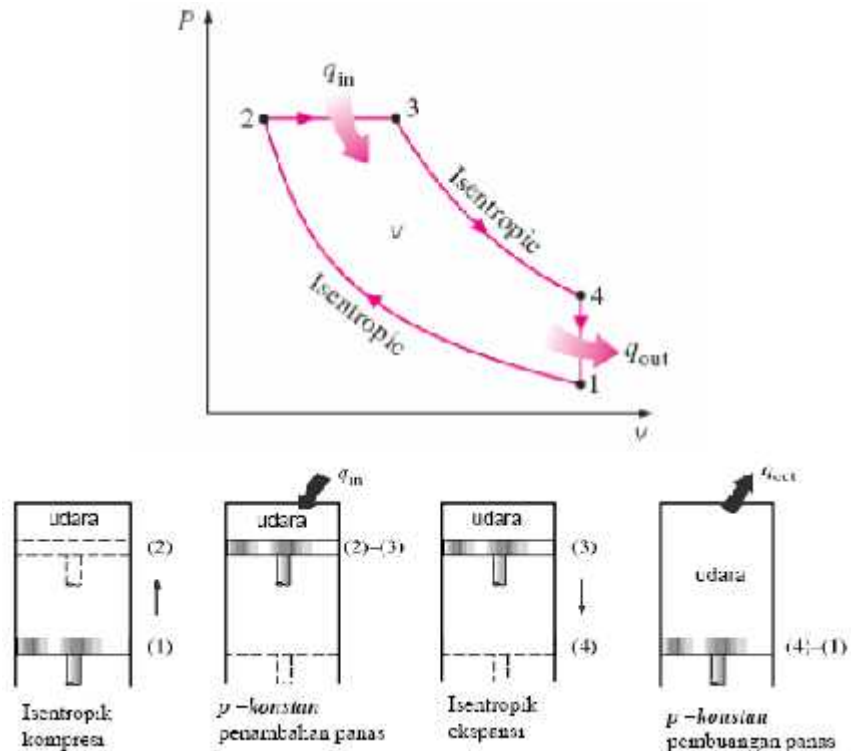
$$\eta = 1 - \frac{T_4}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Dengan menggunakan *monoatomic gases* seperti helium ( $\gamma=1.66$ ), argon ( $\gamma = 1.97$ ) dengan udara konstan dapat meningkatkan efisiensi siklus otto, bagaimanapun secara praktik siklus pada mesin dengan open sistem, udara atmosfer hanya sebagai fluida kerja, sedangkan kerja rata - rata pada siklus otto (*Work ratio of otto cycle*) adalah:

Kerja Specific yang dihasilkan  $w = C_v(T_3 - T_4) - C_v(T_2 - T_1)$

Dan rata-rata kerja = 
$$\frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1) - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_4}$$

## b. Siklus Udara Tekanan Konstan (*Diesel Cycle*)



Gambar 61. Siklus udara tekanan konstan

Siklus ideal tekanan konstan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar di atas adalah diagram P - V untuk siklus ideal Disel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

- 1) Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
- 2) Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatik.  
Proses pembakaran tekanan konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada tekanan konstan.
- 3) Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatik.  
Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.

4) Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan.

Siklus diesel adalah teori dasar untuk mempelajari proses pembakaran kompresi pada mesin diesel. Berbeda dengan siklus otto, siklus diesel mendapatkan penambahan panas dari tekanan konstan. Tekanan konstan ini yang akan selalu diperhatikan saat akan melakukan analisis pada siklus tekanan konstan. Tekanan turun atau *blowdown* pada akhir langkah ekspansi akan terjadi juga pada saat tekanan konstan.

Dapat dilihat dari urutan proses di atas bahwa pada siklus tekanan konstan pemasukan kalornya pada tekanan konstan berbeda dengan siklus volume konstan yang proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel. Rudolf Diesel yang pertama kali merumuskan siklus ini dan sekaligus pembuat pertama mesin diesel. Proses penyalaan pembakaran terjadi tidak menggunakan busi, tetapi terjadi penyalaan sendiri karena temperatur didalam ruang bakar tinggi karena kompresi.

Efisiensi panas pada sebuah siklus diesel ideal didapatkan dari:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{penambahanPanas} - \text{panasterbuang}}{\text{penambahanPanas}} \\ &= \frac{C_p(T_3 - T_2) - C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} \\ &= 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_4 - T_1}{T_4 - T_2} \right) \\ &= 1 - \frac{T_1}{\gamma T_2} \left( \frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \right) \end{aligned}$$

Untuk kompresi secara isentropis dan langkah ekspansi

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{\gamma-1} \quad \text{dan} \quad \frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^{\gamma-1}$$

Pada tekanan konstan penambahan panas

$$\text{Pada 2 - 3 adalah } \frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

juga  $V_4 = V_1$

$$\text{sehingga } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \left( \frac{v_3/v_4}{v_2/v_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{v_3}{v_2} \left( \frac{v_3}{v_2} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{v_3}{v_2} \right)^\gamma$$

subtitusikan persamaan diatas sehingga didapatkan persamaan efisiensi adalah:

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{1}{\gamma (v_2/v_1)^{\gamma-1}} \left[ \frac{(v_3/v_2)^{\gamma-1}}{(v_3/v_2) - 1} \right] \\ &= 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \left[ \frac{\dots^\gamma - 1}{\gamma (\dots - 1)} \right] \end{aligned}$$

$$\text{Kerja kompresi } W_{1-2} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1} \quad (1)$$

Kerja tekanan konstan ( $W_{2-3}$ ) adalah

$$W_{2-3} = P_2 (V_3 - V_2) = P_2 V_2 (S - 1) \quad (2)$$

Dimana  $\beta$  = Perbandingan volume ( $V_3/V_2$ )

Panas yang mampu di pindahkan selama proses tekanan konstant adalah :

$$\begin{aligned} Q_{2-3} &= m C_p (T_3 - T_2) \\ &= \frac{P_2 V_2}{R T_2} \left( \frac{\gamma}{\gamma - 1} R \right) \left( \frac{V_3}{V_2} - 1 \right) T_2 \\ &= P_2 V_2 \left( \frac{\gamma}{\gamma - 1} \right) (S - 1) \quad (3) \end{aligned}$$

kerja pada langkah usaha ( $W_{3-4}$ )

$$W_{3-4} = \frac{P_3V_3 - P_4V_4}{\chi - 1} = \frac{P_2V_2S - P_4V_1}{\chi - 1} \quad (4)$$

Kerja bersih selama proses dapat di hitung

$$\begin{aligned} W_{\text{nett}} &= W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} \\ &= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\chi - 1} + \frac{P_2V_2S - P_4V_1}{\chi - 1} + P_2V_2(S - 1) \quad (5) \end{aligned}$$

Tetapi

$$\begin{aligned} P_2 = P_3 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\chi &= P_1 (CR)^\chi \cdot V_2 = \left( \frac{V_1}{CR} \right) \\ P_4 = P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^\chi &= P_2 \left( \frac{SV_2}{V_1} \right)^\chi = P_2 \left( \frac{S}{CR} \right)^\chi \quad (6) \end{aligned}$$

Subtitusikan persamaan (6) untuk  $P_2$ ,  $V_2$  dan  $P_4$  dalam persamaan (5) dan (3) serta tuliskan untuk mendapatkan efisiensi ideal pada tekanan konstan (CP) siklus:

$$(\gamma_i)_{CP} = \frac{W_{\text{nett}}}{Q_{2-3}} \quad (7)$$

Persamaan (7) pada dapat lebih dipersingkat menjadi

$$(\gamma_i)_{CP} = 1 - \left( \frac{1}{(CR)^{\chi-1}} \right) \frac{S^\chi - 1}{\chi(S - 1)}$$

Perbandingan volume  $\beta$  mengindikasikan perbandingan antara udara dan bahan bakar (A/F) pada saat mesin beroperasi. Melihat Kondisi tersebut dapat di perkirakan:

$$\begin{aligned} Q_{2-3} &= mC_p(T_3 - T_2) = P_2V_2 \frac{\chi}{\chi - 1} (S - 1) \\ &= m_f (CV) \end{aligned}$$

Dimana  $m_f$  adalah massa bahan bakar yang terbakar

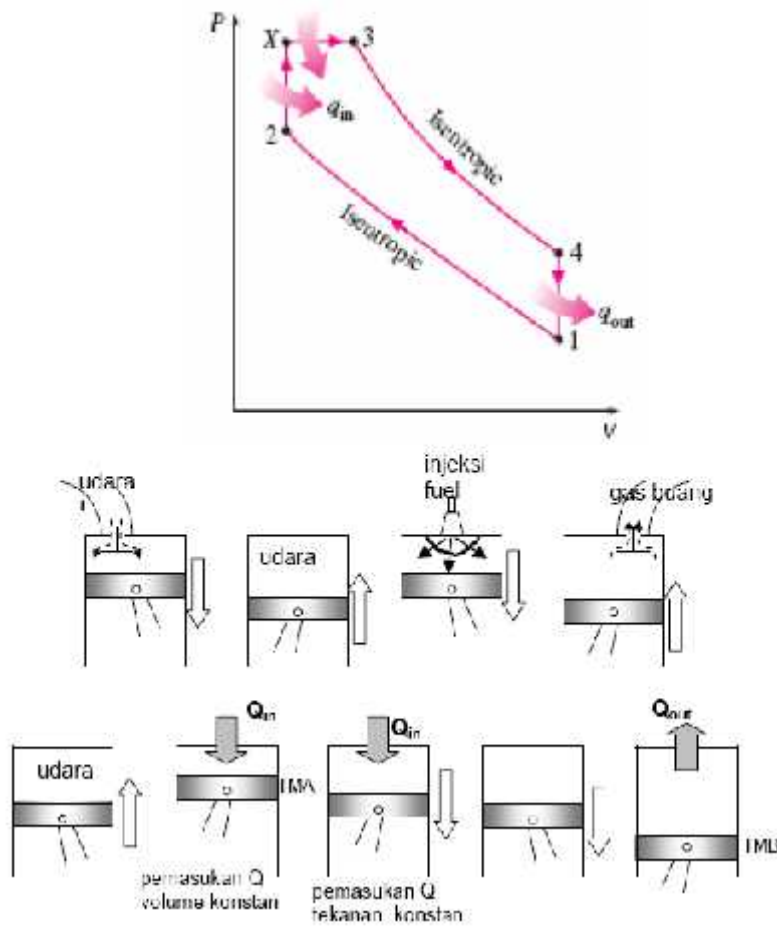
$$\begin{aligned}
 \text{Tetapi } m_{\text{air}} = m_i &= \frac{p_1 V_1}{RT_1} \\
 A/F &= \frac{p_1 V_1}{RT_1} / \left[ \frac{P_2 V_2 \frac{x}{x-1} (S-1)}{(CV)} \right] \\
 &= \left( \frac{1}{CR} \right)^{x-1} \frac{CV}{RT_1} \frac{1}{\frac{x}{x-1} (S-1)}
 \end{aligned}$$

### c. Siklus Gabungan

Perbedaan dari dua siklus yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu pada proses pembakaran dimana kalor dianggap masuk sistem, sedangkan pada siklus yang ketiga yaitu siklus gabungan, proses pemasukan kalor menggunakan dua cara yaitu pemasukan kalor volume konstan dan tekanan konstan. Dari cara pemasukan kalornya terlihat bahwa siklus ini adalah gabungan antara siklus volume konstan dan tekanan konstan, karena itu siklus ini sering disebut siklus gabungan diagramnya p-v dapat dilihat dari gambar 63.

Proses 1-2 adalah kompresi isentropik. Kalor yang ditambahkan terjadi pada dua langkah yaitu proses 2-3 dan 3-4. Proses 2-3 adalah penambahan kalor pada volume konstan dan proses 3-4 adalah penambahan kalor pada tekanan konstan. Proses 3-4 juga merupakan langkah pertama dari langkah kerja. Proses isentropik 4-5 adalah langkah kerja berikutnya. Siklus diselesaikan pada langkah 5-1 berupa proses pelepasan kalor.





Gambar 62. Siklus gabuungan pada motor bakar

Pada proses 1-2 tidak ada kalor, dan kerja adalah:

$$\frac{W_{12}}{m} = u_2 - u_1$$

Pada proses 2-3 tidak ada kerja, dan perpindahan panas adalah:

$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2$$

Pada proses 3-4 :

$$\frac{Q_{34}}{m} = h_4 - h_3 \quad \text{dan} \quad \frac{W_{12}}{m} = p(v_1 - v_3)$$

Pada proses 4-5 tidak ada perpindahan panas:

$$\frac{W_{45}}{m} = u_4 - u_5$$

Pada proses 5-1 tidak ada kerja sehingga :

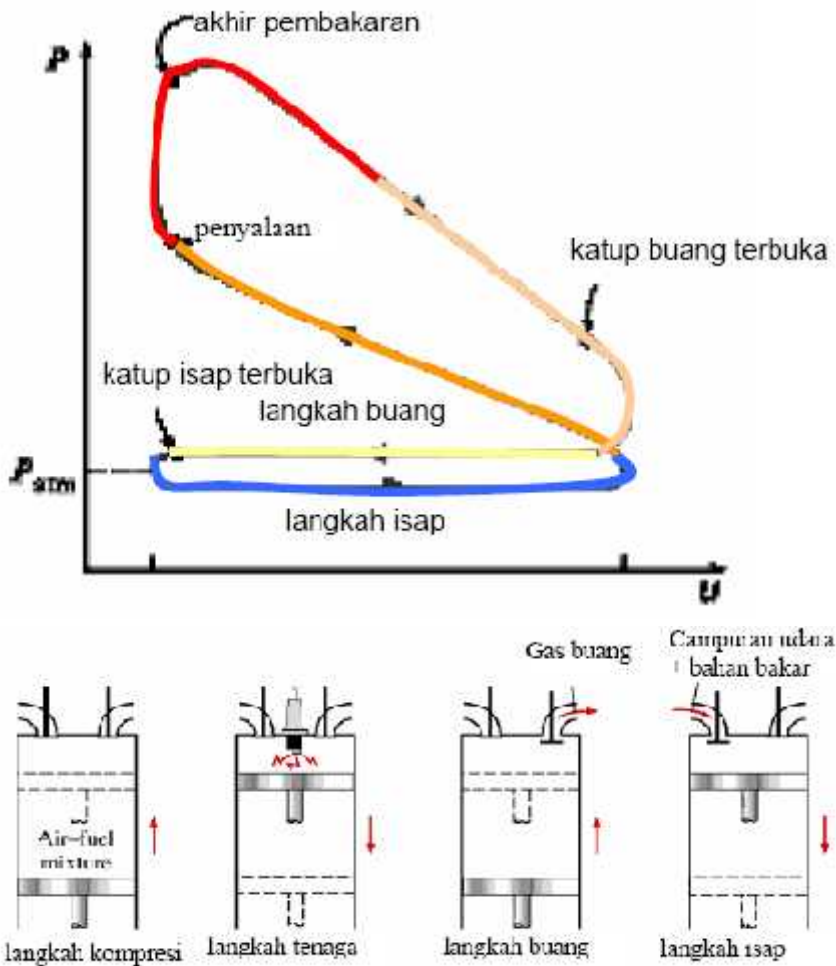
$$\frac{Q_{51}}{m} = u_5 - u_1$$

Efisiensi termal siklus :

$$\eta = \frac{W_{\text{siklus}} / m}{(Q_{23} / m + Q_{34} / m)} = 1 - \frac{Q_{51} / m}{Q_{23} / m + Q_{34} / m}$$

$$\eta = 1 - \frac{(u_5 - u_1)}{(u_3 - u_2) + (h_4 - h_3)}$$

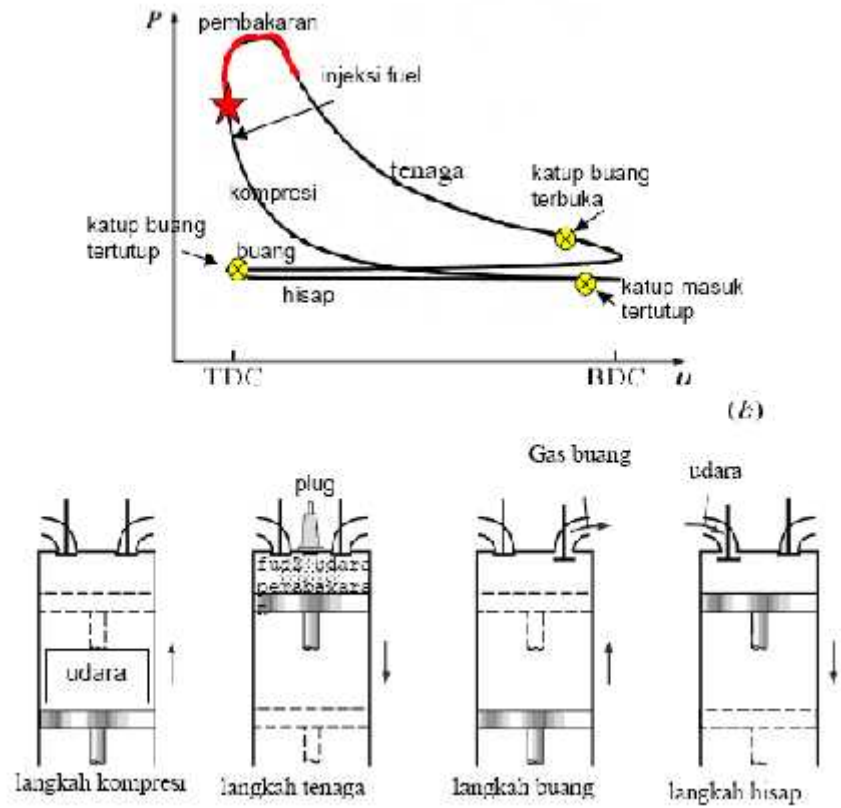
**d. Siklus Aktual Untuk Siklus Otto dan Siklus Diesel**



**Gambar 63. Siklus aktual otto**

Gambar di atas adalah siklus aktual dari mesin otto. Fluida kerjanya adalah campuran bahan bakar udara, jadi ada proses pembakaran untuk sumber panas. Pada langkah hisap, tekanannya lebih rendah dibandingkan dengan langkah buang. Proses

pembakaran dimulai dari penyalaan busi sampai akhir pembakaran. Proses kompresi dan usaha tidak adiabatik, karena terdapat kerugian panas yang keluar ruang bakar.



Gambar 64. Siklus aktual pada diesel

# III

## Sistem Bahan Bakar

### A. Sistem Bahan Bakar

Sejak Robert Bosch berhasil membuat pompa injeksi Diesel putaran tinggi (1922-1927), maka dimulailah percobaan Bosch pada motor diesel diterapkan pada motor bensin. Mulanya pompa injeksi motor bensin dicoba, bensin langsung disemprotkan ke ruang bakar (seperti motor Diesel). Kesulitan akan terjadi waktu mesin dalam kondisi dingin. Pada saat suhu dingin, bensin sangat sukar menguap dan menimbulkan panas hingga menciptakan pembakaran pada ruang bakar.

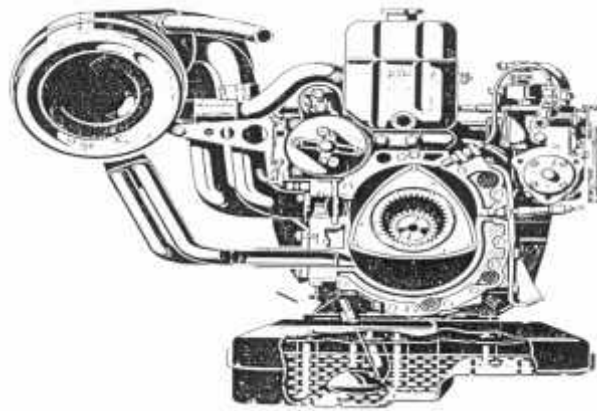
Kondisi ini didukung oleh karakteristik motor bensin yang tidak mampu menghasilkan tenaga kompresi yang besar. Dengan kondisi bensin kental, akibatnya bensin dapat mengalir ke ruang poros engkol dan bercampur dengan oli, bila motor sudah panas masalah ini tidak ada lagi.

Untuk mengatasi kesulitan ini, maka penyemprotan langsung pada ruang bakar, diganti dengan penyemprotan pada saluran masuk. Suatu perlakuan khusus untuk menghindari kerusakan pada pompa, elemen pompa juga harus diberi pelumasan tersendiri. Pelumasan secara terpisah disebabkan oleh bensin tidak dapat melumasi elemen pompa seperti solar, itu berarti pembuatan konstruksi elemen lebih sulit dan mahal.

Para ahli konstruksi terus berusaha merancang suatu sistem injeksi bensin yang berbeda dari sistem-sistem terdahulu (tanpa memakai pompa injeksi seperti motor diesel), terutama untuk pesawat terbang kecil, cukup tertarik memakai sistem injeksi bensin, karena pesawat terbang yang memakai karburator akan

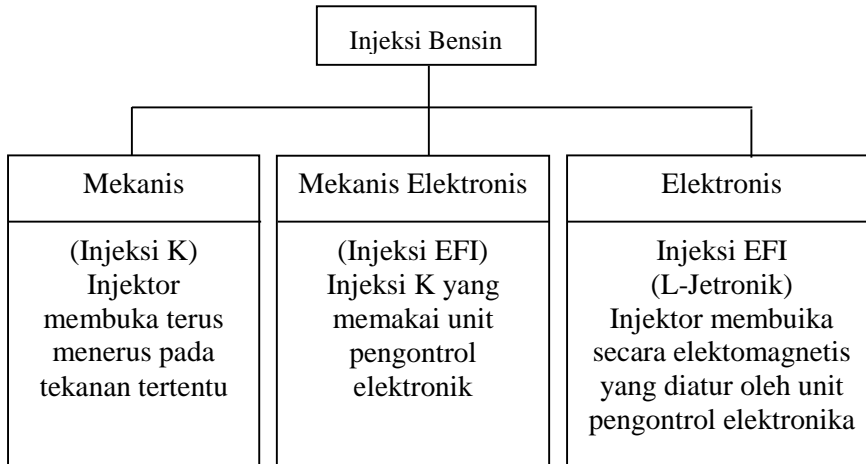
mengalami kesulitan antara lain saluran masuk tertutup es dan posisi dan gerakan pesawat mempengaruhi kerja karburator

Untuk efisiensi pemakaian bahan bakar, motor 2 tak & motor rotari (Wankel) juga telah mengaplikasikan sistem injeksi. Prinsip dasar sistem injeksi yang dipakai pada mobil-mobil saat ini mulai selesai sekitar tahun 1960, dan tahun 1967 industri Mobil VW mulai memakai sistem injeksi D (D-Jetronik). Sistem ini pertama kali memakai unit pengontrol elektronika. Dari tahun 1973 sampai saat ini, sistem injeksi K (K-Jetronik) & L-Jetronik serta Mono-Jetronik telah dipakai pada mobil. Sistem-sistem injeksi ini merupakan pilihan lain dari sistem karburator, terutama pada negara-negara yang mempunyai aturan yang ketat terhadap kondisi gas buang.



**Gambar 65. Sistem injeksi pada mesin wingkel**

Pada dasarnya sistem injeksi yang diterapkan pada motor bensin adalah sebagai berikut:



**Gambar 66. Diagram sistem injeksi pada motor bensin**

Pada motor bensin pencampuran udara dan bahan bakar adalah pokok utama yang diatur pemasukannya menuju ruang bakar sedangkan pada motor diesel udara yang diatur. Penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar dilakukan dengan menggunakan media lain atau yang dikenal dengan injektor. Sistem bahan bakar pada mesin adalah komponen yang berfungsi sebagai penyalur bahan bakar dari tanki menuju ke ruang bakar. Sistem ini memiliki karakteristik kerja yang sedemikian rupa sehingga proses pemasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar dapat memenuhi perbandingan sesuai dengan kerja mesin.

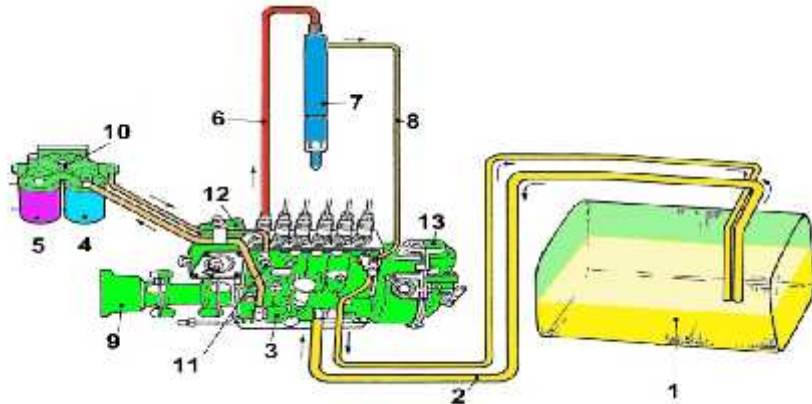
Dalam upaya mendapatkan campuran bahan bakar dan udara sesuai dengan kebutuhan, maka dunia otomotif saat ini menerapkan dua metode penginjeksian bahan bakar, yaitu secara mekanis dan elektronik. Seiring dengan bergulirnya waktu akan tuntutan emisi yang semakin kecil dan munculnya peraturan udara bersih (*clean air regulations*) menghendaki standar yang lebih berat dalam hal sistem injeksi bahan bakar yang mendorong ke arah penggunaan sistem injeksi bahan bakar elektronik.

Untuk mendapatkan sistem pemasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan sebaik-baiknya sesuai dengan jumlah udara yang akan dimasukkan ke dalam ruang bakar dan kecepatan

mesin. Dewasa ini suatu mesin telah menerapkan sistem pengontrolan dengan menggunakan sistem pengontrolan elektronik atau yang lebih dikenal dengan *Engine Managemen system* (EMS).

Beberapa sistem injeksi bahan bakar pada motor diesel yang sekarang diterapkan pada motor diesel, baik dikontrol secara manual maupun elektronik antara lain adalah sebagai berikut:

## 1. Pompa Injeksi Sebaris (*In-Line Injection Pump*)



Gambar 67. Pompa injeksi in-line

Bahan bakar di hisap dari tangki bahan bakar (1) melalui strainer dan saluran masuk (2) oleh *fuel feed pump* (3). Bahan bakar tersebut kemudian dipompakan menuju saringan bahan bakar (4) dan (5) dan terus ke pompa injeksi. Bahan bakar kemudian dinaikkan tekanannya oleh pompa bahan bakar dan dikirim ke *delivery pipe* (6) menuju injektor (7). Kelebihan bahan bakar kemudian kembali ke tangki lewat saluran pengembali (8).

### a. Pluger

Pada pompa injeksi *in line*, setiap injektor memiliki satu pluger yang akan mengatur dan menekan masuknya bahan bakar ke dalam ruang bakar. Plunger bergerak naik turun di dalam *barrel* karena dorongan poros *cam* melalui perantara *tappet* dan *roller* untuk mengurangi gesekan dan memperhalus gerakan. Untuk

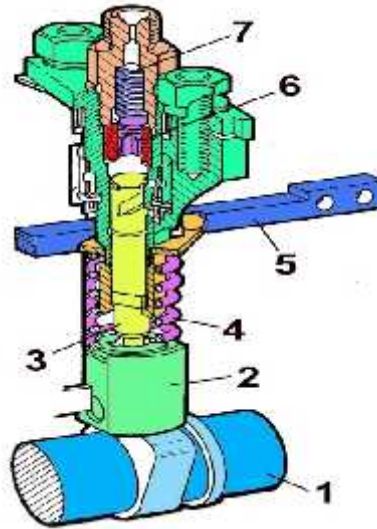


mengembalikan *pluger* ke posisi TMB, digunakan pegas pengembali.

*Pluger* duduk pada dudukan *pluger* yang salah satu bagiannya dikaitkan dengan *control rod*. Gerakan *control rod* secara translasional menyebabkan *pluger holder* berputar secara aksial, sambil bergerak naik-turun, yang dapat mengubah posisi *control groove* relatif terhadap *delivery hole*.

Keterangan :

- 1) Camshaft
- 2) Tapped
- 3) Pluger
- 4) Spring
- 5) Control rack
- 6) Delivery valve
- 7) Delivery spring

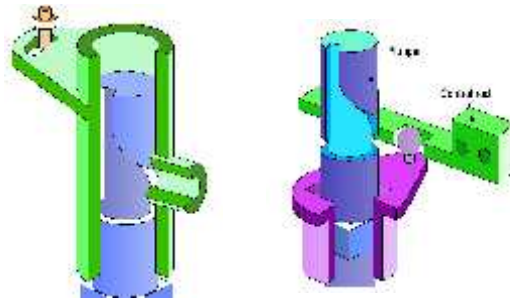


Gambar 68. *Pluger* dalam barrel pada pompa injeksi *in-line*

#### b. Barrel

*Barrel* bertindak sebagai silinder dimana terdapat lubang pemasukan solar (*delivery hole*) yang mendapat pasokan dari *delivery chamber fuel feed pump*. *Barrel* dapat disetel perkaitannya dengan rumah pompa injeksi untuk mengatur jumlah bahan bakar secara proporsional.

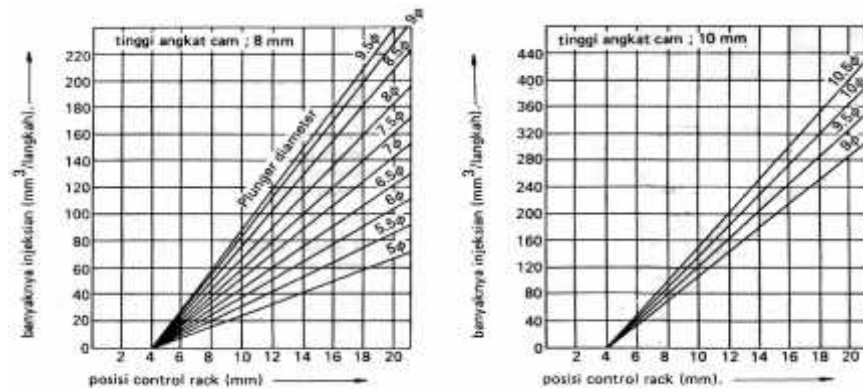
Katup *delivery* berfungsi untuk memungkinkan solar mengalir menuju injektor dengan suatu tekanan dan mencegah solar dari pipa tekanan tinggi terhisap kembali oleh *pluger*. *Valve* tersebut segera menutup aliran begitu tekanan solar drop. *Pluger* adalah sebagai pompa yang menginjeksikan *fuel*, dengan gerakan turun untuk hisap dan gerakan naik untuk penginjeksian, serta gerakan berputar untuk menentukan jumlah yang akan dikonsumsi ke dalam silinder.



**Gambar 69. Proses penginjeksian pada pompa injeksi in-line**

Banyaknya bahan bakar yang akan diinjeksikan ke dalam ruang bakar tergantung pada panjangnya gerakan *control rack*. Semakin panjang gerakan *control rack*, maka putaran plunger akan semakin besar dan penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang bakar akan semakin banyak.

*Control rack* pada pompa injeksi in-line akan di hubungkan dengan *throttle pedal* yang digerakkan oleh driver secara mekanikal dengan menggunakan kabel. Banyaknya bahan bakar yang akan di injeksikan ke dalam ruang bakar berdasarkan langkah *control rack* dapat diperhatikan pada tabel di bawah ini.



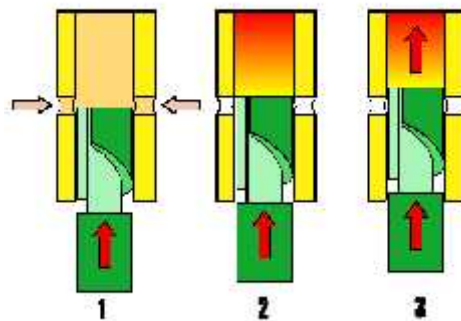
**Gambar 70. Tabel banyaknya penginjeksian vs control rack**

*Plunger* bergerak naik-turun di dalam *barrel*. *Barrel* dilengkapi dengan lubang pemasukan yang akan mengalirkan solar saat *plunger* berada pada posisi terendahnya (TMB). Saat ini lubang pemasukan

terbuka dan solar dengan tekanan rendah mengisi ruangan di atas plunger: (1) Saat *pluger* bergerak naik, sebagian solar akan kembali keluar dari barrel hingga lubang pemasukan tertutup sepenuhnya oleh plunger. Solar yang terjebak menjadi *built up pressure* dan mulai membuka *pressure valve* melawan *spring* (2). Solar akan terus disalurkan ke injektor selama *pluger* bergerak naik (3).

### c. Control Groove

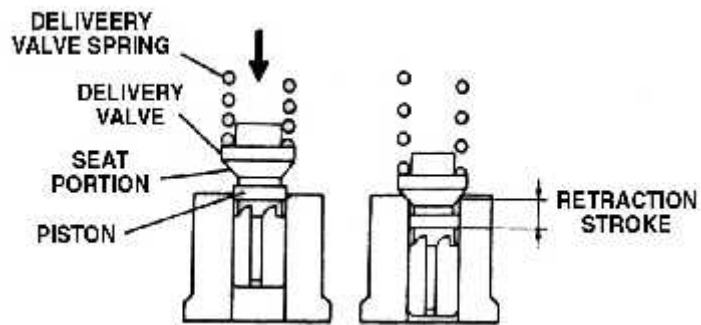
Ketika *control groove* bertemu dengan lubang pemasukan, solar dapat kembali keluar dari *barrel* dan tekanannya langsung drop karena kebocoran kompresi. Saat ini pemompaan solar berakhir walaupun plunger tetap bergerak ke atas. Dengan memutar posisi *pluger*, maka pertemuan *control groove* dengan *delivery hole* dapat berubah, yang berarti mengubah volume solar yang dipompakan tiap langkahnya.



Gambar 71. Metode pemasukan bahan bakar pada pompa injeksi in-line

### d. Katup Delivery

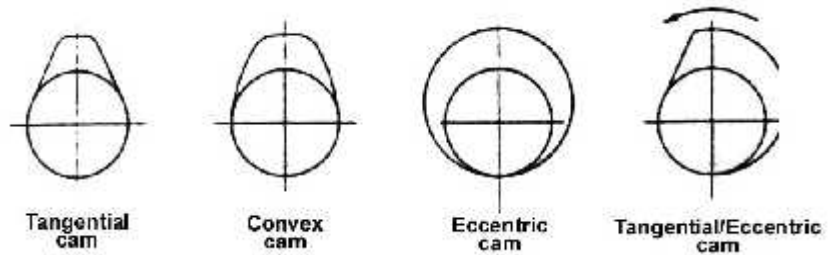
Katup delivery adalah katup yang berfungsi melewatkan tekanan tinggi bahan bakar ke *injektor* melalui pipa tekanan tinggi, dan mencegah aliran balik bahan bakar dari pipa tekanan tinggi ke *barrel*. Komponen ini berbentuk seperti belimbing. Sekatan sudut yang berbentuk belimbing adalah saluran keluar bahan bakar yang akan menuju ke pipa tekanan tinggi dan injektor.



Gambar 72. Struktur katup delivery

**e. Poros Cam (Camshaft)**

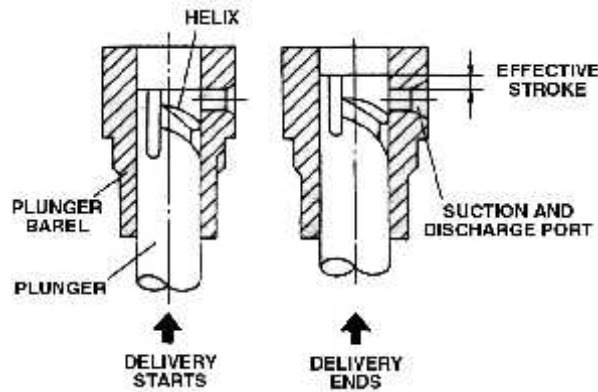
Camshaft adalah komponen yang mendorong masing-masing *plunger* melalui *tapet* melawan *spring* mendorong *Pluger* bergerak naik untuk melakukan pemompaan bahan bakar sesuai dengan waktu yang tepat (*Injection Timing*) serta urutan pembakaran (*Firing Order*) yang ditunjukkan oleh konstruksi dari poros cam itu sendiri. Poros cam diputar oleh *Drive Gear Engine*.



Gambar 72. Poros cam pada pompa injeksi in line

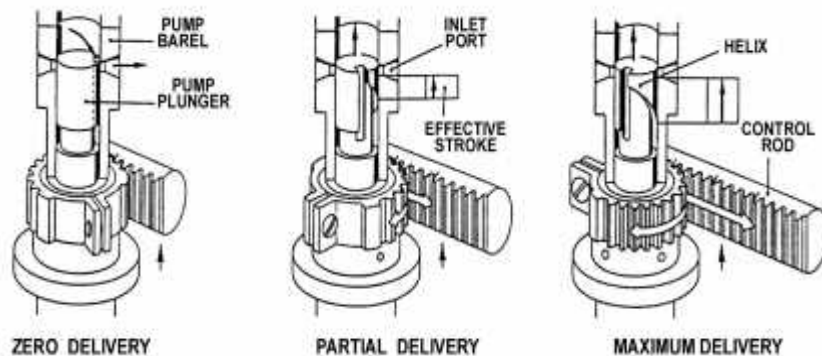
Dilihat dari pola pemasukan bahan bakar yang akan disemprotkan ke dalam ruang bakar, pola pengaturan bahan bakar tersebut di bagi menjadi 2 yaitu:

## 1) Scroll Type



Gambar 73. Pengaturan bahan bakar dengan *scroll type*

*Scroll type* adalah bentuk pengaturan jumlah konsumsi bahan bakar yang akan diinjeksikan ke dalam silinder yang ditentukan oleh posisi Rack. Gerakan yang diberikan tergantung pada jenis *helix pluger*. *Helix* pada *pluger* adalah jalur atau lintasan yang menentukan banyaknya bahan bakar yang akan disalurkan ke dalam ruang bakar melalui katup *delivery*.



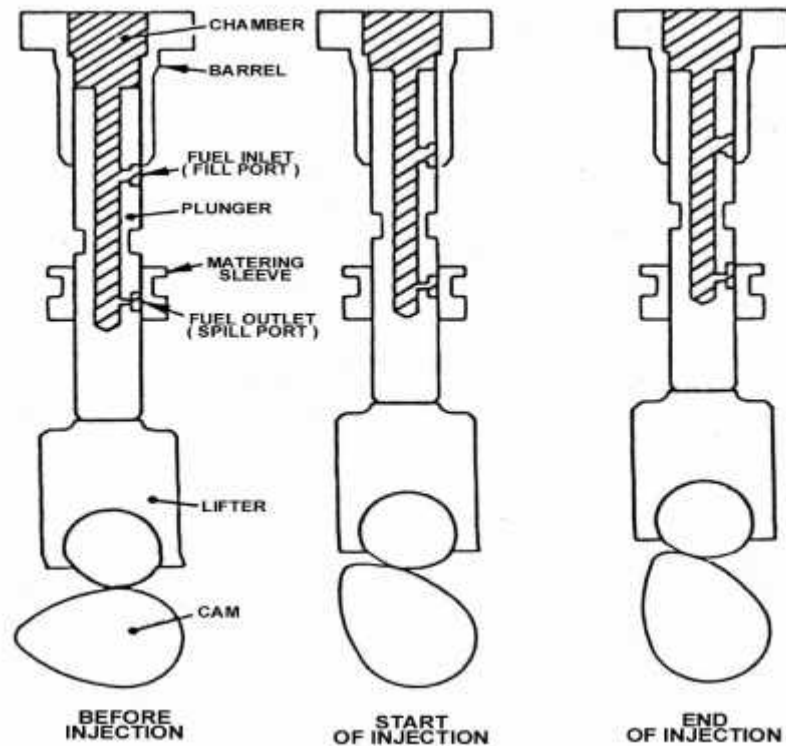
Gambar 74. Mekanisme kerja *scroll type* pada pompa injeksi in-line

Tipe scroll memiliki pola konsumsi bahan bakar juga berasal dari gerakan *control rod*. Semakin dalam injakan pedal yang di tekan oleh operator, maka gerakan *control rod* akan semakin panjang

yang akan menyebabkan pasokan bahan bakar ke dalam ruang bakar akan semakin banyak. Posisi *scroll* akan menyalurkan semakin banyak bahan bakar.

## 2) Sleeve Metering

*Sleeve metering* adalah bentuk pengaturan jumlah konsumsi bahan bakar yang akan diinjeksikan ke dalam silinder ditentukan oleh posisi *sleeve*.



Gambar 75. Sistem sleeve metering pada pompa injeksi

Posisi *sleeve metering* akan menentukan banyaknya bahan bakar yang akan dikeluarkan. Semakin kecil gerakan *sleeve* maka akan semakin kecil pula bahan bakar yang akan disemprotkan ke dalam ruang bakar. Gerakan *sleeve metering* sangat ditentukan oleh gerakan throttle pedal yang di tekan oleh operator. Semakin

besar tekanan throttle pedal yang di tekan oleh operator jalur *fuel outler* pada *barrel* akan semakin kecil sehingga bahan bakar yang akan cenderung keluar kecil dan bahan bakar yang di semprotkan kedalam ruang bakar menjadi bertambah banyak.

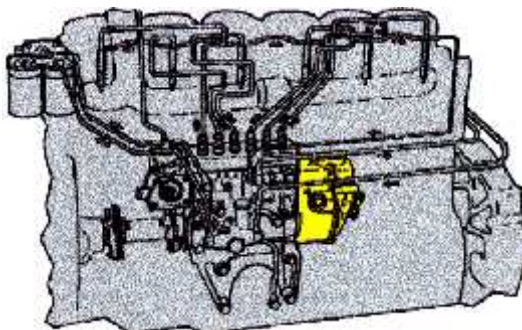
Yang mendasari perbedaan antara *scroll type* dengan *sleeve matering* adalah desain *pluger* yang terdapat pada keduanya, jika pada tipe *scroll* terdapat jalur bahan bakar dan pada bagian tubuh plugernya tidak berlubang. Pada *sleeve matering* konstruksi plugernya berlubang.

#### f. Governor

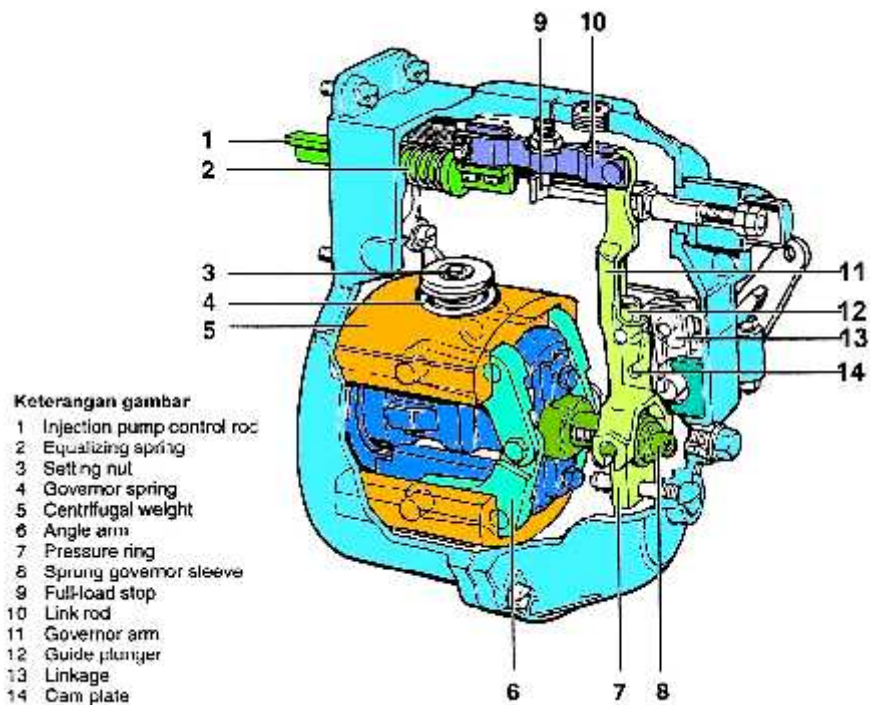
*Governor* adalah komponen pada pompa injeksi *in-line* yang berfungsi sebagai :

- 1) Mengatur putaran mesin agar konstan.
- 2) Mengubah putaran mesin sesuai dengan power yang diinginkan.
- 3) Mengatur *respon engine*.

*Governor* akan mempertahankan Rpm mesin saat terjadi perubahan load (beban) pada mesin. Dengan mengindera Rpm mesin, governor akan memberi sedikit lebih banyak bahan bakar bila beban meningkat dan rpm turun, dan mengurangi jumlah bahan bakar sedikit bila beban berkurang agar rpm relatif tetap stabil. Efek dari kerja mekanisme governor akan berdampak pada kuantitas penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar.



Gambar 76. Letak governor pada pompa injeksi

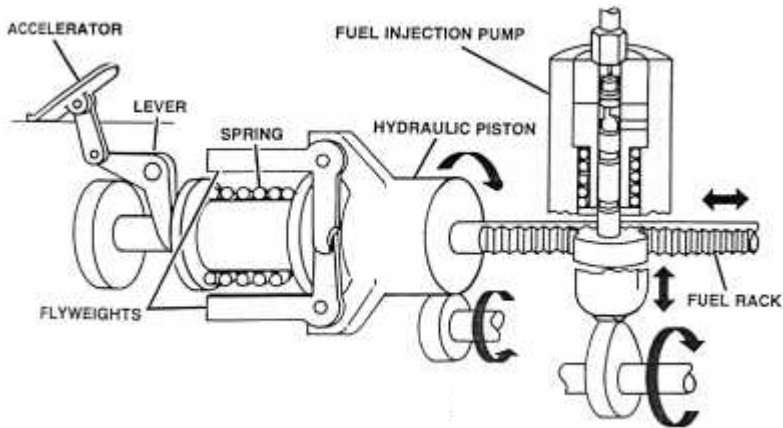


**Gambar 77. Kontruksi governor**

Posisi *Rack* atau *Sleeve* yang menentukan jumlah konsumsi bahan bakar yang akan diinjeksikan ke dalam silinder diatur oleh keseimbangan gaya antara Governor Spring dan Flyweight, dengan ketentuan:

- 1) Apabila Gaya Spring lebih besar dari Gaya Flyweight ( $GS > GF$ ), maka Rack (Sleeve) akan bergerak pada posisi menambah fuel, sehingga putaran mesin menjadi naik.
- 2) Apabila Gaya Spring sama dengan Gaya Flyweight ( $GS = GF$ ), maka Rack (Sleeve) akan diam tetap pada posisinya, sehingga putaran mesin menjadi tetap.
- 3) Apabila Gaya Spring lebih kecil dari Gaya Flyweight ( $GS < GF$ ), maka Rack (Sleeve) akan bergerak pada posisi mengurangi fuel, sehingga putaran mesin menjadi menurun.





**Gambar 78. Prinsip kerja governor**

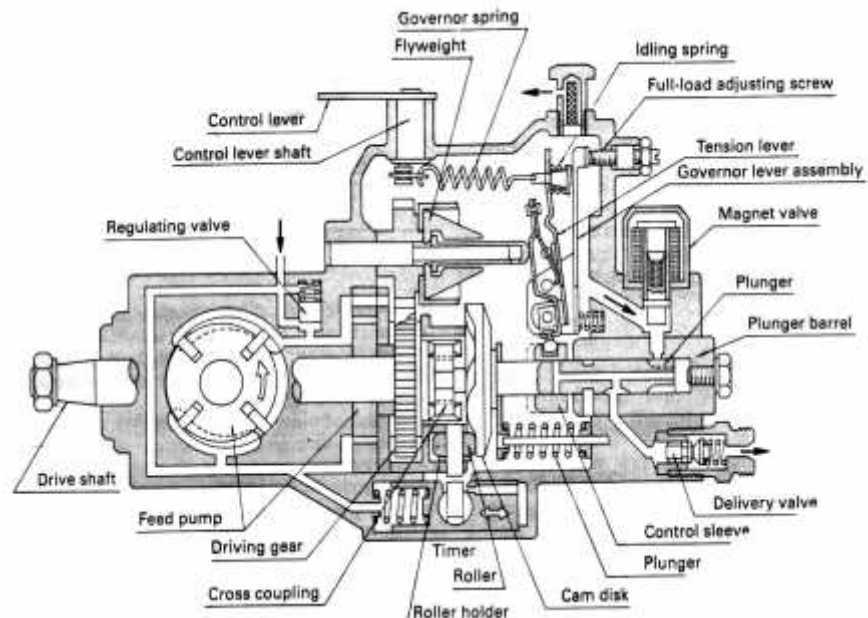
Perbedaan antara Gaya *Spring* dan Gaya *Flyweight* akan terjadi apabila:

- 1) Terjadi pengaturan Gaya *Spring* karena Putaran mesin (putaran naik atau turun).
- 2) Penambahan atau pengurangan beban, sehingga menurunkan atau menaikkan putaran mesin yang mengakibatkan terjadinya perubahan Gaya pada *Flyweight*.

## **2. Distributor Injection Pump**

Pompa injeksi distributor adalah salah satu jenis pompa injeksi yang menerapkan desain satu pluger untuk semua silinder. *Pluger* akan mengatur penyemprotan bahan bakar ke setiap injektor berdasarkan timing penginjeksian pada motor bakar tersebut. Dengan demikian, ketepatan penempatan timing penginjeksian akan sangat berpengaruh pada penyemprotan bahan bakar yang terjadi pada ruang bakar.

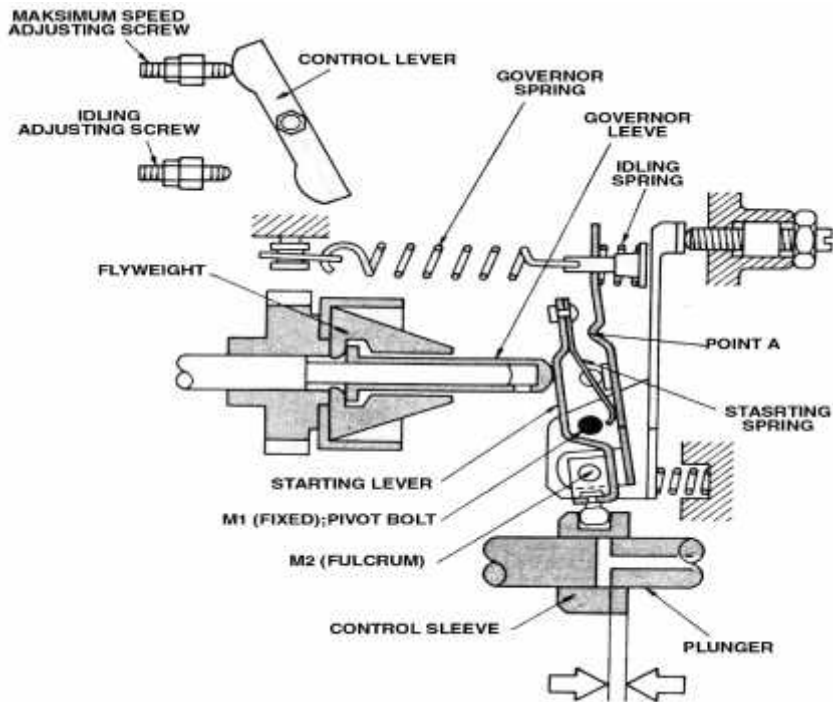
Pompa injeksi distributor dilengkapi dengan sistem governor mekanis yang mampu menghasilkan kecepatan variabel dan dihubungkan dengan lever yang digerakkan oleh operator dengan kecepatan variabel. Adapun mekanisme kerja dari lever:



Gambar 79. Pompa injeksi distributor dan bagiannya

#### a. Saat Mesin di Hidupkan

Putaran dari *driveshaft* (yang dilengkapi oleh dua *rubber dumper*) adalah beriringan melalui sebuah gigi akselerasi (*accelerator gear*) ke *flyweight* yang terpasang pada *governor shaft*. Empat buah *shaft* terpasang pada *flyweight holder*, bila di putar akan membuka ke arah luar akibat adanya gaya sentrifugal dari *flyweight*. Gerakan tersebut akan menggerakkan *governor sleeve* pada arah aksialnya yang menyebabkan *governor sleeve* mendorong *governor lever*. Selama mesin hidup, *starting lever* dan *tension lever* akan saling bersentuhan dan bergerak bersama-sama seolah-olah terdiri dari satu komponen. Bagian atas *tension lever* berhubungan dengan *control lever* melalui *governor spring*. Sebuah *idling spring* dipasang pada retaining pin yang terletak pada bagian atas dari *tension lever*.



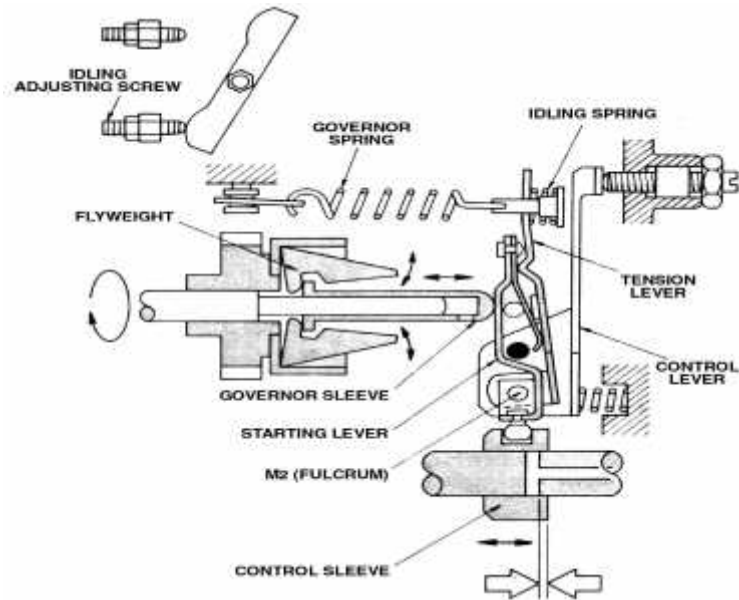
**Gambar 80. Governor kecepatan variable saat mesin dihidupkan**

Untuk memenuhi sarana yang diperlukan saat mesin akan dihidupkan, bahan bakar dengan jumlah sebanyak *full load* normal diberikan sehingga banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghidupkan mesin dapat terpenuhi. Bila pedal gas ditekan sewaktu mesin dalam keadaan putaran terendah, *starting lever* akan berpisah dengan *tension lever* akibat gaya pegas *starting spring* dan akan bergerak mendorong *governor sleeve*. *Control sleeve* tersebut akan digerakkan kekanan (ke arah jumlah injeksi maximum) oleh *starting lever*, dan berputar pada poros M2 (fulcrum). oleh sebab itu, dengan menginjak pedal gas sedikit saja mesin telah dapat dihidupkan.

Setelah mesin dihidupkan, gaya sentrifugal dibangkitkan oleh *flyweight*, *governor sleeve* akan menekan *starting spring* yang lemah dengan gaya pegasnya dan menekan *starting lever* ke arah

*tension lever*. Melalui gerakan ini, *control sleeve* digerakkan ke arah pengurangan bahan bakar, penginjeksian dikembalikan pada batas sebanyak injeksi *full-load* dan pengiriman bahan bakar secara berlebihan untuk menghidupkan mesin.

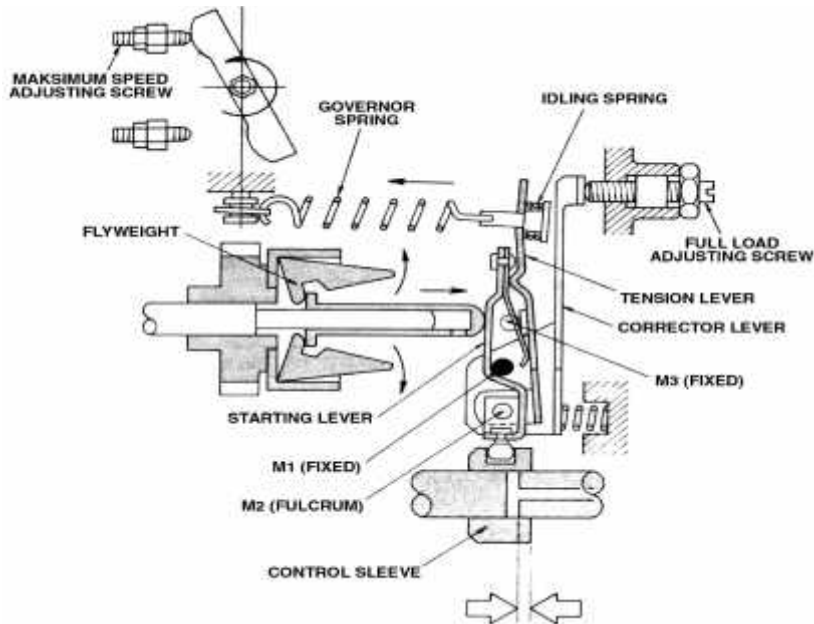
### b. Saat Mesin Idle



Gambar 81. Governor kecepatan variabel saat idle

Bila mesin telah hidup, kemudian pedal gas dikembalikan pada posisi semula, *control lever* juga akan kembali pada kedudukan semula. Maka gaya tarik dari *governor spring* menjadi "0". selanjutnya *flyweight* akan mulai membuka, menekan *spring lever* ke arah *tension lever* dan *idling spring* mulai tertekan. Akibatnya *control sleeve* akan bergerak ke arah pengurangan bahan bakar dan berhenti bergerak setelah gaya sentrifugal *flyweigh* dan gaya pegas dari *idling spring* telah seimbang. Pada posisi tersebut maka putaran mesin terendah yang stabil dapat dicapai.

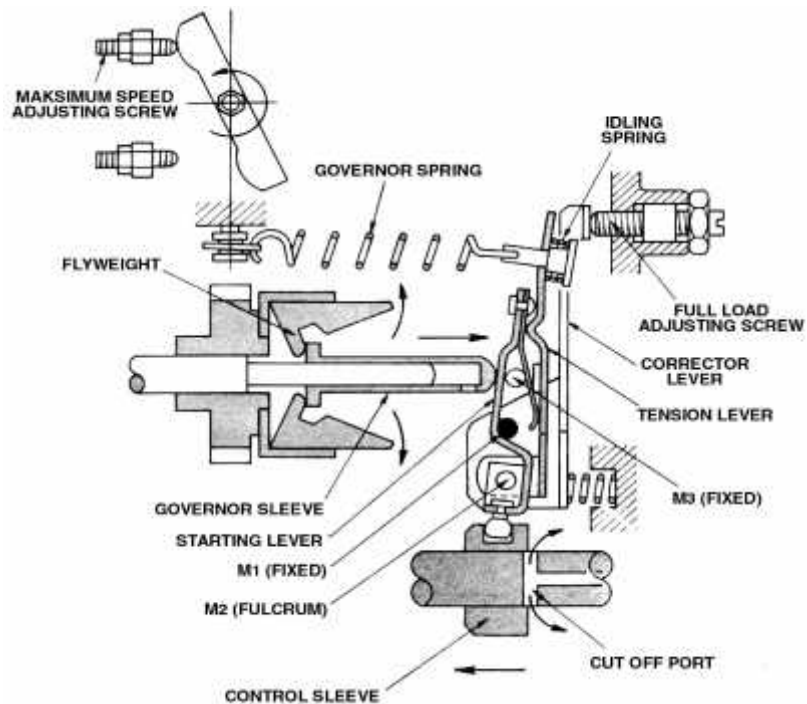
c. Kontrol Kecepatan Berada pada Maksimum (*full load*)



Gambar 82. Governor kecepatan variabel saat terjadi full load

Saat pedal gas di tekan penuh dan *control lever* telah bertemu dengan *maximum speed adjusting screw*, *tension lever* akan bertemu dengan pin M3 (*fixed*) yang terletak pada housing pompa dan posisinya tidak dapat digerakkan lagi. Pada kondisi tersebut pegas gaya *governor spring* adalah maksimum. Akibat hal tersebut *idle spring* tertekan penuh dan *flyweight* akan menutup karena tekanan oleh *governor sleeve*, selain itu, gaya sentrifugal dari *flyweight* bertambah karena putaran mesin, *flyweight* tidak dapat menggerakkan *governor sleeve* hingga gaya pegas *governor spring* dapat terlawan.

#### d. Kontrol Kecepatan Maksimum Tanpa Beban



Gambar 83. Governor kecepatan variabel pada posisi maksimum tanpa beban

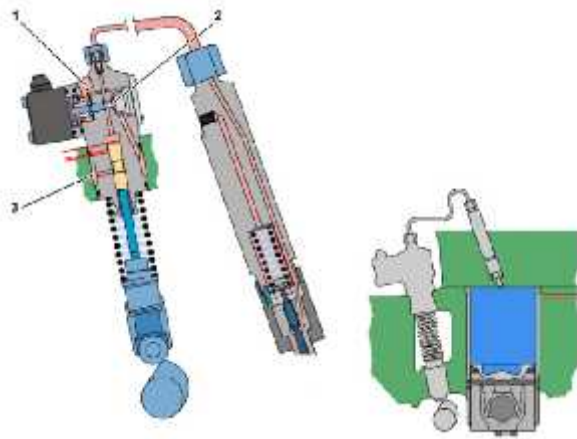
Seiring bertambahnya kecepatan mesin setelah *spring* seimbang gaya sentrifugal *flyweight* akan melampui gaya pegas *governor spring* dan akan menarik *spring* saat *governor lever* digerakkan. Selain itu jumlah pengiriman bahan bakar akan berkurang dan pengontrolan bahan bakar akan diatur sedemikian rupa, agar tidak melampui kecepatan maksimum yang telah ditentukan. Apabila pedal akselerator tidak di tekan secara penuh, gaya pegas *governor spring* kekuatannya akan berubah-ubah secara bebas sehingga *governor* dapat mengontrol atas dasar tekanan *throttle* yang diberikan oleh pengendara melalui pedal akselerasi.

Pengiriman bahan bakar saat *full load* akan diperoleh menurut jumlah banyaknya *full load adjusting screw* di putar ke dalam, bila *full load adjusting screw* di putar ke dalam, *corrector level* akan berputar mengelilingi titik M1 dan *control sleeve* akan bergerak ke arah penambahan bahan bakar. Bila *full load adjusting screw* dikendurkan *control sleeve* akan bergerak ke arah pengurangan bahan bakar.

### 3. Unit Pump

Keterangan :

1. Suction line
2. Inlet port
3. Return fuel



Gambar 84. Unit pump

Kebutuhan untuk mendapatkan mesin dengan teknologi terbaru adalah upaya untuk meningkatkan performa mesin, memperkecil konsumsi bahan bakar serta menghasilkan emisi gas buang ramah lingkungan yang diikuti *noise* mesin lebih kecil. Pilihan utama untuk mendapatkan kriteria di atas adalah dengan mengoptimalkan pencampuran bahan bakar dan oksigen ke dalam ruang bakar secara homogen.

Menerapkan sistem injeksi yang efisien untuk menghasilkan *high pressure injection* untuk memastikan bahwa bahan bakar teratomisasi dengan baik merupakan rekayasa teknologi dengan memperhatikan banyak faktor. Sejak tahun 1905 sampai sekarang,

dengan ide yang bermula dari sebuah paduan antara pompa injeksi dan injektor pada satu sistem yang dirangkai dengan *high pressure line* untuk mendapatkan proses penginjeksian yang baik.

Mesin diesel dengan menerapkan sistem injeksi yang di kontrol secara mekanik telah berjalan sejak tahun 1950. tetapi pola tersebut seiring dengan berkembangnya teknologi sistem penginjeksian untuk mendapatkan kualitas penginjeksian bahan bakar telah berkembang. Unit pump adalah salah satu jenis penginjeksian yang dikontrol secara elektronik dengan menggunakan *engine Electronic Control Unit* (E-ECU). Sistem ini memungkinkan mendapatkan sistem penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang bakar dapat teratomisasi dengan baik. Unit pump dilengkapi dengan sebuah solenoid pada setiap unit pump.

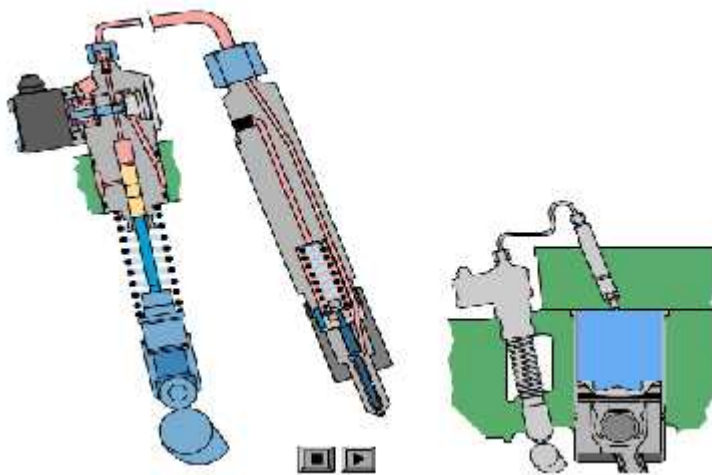
Solenoid pada *unit injection* tersebut akan diaktifkan oleh arus electric dari E-ECU untuk menutup aliran yang mengalir ke *return line* serta menyebabkan aliran bahan bakar pada *unit pump* tertekan untuk menyempotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada saat terjadi proses penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang bakar tekanan pada injektor dapat mencapai 250 – 300 bar.

Proses kerja sistem injeksi bahan bakar pada tipe *unit pump* adalah sebagai berikut:

#### **a. Filling Phase**

Proses ini terjadi selama *pump* piston bergerak ke bawah, katup bahan bakar akan membuka selama tidak ada voltage yang dikirimkan oleh E-ECU menuju ke solenoid *unit pump*. Pada saat ini bahan bakar tidak mendapatkan tekanan untuk melakukan penginjeksian sehingga bahan bakar hanya akan berputar dan kembali mengalir ke jalur-jalur pengembali. Saat ini, pada ruang bakar terjadi langkah pembilasan. Perhatikan gambar di bawah ini:

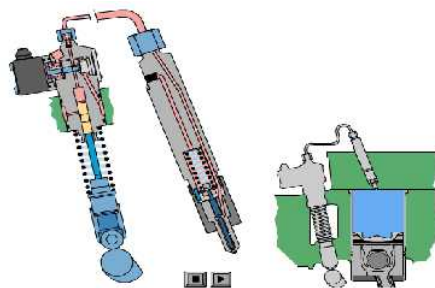




Gambar 85. Langkah filling phase pada unit pump

**b. Spill Phase**

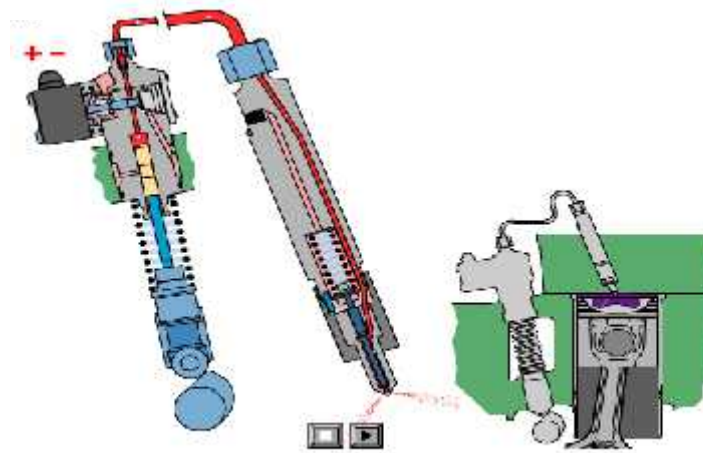
Pada *spill phase* unit pump piston mulai bergerak ke atas yang menyebabkan terjadinya tekanan bahan bakar pada ruang unit pump. Selama tidak ada *voltage* yang terkirim ke unit selenoid pompa, bahan bakar tetap bersirkulasi dan terhubung dengan jalur pengembali sehingga tidak dapat melakukan penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang silinder. Pada saat ini, langkah piston pada ruang bakar bergerak dari TMB menuju ke TMA dan hisap & buang katup tertutup.



Gambar 86. Spill phase pada unit pump

### c. *Injection Phase*

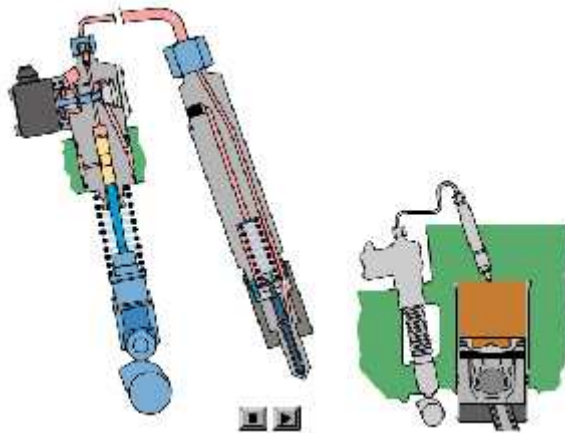
Pada saat *injection phase* piston pada unit pump terus bergerak, ke atas sementara silinder pada ruang bakar sedang akan terjadi langkah pembakaran. Secara bersamaan, pada langkah pembakaran beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas, E-ECU memberikan *voltage* menuju solenoid pada unit pump yang akan menyebabkan katup pada unit pump menutup saluran bahan bakar yang akan menuju pengembali. Saat itu, bahan bakar tersemprotkan ke dalam ruang bakar melalui injektor karena tekanan dari *piston* pada *unit pump*.



Gambar 87. *Injection phase* pada *unit pump*

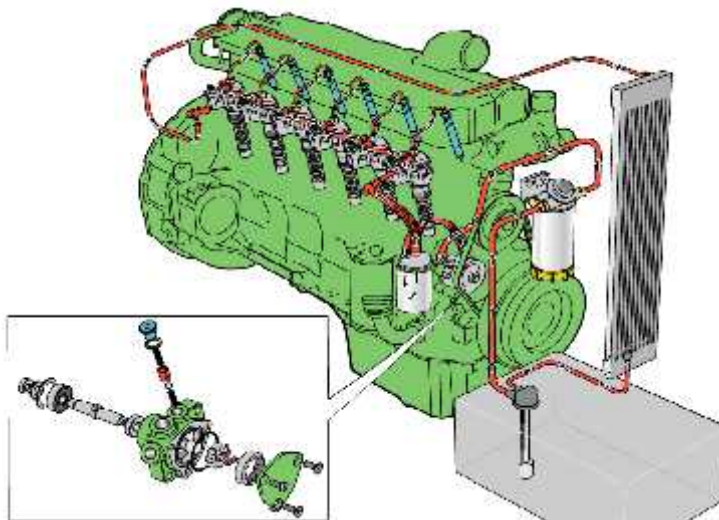
### d. *Pressure Reduction Phase*

Pada *pressure reduction phase* terjadi pengecilan tekanan pada unit pump atau bahkan tidak terjadi tekanan yang sangat tinggi pada *unit pump* dan hanya terjadi tekanan sebesar 5 bar. Pada saat *pressure reduction phase* piston pada unit pump mulai bergerak ke bawah dan *piston* pada ruang silinder terjadi langkah usaha. Pada saat langkah *pressure reduction phase* bahan bakar hanya berputar-putar pada saluran masuk dan saluran pengembali pada *unit pump*. Perhatikan gambar kerja pada *pressure reduction phase* di bawah ini:



**Gambar 88. Pressure reduction phase**

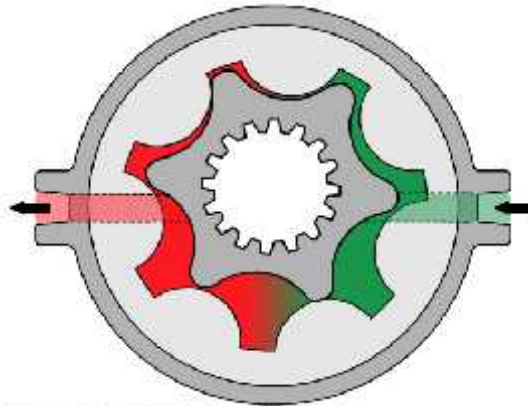
Pompa injeksi jenis unit pump dipergunakan pada kendaraan-kendaraan diesel yang telah mengadopsi UERO 2. skema aliran bahan bakar dari tangki bahan bakar sampai ke ruang bakar tidak jauh berbeda dengan sistem-sistem yang lainnya. Perhatikan gambar di bawah ini:



**Gambar 89. Skema aliran bahan bakar pada unit pump**

Arah aliran bahan bakar dari tangki di pompa oleh *fuel pump* menuju *water separator* untuk memisahkan antara bahan bakar dengan air. Setelah dari *water separator* bahan bakar menuju *fuel pump* selanjutnya menuju saluran saringan bahan bakar untuk memisahkan bahan bakar dengan partikel-partikel yang kemungkinan ikut ke dalam bahan bakar tersebut. Setelah melalui penyaringan bahan bakar menuju *unit pump* dan sebagian disemprotkan ke dalam ruang bakar. Sebagian bahan bakar yang tidak disemprotkan pada ruang bakar akan dialirkan menuju *return line* melewati *holding valve (over flow valve)* menuju tangki bahan bakar kembali.

Tipe *fuel pump* untuk *unit pump* adalah *internal gear pump* atau lebih dikenal pertemuan *gear* dalam untuk memompakan bahan bakar. Sistem pompa ini akan memberikan suplai bahan bakar secara terus-menerus dengan *debit* konstan sesuai dengan putaran mesin yang di dapat dari mesin. Secara sederhana internal gear pump berbentuk seperti dibawah ini:

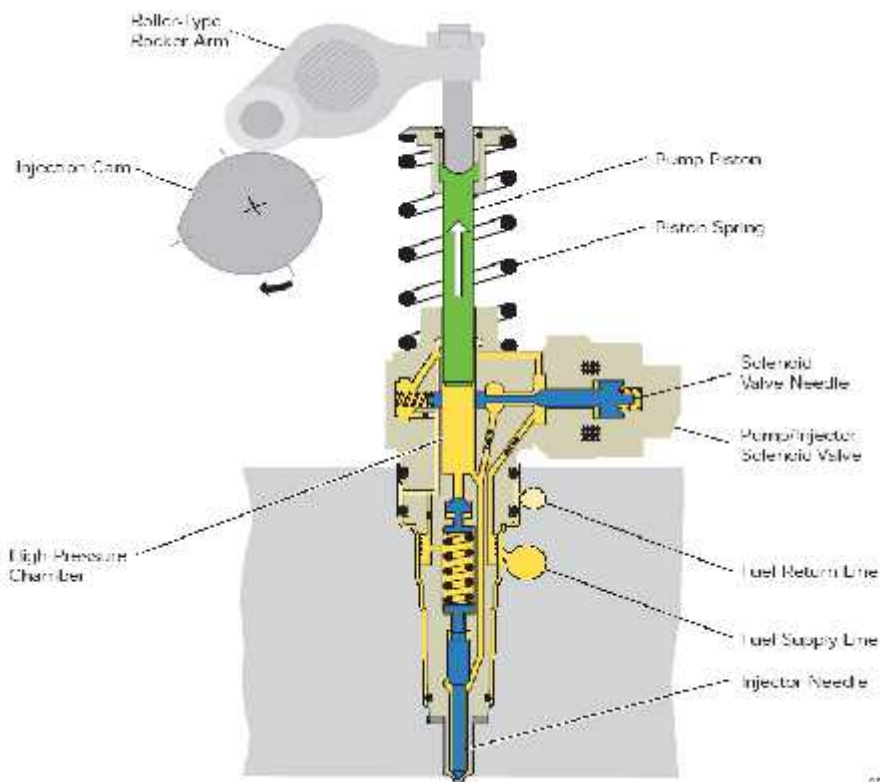


Gambar 90. *Internal gear* pada *unit pump*

#### 4. Unit Injektor

Tuntutan untuk mendapatkan hasil atomisasi bahan bakar lebih baik sebagai upaya menghasilkan pencampuran bahan bakar dan oksigen yang *homogen*, sebagai pendukung utama menghasilkan proses pembakaran yang sempurna pada ruang bakar demi mendapatkan sisa-sisa pembakaran dengan emisi kecil mungkin adalah tantangan yang harus di jawab oleh setiap produsen sebuah mesin.

Proses pembakaran akan sangat berpengaruh pada tenaga yang akan dihasilkan oleh mesin. Berbagai upaya dalam menghasilkan sistem pemasukan bahan bakar tersebut adalah unit pump. Perhatikan sebuah gambar unit pump di bawah ini:



Gambar 91. Unit injektor

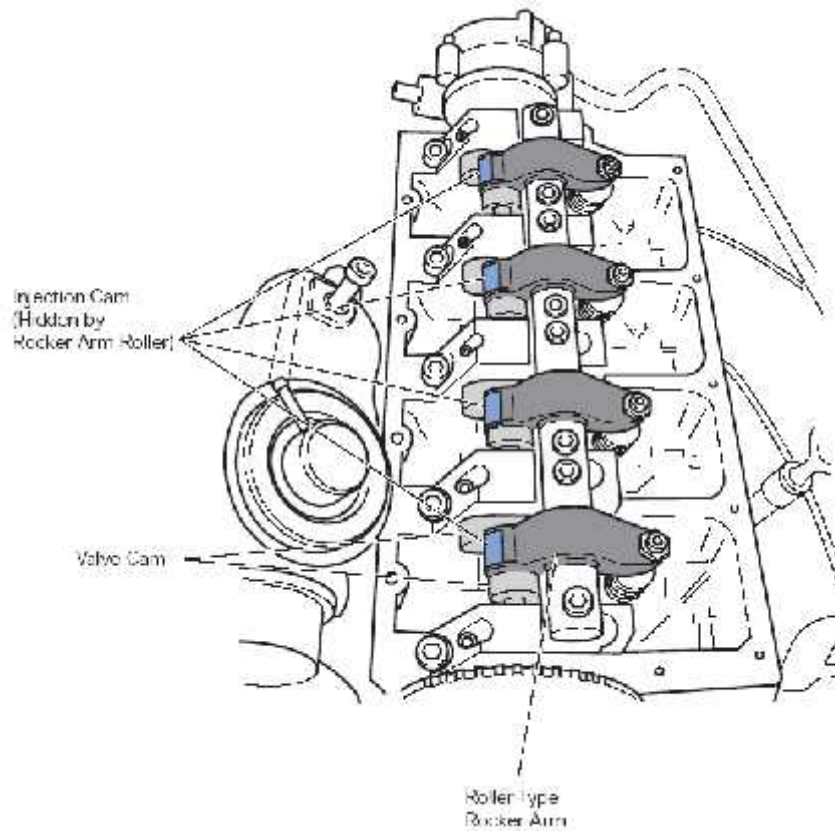
Merupakan generasi terbaru yang diaplikasikan pada mesin-mesin untuk menghasilkan tenaga mesin yang besar. Sistem penginjeksian bahan bakar ke dalam silinder sebuah *pressure generating pump* terdiri dari sebuah *solenoid valve control unit* yang dikombinasikan dengan sebuah injektor. Setiap silinder pada sebuah mesin memiliki unit solenoid kontrol dan sebuah injektor (*unit pump*).

Dengan demikian sistem ini tidak membutuhkan sebuah *high pressure line* yang akan menghubungkan unit *pump* ke injektor. Melainkan gabungan langsung antara *pump* dengan injektor. Sistem ini membutuhkan *cam rocker arm* dan *rocker arm* tersendiri. Perhatikan bagian-bagian unit injektor di bawah ini:



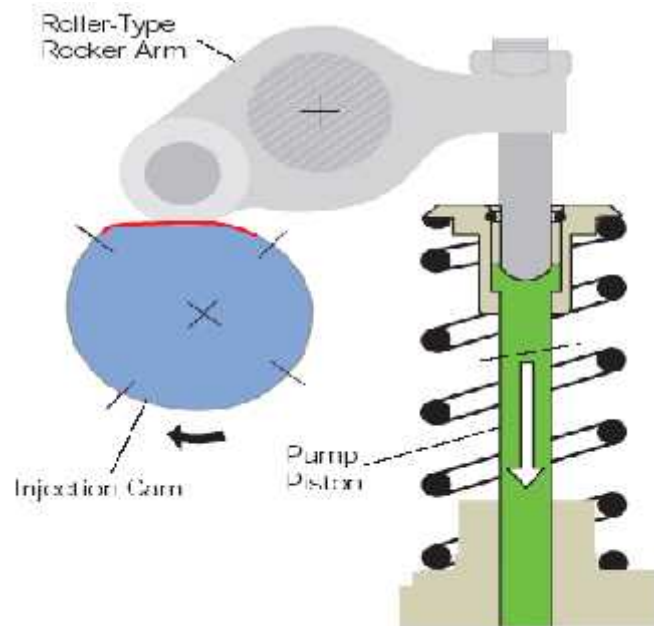
**Gambar 92. Unit injektor dan bagian-bagiannya**

Mekanisme penggerak yang menyebabkan sistem bekerja membutuhkan tambahan cam pada poros engkol pada setiap silinder yang khusus dipergunakan sebagai aktivasi sistem unit injektor.



**Gambar 93. Rocker arm pada unit injektor**

Injeksi cam memiliki sebuah *steep leading edge* dan sebuah *gradual slops* untuk *trailing edge*. Hasilnya *steep leading edge*, *piston pump* akan menekan kebawah pada *high valocity*. Secara bersamaan *high injeksi phase* akan terjadi pada saat itu.



**Gambar 94. Tekanan tinggi yang terbentuk pada unit injektor**

Ada beberapa tipe yang berbeda pada sebuah unit injektor yang saat ini banyak digunakan, di antaranya adalah:

**a. Lucas A3**

Lucas A3 memiliki actuator tunggal dengan bagian samping menonjol sebagai pusat kontrol elektronik yang di dalamnya terdapat *spill valve*. Aplikasi dari sistem ini adalah pada sebuah *excavator* yang mempergunakan mesin D12C.



**Gambar 95. Unit injektor tipe lucas A3**



### b. Bosch



Gambar 96. Bosch unit pump

lengkap untuk menghasilkan tekanan besar dalam waktu yang singkat. *Smaller high pressure volume* dan *substantial wight reduction*. Unit injektor tipe delpi E1 biasa dipergunakan untuk tier 2 engine.

Bosch unit injektor memiliki struktur dan prinsip kerja yang sama dengan lucas A3 *unit pump*, hanya terdapat perbedaan penampilan secara fisik antara bosch *unit pump* dan lucas A3. Tetapi bosch *unit pump* lebih banyak dipergunakan dari pada Lucas A3.

### c. Delpi E1

Delpi E1 unit injektor memiliki *single actuator*, tetapi dengan *cam spill valve* pada bagian tengah yang dihubungkan dengan body, komponen ini memungkinkan terjadinya susunan yang



Gambar 97. Delpi E1

### d. Delpi E3

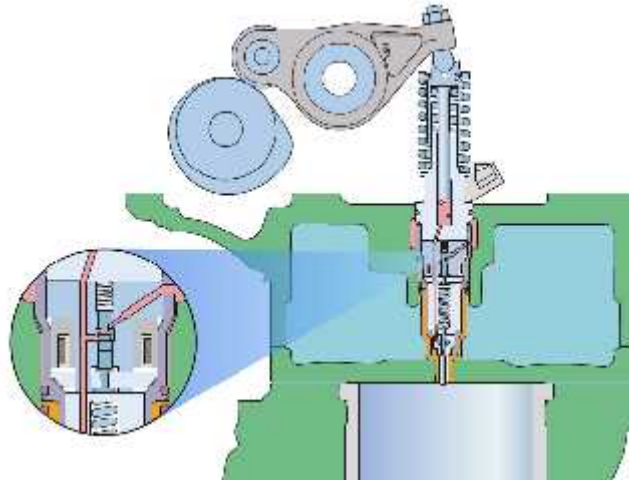


Gambar 98. Delpi E3

Delpi E3 memiliki dua actuator unit injektor, dengan desain di dalam sistemnya terdapat *spill control valve* dan *niddle control valve*. Dilihat strukturnya hampir sama dengan tipe delpi E1, yang membedakan hanya struktur didalam spill dan *niddle control valve* didalamnya.

Pada delpi E3 langkah pompa selalu konstan tetapi pengaturan penyemprotan bahan bakar ke dalam silinder diatur dengan sistem electric untuk mengaktifkan seleniod valve melaui singnal dari mesin ECU. Spill

valve berada di antara *high pressure fuel line* dan *low pressure fuel line* pada bodi injektor.



**Gambar 99.** Lokasi *spill valve* pada injektor

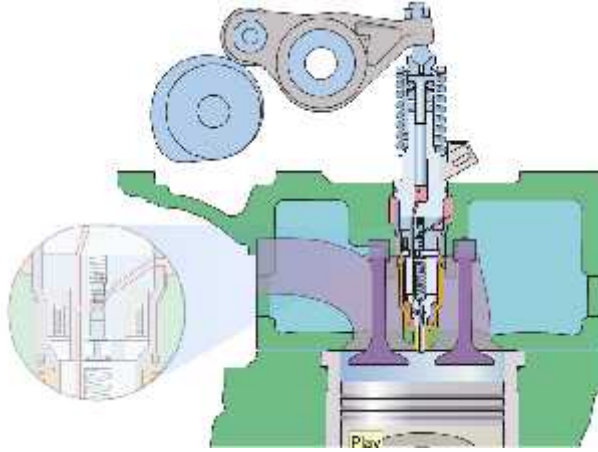
Ketika *spill valve* menutup semua bahan bakar akan menekan *nozzle* dan mengakibatkan terjadinya penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Tekanan bahan bakar melalui *nozzle* tersebut terjadi karena tekanan rocker arm pada unit pump tersebut. Ketika *spill valve* membuka semua fuel kembali berada pada *low fuel line* sehingga tidak terjadi penekanan *nozzle* yang mengakibatkan penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar.

Jumlah penginjeksian bahan bakar per *pump cycle* dihitung dengan berapa lama waktu *spill valve* menutup selama langkah pemompaan. Jadi, Injeksi timing dihitung berdasarkan lama *spill valve* tertutup. *Spill valve* beroperasi berdasarkan perintah melalui signal dari Mesin ECU. Proses kerja dari sistem injektor delpi E3 memiliki beberapa langkah diantaranya adalah:

### **1) Filling Phase**

*Filling phase* terjadi pada saat piston bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas dan *fuel valve* berada posisi membuka

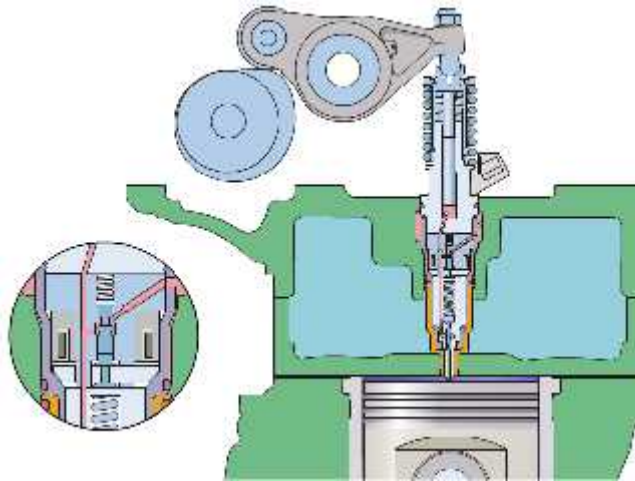
selama tidak ada arus yang memicu untuk mengaktifkan *solenoid valve*.



**Gambar 100. Filling phase**

## **2) Spilling Phase**

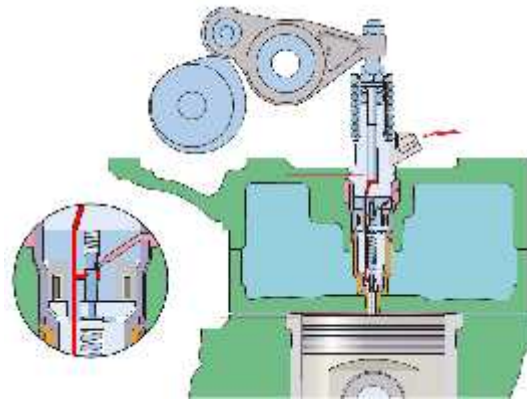
*Pump piston* akan bergerak ke bawah sepanjang tidak ada arus dari ECU yang dapat memicu untuk mengaktifkan *solenoid valve fuel* akan tertekan dan mengalir menuju *low pressure line*, sehingga belum terjadi penyemprotan bahan bakar ke dalam silinder. Pada *spill phase* bahan bakar hanya akan berputar-putar menuju *low pressure line* dan *return* kembali menuju tangki.



Gambar 101. Spill phase

### 3) Injection phase

*Pump piston* tetap bergerak ke bawah sebagai lanjutan *spill phase*. Pada langkah injeksi, *solenoid valve* mendapatkan *input voltage* dari E-ECU. *Valve cone* akan terangkat dan *valve* akan tertutup. Selama *fuel* tidak dapat membuka *valve*, *pressure* dengan cepat akan terbentuk dan akan membuka injeksi nozzle dan terjadi penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar.

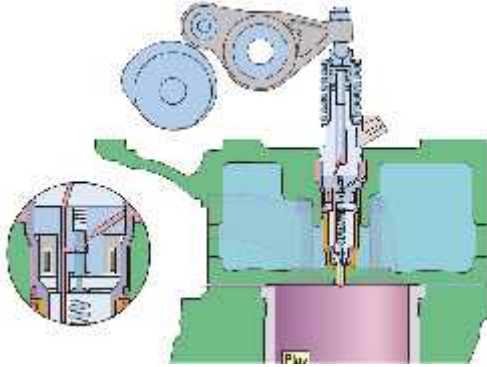


Gambar 102. Injection phase

Penginjeksian bahan bakar terjadi selama *spill valve* tertutup dan *pump piston* bergerak turun ke bawah serta arus pemicu *solenoid valve* tetap aktif. *Injection timing* dan jumlah bahan bakar yang

disemprotkan dihitung pada saat start menutupnya *spill valve* dan selama arus dari E-ECU mengaktifkan *solenoid valve*.

#### 4) *Pressure reducing phase*



Gambar 103. *Pressure reduction phase*

*Pump piston* tetap bergerak turun dan ECU memutuskan suplai arus yang menuju ke *solenoid valve*. Sehingga *spill valve* membuka dan *fuel* dapat mengalir ke dalam *low pressure fuel line* seketika *high pressure fuel* menurun dan tidak mampu menekan *nozzle*

*needle* sehingga bahan bakar tidak dapat di injeksikan kedalam ruang bakar.

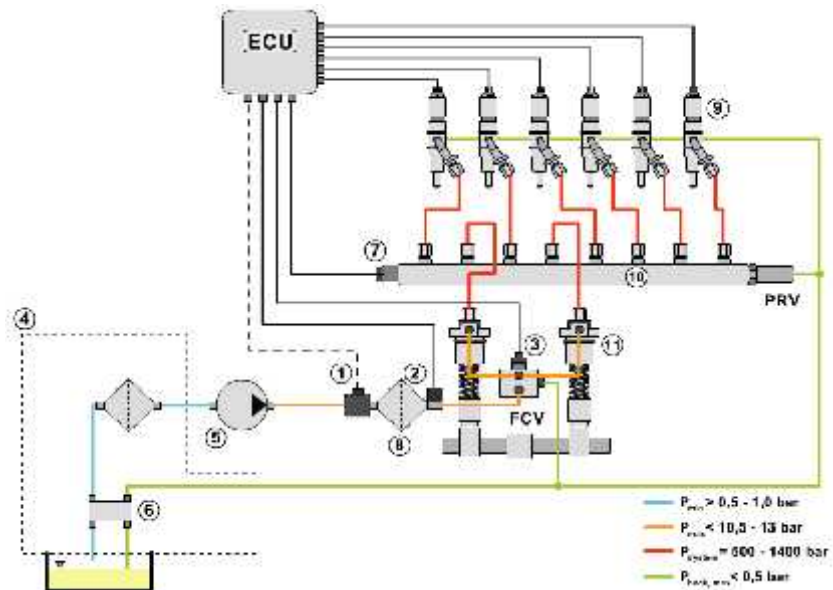
### 5. *Common Rail*

*Common rail fuel system* untuk mesin diesel adalah sebuah metode penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan menggunakan tekanan tinggi. Tekanan tinggi pada sistem bertujuan untuk mendapatkan pengabutan bahan bakar dan dapat bercampur dengan udara hingga *homogen* sebelum proses pembakaran. Campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar sangat mempengaruhi kesempurnaan pembakaran yang berdampak pada optimalnya performa dan rendahnya emisi gas buang *engine*.

Pada tier 3 mesin *common rail* menjadi komponen standar dalam sistem bahan bakar. Sistem mampu bekerja di atas 1200 – 1800 rpm di dalam penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada *common rail* sistem mesin sudah dilengkapi dengan *electronic control unit* (ECU) untuk memonitor dan memberikan perintah saat bahan bakar disemprotkan, pada silinder mana, dan seberapa banyak yang harus disuplai ke dalam ruang bakar.

Banyak sensor yang di gunakan untuk mengindikasikan dan membantu kerja ECU untuk mendapatkan kerja *common rail* lebih optimal. Selain itu ECU juga akan membaca besarnya tekanan pada *rail system* untuk memberikan informasi kepada operator saat pengecekan tertentu yang dilakukan oleh operator. Jika salah satu sensor tidak memberikan informasi pada ECU maka pada unit akan terjadi kendala yang berdampak pada sulitnya mesin dihidupkan, atau bahkan mampu *running* tetapi tidak optimal.

**a. Prinsip kerja Common Rail**



**Gambar 104. Diagram Common rail system**

Diatas adalah skema sebuah *common rail* mesin pada *diesel engine*, adapun nama-nama komponen pada gambar diatas adalah:

- 1) *Heating (option equipment)*
- 2) *Low pressure sensor (feed pressure sensor)*
- 3) *Fuel control valve*
- 4) *Pre filter with water separator*

- 5) *Fuel pump*
- 6) *Thermostat valve*
- 7) *Rail pressure sensor (high pressure sensor)*
- 8) *Fuel filter*
- 9) *Injektor*
- 10) *rail*
- 11) *high pressure pump*

#### **b. Cara kerja**

Ketika mesin *cranking* putaran *motor starter* akan memutar *crankshaft*, *camshaft* mesin untuk memutar pompa bahan bakar untuk mensirkulasikan bahan bakar dari tangki melewati *water separator* untuk memisahkan air dan bahan bakar sehingga saat melewati pompa bahan bakar murni. Setelah melewati pompa, bahan bakar akan bertemu *sensor feed pressure* yang akan mengindikasikan tekanan *feed pressure* pada Mesin ECU, kemudian akan menjalani penyaringan kotoran bahan bakar di dalam *fuel filter*.

Pada saat mesin berputar, mesin dilengkapi dengan *crankshaft speeds sensor* dan *cam shaft position sensor*, kedua sensor akan memberikan input pada E-ECU untuk memberikan signal pada *fuel control valve* (FCV) untuk membuka dan mengalirkan bahan bakar sesuai dengan kebutuhan *engine*. Dari FCV bahan bakar akan ditekan oleh *high pressure pump* menuju *rail* selanjutnya dengan tekanan yang sama dengan tekanan pada *rail* bahan bakar mengalir menuju injektor. Secara lengkap sistem kerja sesuai dengan komponennya adalah sebagai berikut:

## 1) Water Separator



**Gambar 105. Water separator**

*Water separator* adalah komponen yang berfungsi memisahkan bahan bakar dengan air. Jika pada bahan bakar terkandung banyak air maka pada bagian bawah *water separator* harus segera di buka untuk membuang kadar air didalam

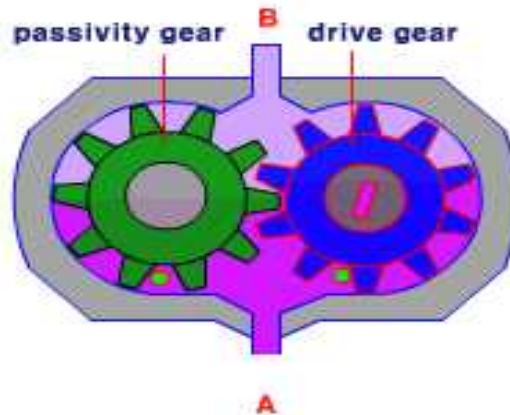
*water separator*. Perhatikan gambar *water separator* di bawah ini:

- a) *Manual feed pump* adalah komponen yang menyatu pada *water separator* yang digunakan untuk memompakan bahan bakar saat awal setelah melakukan pergantian komponen pada *fuel filter*, *water separator* elemen, serta *hose connection* pada *water separator* menuju tank.
- b) *Manual nob for thermostat valve* (*option equipment*)
- c) *Pre filter and water separator* adalah komponen dalam *water separator* yang digunakan untuk penyaringan dan pemisahan air dan bahan bakar
- d) *Water in fuel sensor* adalah komponen sistem kelistrikan yang akan memberikan indikasi banyaknya campuran air dalam bahan bakar, dan akan memberikan *warning* saat jumlah air terlalu banyak.
- e) *Water drine valve* adalah bagian dari *water separator* yang di gunakan sebagai saluran untuk membuang air yang terpisahkan pada *water separator*.



## 2) Pump

Pada *common rail* mesin pompa bahan bakar yang digunakan adalah *gear pump*, dimana pompa ini memiliki *output constant* dengan debit sesuai dengan putaran yang diterima oleh roda giginya.



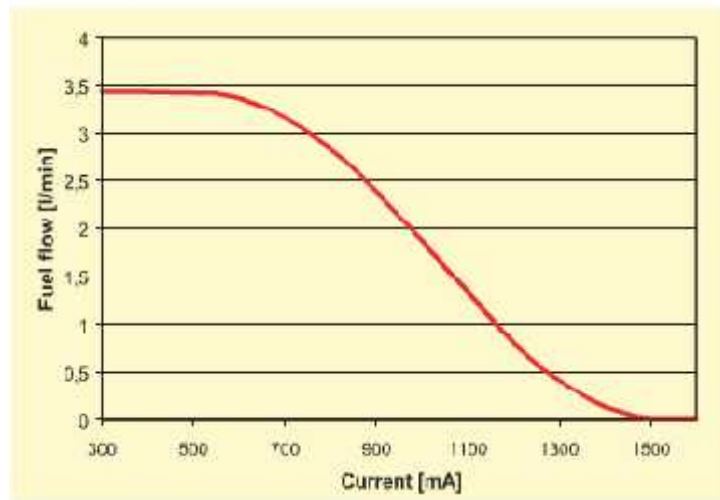
Gambar 106. Fuel pump

## 3) Fuel Control Valve (FCV)



Gambar 107. Fuel control valve

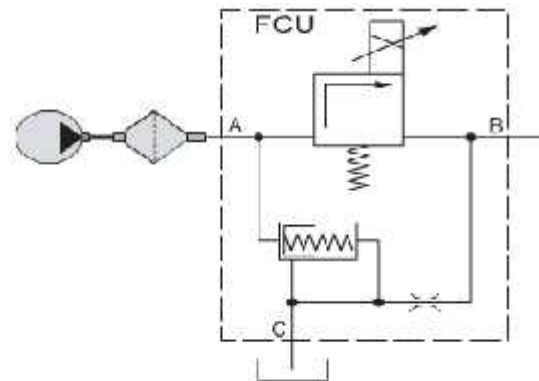
FCV adalah komponen *fuel* sistem yang memberikan suplai bahan bakar menuju *high pressure* pump secara *variable* tergantung dengan beban dan putaran *engine*. *Variable output* dari FCV didapatkan berdasarkan input arus yang masuk pada *pulse wave modulation* (PWM) pada FCV. Perhatikan gambar di bawah ini



**Gambar 108.** Diagram perbandingan flow dan arus pada FCV

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin tinggi arus dari E-ECU yang masuk *fuel flow* yang mampu di alirkan FCV menuju *high pressure pump* semakin kecil, sedangkan pada saat arus dari E-ECU yang masuk menuju FCV rendah *fuel flow* yang mampu di alirkan akan semakin tinggi. Dengan demikian dapat di ketahui bahwa pada saat mesin *off* maka FCV terbuka, begitu juga pada saat *low idle* maka FCV akan membuka lebar untuk untuk memenuhi *supply* bahan bakar menuju ruang bakar.

Bagian A menunjukkan supply bahan bakar dari pompa, *fuel filter* dan kemudian masuk ke dalam *Fuel Control Unit* (FCV). Bagian B adalah bagian *output* FCV menuju *high*



**109.** Rangkaian supply bahan bakarpada FCV

*pressure pump* dan bagian C adalah bagian *return* bahan bakar menuju *fuel tank*.



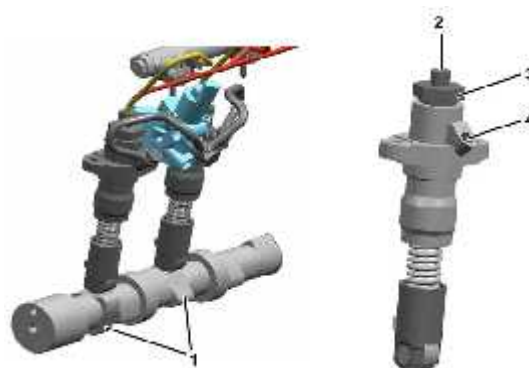
- A. *Over flow*
- B. *Fuel inlet*
- C. *Fuel outlet to high pressure pump*
- D. *Return fuel to tank*
- E. *PWM valve*

**Gambar 110. Bentuk *fuel control valve***

**4) *High Pressure Pump***

*High pressure pump* adalah komponen pada *common rail system* yang berfungsi untuk memberikan *suplay* bahan bakar dan menjaga tekanan bahan bakar pada *rail system* tetap tinggi untuk mempermudah terjadinya pengabutan bahan bakar didalam ruang bakar melalui injektor.

1. *Camshaft*
2. *Hole to high pressure pipe*
3. *I/O valve (integrated)*
4. *Hole from FCV*



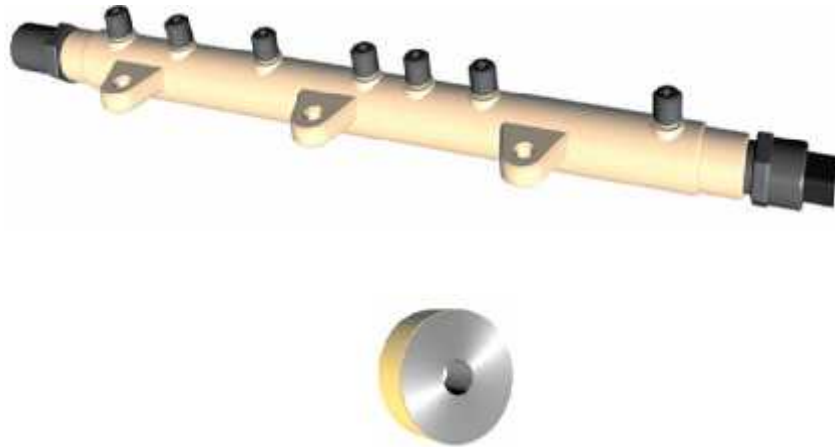
**Gambar 111. *High pressure pump***



**Gambar 112. I/O Valve pada High pressure pump**

Aliran bahan bakar masuk melewati *hole from* FCV kemudian ditekan oleh plunger melalui mekanisme yang digerakkan dari *cam shaft* sehingga bahan bakar dipaksa masuk kedalam rail hingga bertekanan tinggi. I/O valve ini memisahkan *high pressure side and low pressure side* yang terjadi selama proses *filling (filling phase)*. Bagian ini sangat sensitive terhadap kotoran, karena lubang dan komponen *check valve* di dalamnya sangat lembut.

### 5) Rail



**Gambar 113. Bentuk rail pada pompa injeksi common rail**

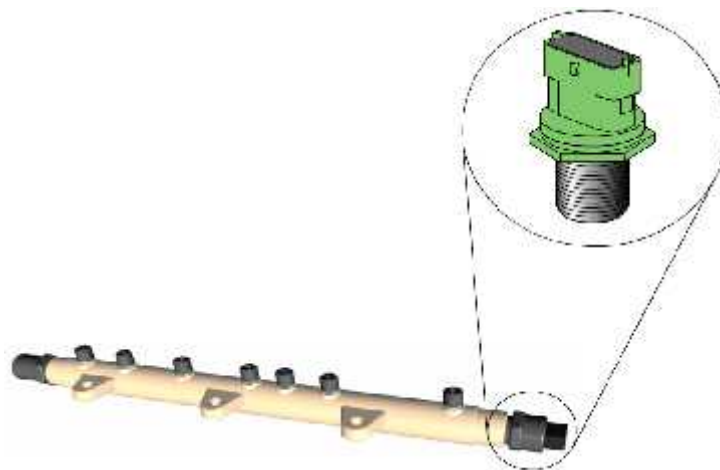
*Rail* sering disebut dengan *high pressure accumulator* yang berisikan sebuah pipa distribusi yang akan menyalurkan ke

injektor. Fungsi sebagai penyimpan tekanan diperoleh dari *high pressure pump* sedangkan fungsi sebagai distribusi menuju ke injektor melalui *high pressure pipe*.

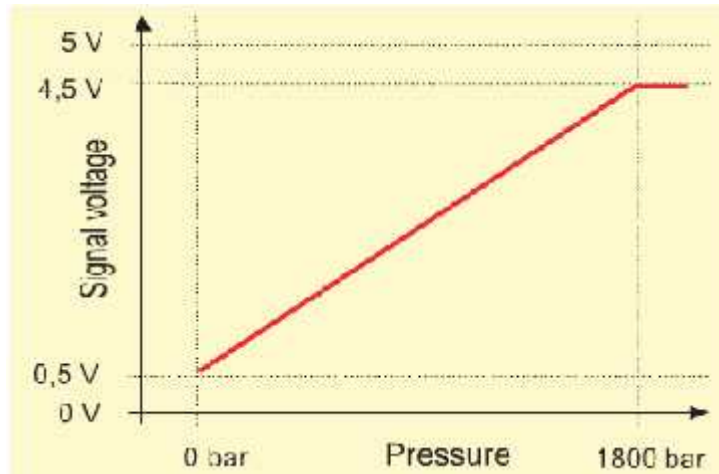
Ruangan *pressure* (volume) haruslah optimal, dengan volume yang lebih besar peredam getaran saat terjadi injeksi sangat bagus dalam upaya menciptakan redaman, sehingga proses injeksi lebih stabil dan menghasilkan pengkabutan bahan bakar lebih optimal. Pada saat mesin *running* semua volume *rail* terisi oleh bahan bakar dan saat mesin *off pressure* dalam *rail* akan *release* melewati FCV.

#### **6) Rail Pressure Sensor (High Pressure Sensor)**

*Rail pressure sensor* adalah komponen pada *common rail* mesin yang akan memberikan input besarnya tekanan pada *rail* (*main gallery*).

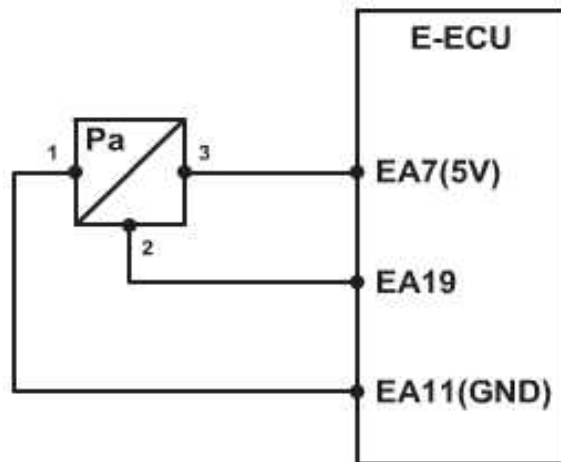


**Gambar 114. Rail pressure sensor**



Gambar 115. Diagram tegangan dan tekanan pada *rail pressure sensor*

Gambar 116. di atas menunjukkan bahwa besarnya signal yang diberikan sensor kepada E-ECU di tentukan oleh besarnya tekanan yang di timbulkan oleh *fuel pressure* pada *rail system* yang terbentuk dari *high pressure pump*. Jadi pada saat *low idle voltage* yang di kirimkan sensor menuju E-ECU kecil karena *pressure* yang di timbulkan oleh *fuel system* tidak terlalu besar, sedangkan pada *high idle* tekanan bahan bakar yang ditimbulkan oleh *high pressure pump* pada *rail* tinggi sehingga, signal yang di kirim oleh sensor menuju E-ECU menjadi lebih besar mencapai 4,5 V.



**Gambar 116. Diagram kelistrikan rail pressure sensor**

Untuk melakukan pengecekan besarnya tegangan signal yang di berikan oleh sensor pada mesin E-ECU dapat dilakukan pada pin EA7 pada mesin E-ECU. Pin ini sebagai output ECU yang menjadi input pada *high pressure* sensor yang besarnya 5 V, sedangkan EA 11 pin E-ECU sebagai *ground* dan EA 19 sebagai *output* signal dari sensor yang menjadi *input* pada E-ECU.

### 7) **Fuel Relief Valve (FRV)**

FRV adalah komponen pada *rail system* yang akan menjaga tekanan pada *rail system* agar tekanan yang akan membantu penginjeksian bahan bakar tetap stabil.

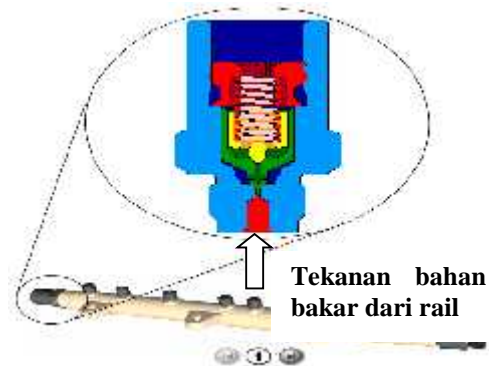


**Gambar 117. Fuel relief valve**

- a. FRV
- b. High pressure sensor

Gambar diatas menunjukkan letak FRV pada *rail system*, pada kerjanya FRV akan di hubungkan dengan *hose* yang berhubungan dengan jalur *return line* menuju tangki.

a) **Normal Condition**

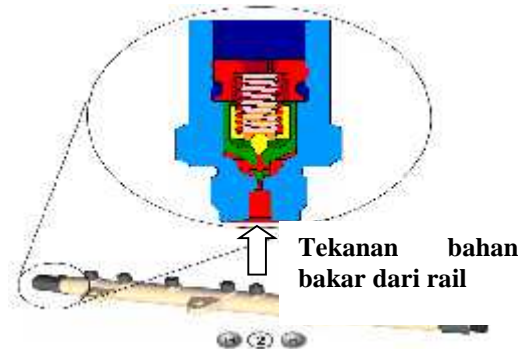


**Gambar 118. Kerja fuel relief valve**

Gambar 119 di atas menunjukkan kerja FRV dalam kondisi normal. Jika dalam kondisi normal maka belum mampu *fuel pressure* menekan (melawan) gaya *spring* untuk *return* ke tangki. Kerja ini terjadi pada saat mesin berada pada *low idle*.



**b) Minimum Relief Condition**

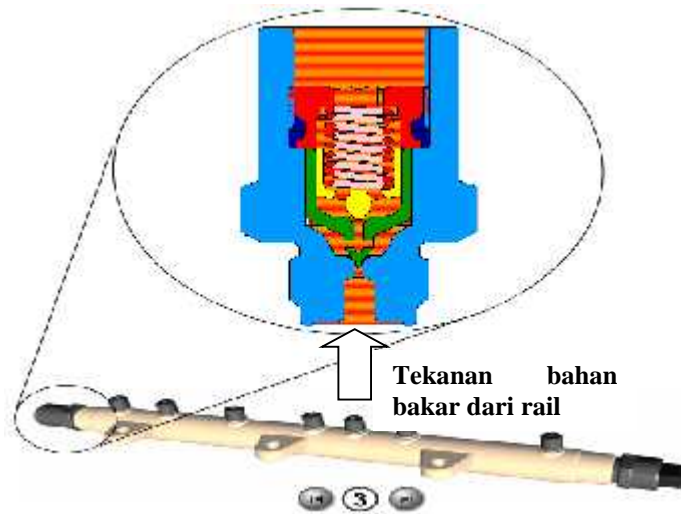


**Gambar 119. Minimum relief condition**

Pada saat mesin mulai *akseletasi* dan *high idle* tekanan bahan bakar yang ditimbulkan oleh *high pressure pump* dalam *rail* semakin besar sehingga mampu melawan gaya *spring* untuk return menuju tangki. Kembalinya bahan bakar menuju tangki melewati FRV merupakan langkah untuk mengamankan komponen pada *fuel system* agar tidak terjadi kerusakan karena tekanan bahan bakar secara berlebihan.

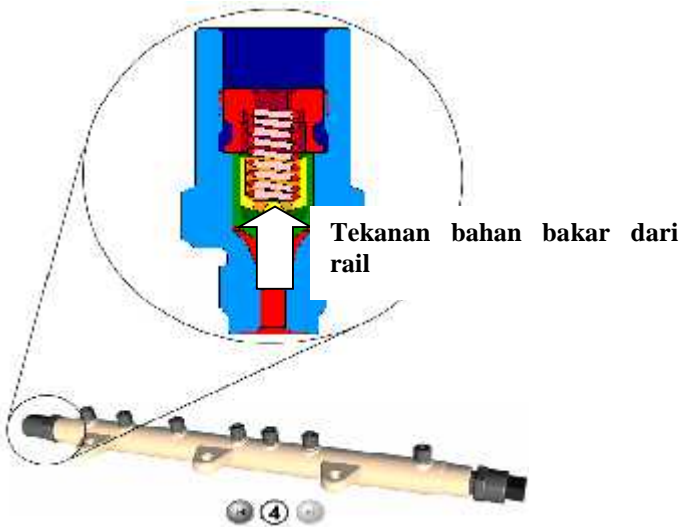
**a. Full Relief Condition**

Pada saat kecepatan semakin tinggi, tekanan pada *rail* semakin meningkat, jika tekanan tinggi dalam sistem bahan bakar dapat menyebabkan kerusakan pada komponen terutama *hose*. Pada saat tekanan tinggi pada *rail*, gaya *spring* akan terlawan oleh tekanan bahan bakar sehingga menyebabkan *check valve* membuka dan mengalirkan bahan bakar untuk kembali ke tangki.



Gambar 120. Maksimum relief condition

b. *Pressure Reduction Condition*



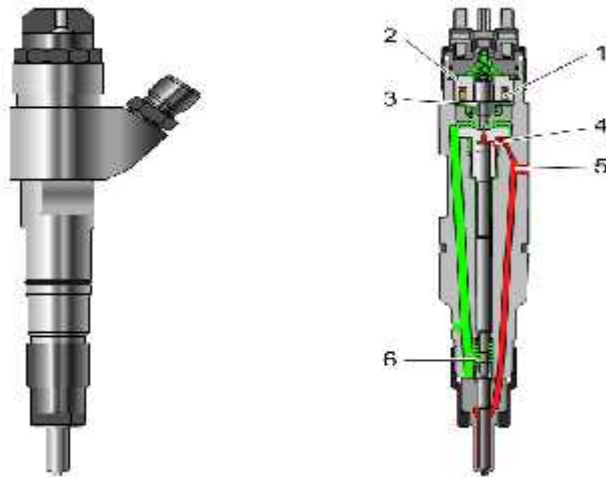
Gambar 121. *Pressure reduction condition*

Pada saat tekanan pada *rail pressure* mengecil seiring dengan *low idle engine*, maka gaya spring tidak mampu di lawan oleh tekanan bahan bakar, sehingga *check valve* menutup *hole* pada FRV.

Pada saat *check valve* tertutup tidak ada bahan bakar yang *return* menuju tangki.

### 8) Injektor

Injektor adalah komponen pada *common rail* yang berfungsi sebagai menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada *common rail* injektor kapan mulai saat penginjeksian diatur oleh E-ECU melalui *supply* arus menuju injektor *solenoid*.



Gambar 122. Injektor

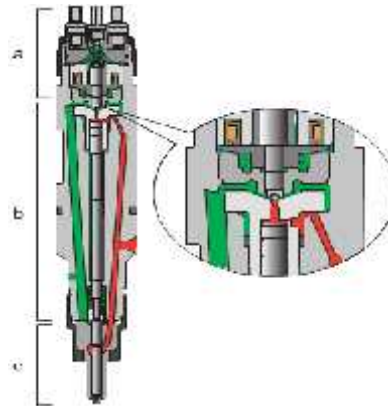
1. *Magnet winding*
2. *Magnet core*
3. *Fixture*
4. *Return chamber*
5. *High pressure channel*
6. *Needle return spring*

**a) Mekanise Kerja**

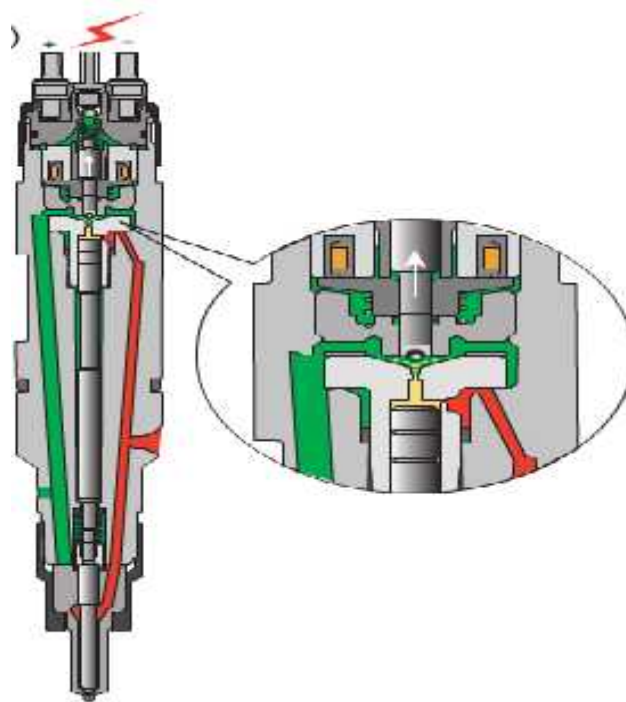
- a. *Solenoid*
- b. *Servo system*
- c. *Hole type injection*

**b) Mesin Off Position**

Pada saat kondisi tidak ada Arus dari E-ECU menuju *solenoid* mesin berada pada posisi *off*



**Gambar 123. Komponen injektor**

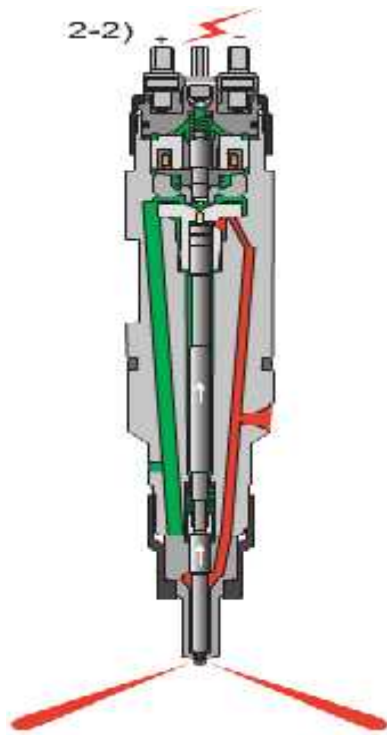


**Gambar 124. Kerja injektor pada saat ada *suplly* dari ECU**

**c) Engine Running and Injection**

Pada saat E-ECU memberikan *supply* pada *solenoid injektor*, maka pada *solenoid* terbentuk kemagnetan yang akan menarik *fixture* ke atas dan *check ball* terangkat keatas oleh dorongan *fuel pressure* dari *rail system*. Terangkatnya *fixture* ke atas menyebabkan *pluger* juga ikut terangkat sehingga menyebabkan hole injektor terbuka dan bahan bakar tersemprot kedalam ruang bakar selama *solenoid* mendapatkan *supply* arus dari E-ECU.

Pada saat *injection* terjadi lubang *return line* menuju tangki tertutup oleh *pluger*, sehingga semua *pressure* terarah menuju *hole injection* untuk melakukan penyemprotan bahan bakar kedalam ruang bakar, perhatikan gambar di bawah ini:



**Gambar 125. Injektor saat menyemprotkan bahan bakar**

## B. Fuel Filter

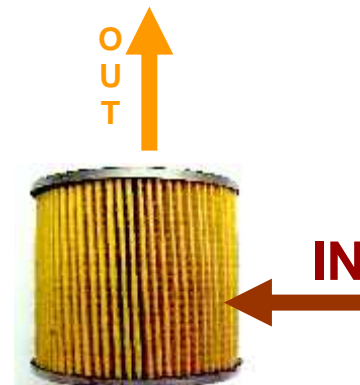
*Filter* adalah komponen yang digunakan untuk menyaring partikel baik yang halus maupun yang kasar pada *fuel sistem* atau *oil sistem*. Filter memiliki peran penting dalam rangka menjaga kestabilan kerja sistem dari partikel yang dapat merusak. Cara kerja penyaringan bahan bakar sangatlah sederhana yaitu seperti konsep dibawah ini:



Gambar 126. Kerja fuel filter

Dalam melakukan pemilihan *filter* dengan baik, kita tidak dapat hanya melihat tanpa mengetahui spesifikasi dalam *filter* itu sendiri. Beberapa hal yang harus diperhatikan pada pemilihan *filter* diantaranya adalah sebagai berikut:

### 1. Efficiency



Gambar 127. bakar pada fuel filter

Kemampuan *filter* untuk memisahkan partikel-partikel yang bersifat kontaminan dan dapat merusak komponen-komponen mesin atau sistem tertentu. Kemampuan ini biasanya dilihat dari:

- a. Persentasi antara *output filter* dengan *input filter*
- b. Waktu yang ditempuh cairan untuk masuk dan keluar dari sistem
- c. *Acumulative* (jumlah udara)

## 2. Capacity

*Capacity* adalah besarnya jumlah yang mampu disaring oleh *filter*, *capacity* akan berpengaruh pada persentasi kapasitas bahan bakar yang akan keluar menuju sistem. Kapasitas penyaringan pada setiap unit berbeda-beda sesuai dengan besarnya kapasitas *filter* bahan bakar pada unit. Secara umum jika kapasitas meningkat maka *efficiency* menurun. Perhatikan tabel di bawah ini :

Media	Efficiency	Capacity
A	83.0	140.0
B	91.0	81.0
C	97.0	50.0

Gambar 128. Tabel efisiensi berbanding capacity

Desain utama yang diharapkan oleh setiap produsen *filter* adalah *high efficiency, long life, low flow resistance*.

## 3. Kemampuan Penyaringan

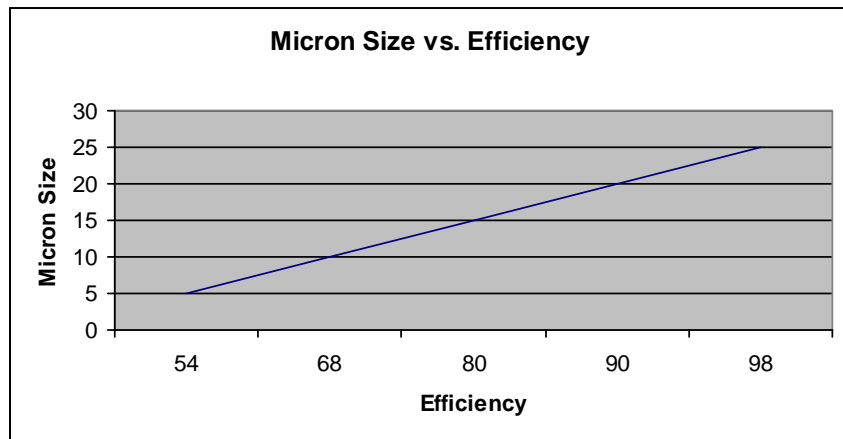
Kemampuan penyaringan pada sebuah *filter* dilihat dari besarnya partikel yang dapat disaring biasanya dalam satuan *micron* dengan *Conversion Factors*:

- a.  $1 \mu\text{m} = 1/1,000,000$  meters (1 micrometer)
- b.  $1 \mu\text{m} = 39/1,000,000$  inch

*Relative Sizes*

- a. 40 to 90  $\mu\text{m}$  = *Width of a Human Hair* (seluas rambut orang)
- b.  $<40 \mu\text{m}$  = *Not Visible without Magnification* (tidak dapat terlihat)

Perbandingan antara *efficiency* dengan mikron (kemampuan penyaringan). Jika *efficiency* meningkat maka micron size meningkat. Artinya kualitas penyaringan bahan bakar hanya di fokuskan pada partikel-partikel yang besar. Perhatikan diagram di bawah ini:

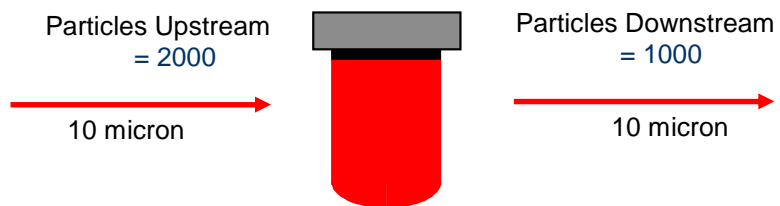


Gambar 129. Tabel perbandingan mikron size dengan efficiency

#### 4. Beta Ratio

*Beta ratio* adalah perbandingan jumlah partikel sebelum melewati *filter* dan setelah melewati *filter*. Nilai ini di gunakan laboratorium sebagai pengukur kualitas penyaringan pada filter. Jika nilai dari beta  $<75\%$  = normal sedangkan nilai beta  $>75\%$  = *absolute*.



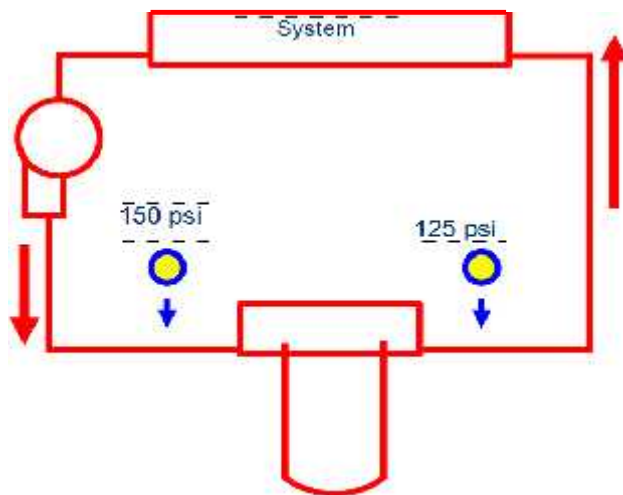


**Gambar 130. Beta ratio pada fuel filter**

Hal yang harus diperhatikan adalah jika nilai beta meningkat maka nilai *efficiency* juga meningkat.

### 5. Perbedaan tekanan

pada suatu *filter* perbedaan tekanan dihitung berdasarkan perbandingan *pressure* yang masuk kedalam *filter* dengan *pressure* yang keluar dari *filter*. Jika *pressure* yang masuk kedalam *filter* lebih besar bila dibanding *pressure* yang keluar sistem maka kualitas penyaringan yang terjadi pada sistem tersebut lebih besar artinya partikel terkecil dapat tersaring pada *filter* tersebut. Perhatikan gambar penyaringan pada sebuah *filter* di bawah ini:



**Gambar 131. Perbedaan tekanan pada fuel filter**

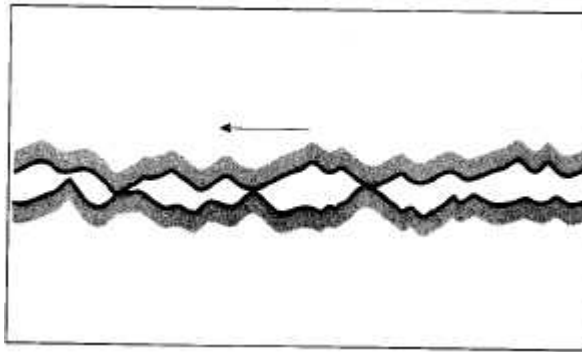
# **Sistem Pelumasan**

## **A. Mekanisme Gesekan dan Pelumasan**

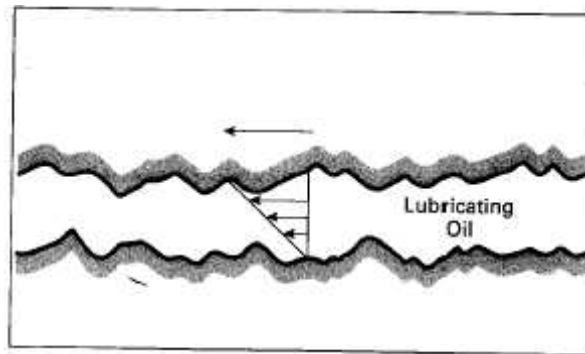
Jika dua buah benda bersentuhan saat melakukan kerja pada benda akan menyebabkan terjadinya gesekan pada permukaan benda yang bersentuhan. Efek yang mungkin akan didapatkan dari bersentuhannya dua benda dalam melakukan pekerjaan diantaranya adalah terjadinya kikisan permukaan benda lebih lanjut disebut terjadinya keausan.

Tingkat keausan yang mungkin terjadi pada sebuah benda yang bergesekan ditentukan oleh besarnya gesekan yang terjadi pada benda tersebut. Semakin besar gesekan yang terjadi pada benda tersebut maka akan semakin besar kemungkinan terjadinya keausan pada permukaan benda yang bergesekan tersebut. Setelah terjadinya keausan maka celah yang pada permukaan benda menjadi lebih besar. Besarnya celah pada permukaan benda akan mempengaruhi perpindahan putaran dari satu benda ke benda yang lainnya menjadi tidak efektif, artinya rugi-rugi putaran yang terjadi pada gesekan tersebut menjadi lebih besar.

Untuk menghindari terjadinya keausan pada komponen, maka di butuhkan zat tambahan yang berfungsi sebagai penyekat atau pelapis pada gesekan dua permukaan tersebut. Perhatikan celah dua benda yang terjadi gesekan di bawah ini:

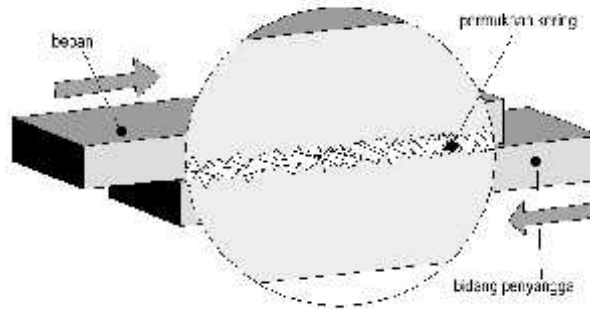


**Gambar 132. Gesekan tanpa pelumasan**



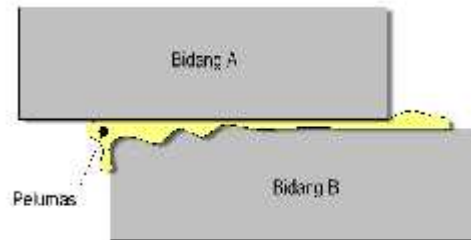
**Gambar 133. Gesekan dengan pelumasan**

Pada gambar 134 menunjukkan sebuah gesekan tanpa adanya pelumasan yang menjadi penyekat pada permukaan dua benda tersebut sehingga akan terjadinya keausan yang sangat besar pada permukaan benda tersebut. Sedangkan pada gambar 133 gesekan yang dilapisi oleh sebuah pelapis akan menghasilkan keausan yang sangat kecil atau minim sekali. Tujuan utama pelumasan adalah untuk mencegah kontak langsung dari dua bagian yang bergesekan. Di dalam mesin terdapat banyak bagian yang bergesekan. Apabila permukaan logam yang bergesekan tersebut diperbesar, akan tampak seperti gambar berikut.



**Gambar 134. Gesekan pada benda**

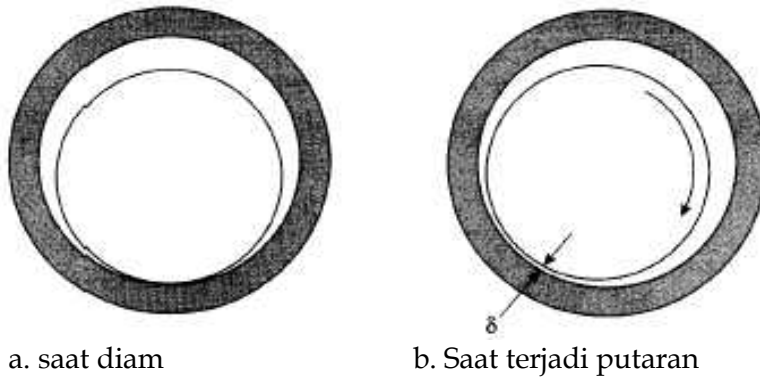
Pada saat terjadinya gesekan minyak pelumas menjadi penyekat dan pelicin sehingga saat terjadinya gesekan minyak pelumas dapat melapisi permukaan benda yang bergerak dan bergesekan, sehingga kecil sekali terjadinya keausan pada benda perhatikan dua benda yang di digerakkan dan mendapatkan pelumasan di bawah ini:



**Gambar 135. Gesekan pada dua balok yang mendapatkan pelumasan**

Jika ada sebuah bearing maka pola gesekan yang terjadi pada bering tersebut adalah pada saat poros bearing tidak berputar maka poros akan bersentuhan secara langsung dengan bearing. Tetapi pada saat poros berputar maka pada bearing akan terjadi penyekat atau pembatas sentuhan langsung oleh permukaan poros dengan permukaan bearing. Penyekat tersebut memiliki karekateristik tersendiri sesuai dengan besarnya gesekan yang mungkin terjadi

pada benda tersebut. Perhatikan pola gesekan yang terjadi pada poros dengan permukaan bearing dibawah ini:



Gambar 136. Gesekan yang terjadi pada bearing dan poros

## B. Zat Tambahan (*Additive*) pada Pelumas

Agar minyak pelumas dapat dipakai pada kendaraan dengan baik dan dapat mencegah kerusakan-kerusakan pada bagian-bagian yang bergesekan, maka diperlukan suatu additive yang dicampur dengan minyak pelumas. *Additive* dapat difungsikan sebagai pencegah terjadinya korosi dan mengendapnya kotoran pada minyak pelumas yang dapat merusak komponen yang dilumasi, *Additive* tersebut antara lain:

### 1. *Deterjen*

*Deterjen* berfungsi untuk mencegah terjadinya endapan dan biasanya digunakan bahan kimia *Sulfonat*, *Phosphanat* dan lain-lain.

### 2. *Dispersan*

*Dispersan* berfungsi Untuk mendepres lumpur (*sludge*) yang terjadi dan biasanya digunakan bahan kimia *polymer* dari *acrylic*, *methacrylic*.

### 3. *Corrosion inhibitor*

*Corrosion inhibitor* berfungsi untuk melindungi logam-logam *non ferro* di dalam mesin dan bahan kimia yang digunakan adalah *metal-dietophosphates* dan *metal dicarbonates*.

#### **4. Anti Oxidant**

*Anti oxidant* berfungsi untuk mengurangi oksidasi minyak pelumas dan bahan kimia yang digunakan adalah *sulfides* dan *sulfarides*.

#### **5. Viscosity Index Improver**

*Visicositas index improver* berfungsi agar kekentalan minyak pelumas tidak banyak terpengaruh oleh suhu.

#### **6. Pour Point Depressant**

*Pour point depressant* berguna untuk mencegah terjadinya *kristalisasi parafin wax* pada suhu rendah dan bahan kimia yang digunakan *Polymethacrylates* dan *Polycrylamides*.

#### **7. Extreme Pressure (EP)**

*Extrame preassure* berguna untuk mencegah kerusakan akibat sentuhan logam dengan logam dan bahan kimia yang digunakan adalah persenyawaan *sulfur* atau *halogen*.

### **C. Tingkat Kekentalan Pelumas**

Kekentalan menunjukkan besarnya tahanan yang menyebabkan kemudahan atau kesulitan suatu minyak pelumas mengalir. Derajat kekentalan menunjukkan tingkat kekentalan sebuah minyak pelumas. Semakin besar nilai kekentalan minyak pelumas, maka minyak pelumas tersebut akan semakin sulit mengalir atau menetes.

Dalam sebuah percobaan SSU (*second saybolt Unit*) yang telah dilakukan penelitian terhadap waktu yang dibutuhkan oleh jenis minyak yang dialirkan dalam suatu tabung pada diameter dan suhu tertentu. Derajat kekentalan minyak pelumas dinyatakan dengan SAE (*society automovite enginer*). Sedang untuk menentukan derajat kekentalan mana yang akan dipakai harus diketahui faktor-faktor sebagai berikut :

1. Besar celah yang akan ditempati oleh pelumas.
2. Besar beban yang harus didukung oleh pelumas.
3. Suhu operasi.
4. Luas bidang gesek.

5. Kecepatan gerakan.

Berdasarkan kekentalannya jenis oli dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu oli *single grade* dan *multi grade*, perhatikan uraian berikut :

### **1. Oli yang Berderajat Kekentalan Tunggal (*Single Grade Oil*)**

*Single grade* adalah oli yang mempunyai satu sifat kekentalan saja, misalnya SAE 10, SAE 20, SAE 30 dan masih banyak lagi. *Single Grade Oil* adalah penentuan kekentalan pada suhu udara normal yaitu 20°C mempunyai tingkat kekentalan tertentu, maka apabila pada suhu yang lebih rendah akan menjadi lebih pekat dan pada suhu yang lebih tinggi akan menjadi lebih encer tingkat kekentalannya.

### **2. Oli yang Berderajat Kekentalan Ganda (*Multiple Grade Oil*)**

*Multi grade oil* yaitu oli yang mempunyai sifat kekentalan ganda, biasa disebut oli spesial. misalnya oli dengan kriteria SAE 10W / 30, SAE 10W / 40, SAE 20W / 50 dan masih banyak lagi. Kode huruf W di atas adalah kependekan dari *winter* (musim dingin), berarti oli tersebut telah mengalami uji test pada musim dingin dan memiliki sifat kekentalan SAE 10 dan SAE 20, pada keadaan dingin oli tersebut tidak terlalu pekat. Selain itu, oli *multi grade* akan berubah menjadi lebih encer setelah temperatur menjadi lebih panas. Dengan adanya sifat yang ganda tidak heran bila harga oli jenis ini akan menjadi lebih mahal dari oli biasa (*Single Grade Oil*). Oli yang mempunyai tanda SE (*Station Engine*) dibelakangnya menunjukkan oli tersebut telah mengalami pengujian pada perusahaan perminyakan di Amerika Serikat, badan penguji yang sudah terkenal, yaitu API (*American Petroleum Industry*).

## D. Gesekan pada Mesin

Gesekan yang terjadi pada mesin dapat diperhitungkan dengan analogi hilangnya tenaga pada mesin dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{W}_f = (\dot{W}_i)_{\text{net}} - \dot{W}_b$$

dimana :

$$(\dot{W}_i)_{\text{net}} = (\dot{W}_i)_{\text{gross}} - (\dot{W}_i)_{\text{pump}}$$

keterangan :

f = *friction*

i = *indicated*

b = *brake*

Selain itu pola perhitungan untuk menentukan besarnya gesekan pada *engine* dengan menggunakan kerja *spesifice* dengan persamaan:

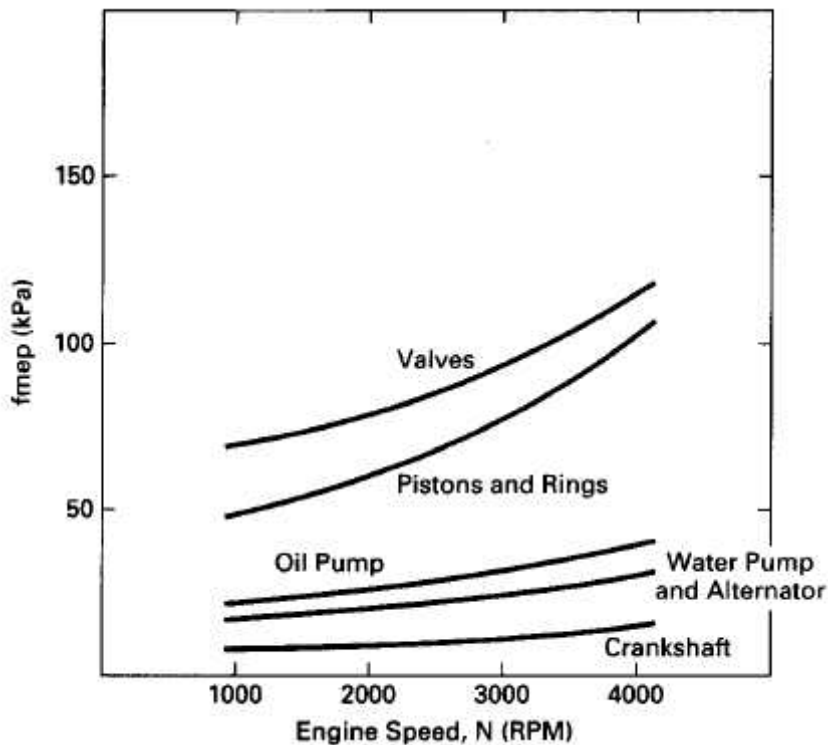
$$w_f = (w_i)_{\text{net}} - w_b$$

Dengan mekanikal efisiensi di hitung:

$$\eta_m = \dot{W}_b / \dot{W}_i = w_b / w_i$$

Gesekan pada mesin menyebabkan banyak tenaga yang hilang sehingga suplai tenaga yang akan di pindahkan ke roda-roda penggerak tidak terjadi 100%. Berikut beberapa variasi gesekan yang terjadi pada *engine*:

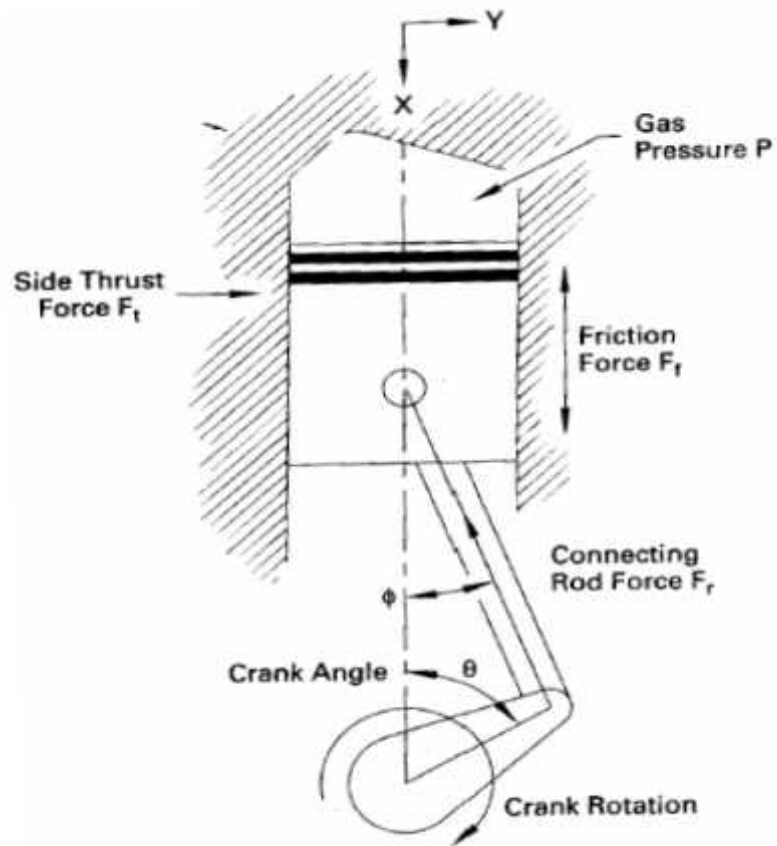




Gambar 137. Variasi gesekan yang terjadi pada mesin

Variasi gesekan yang terjadi pada mesin berdasarkan grafik di atas didapatkan dengan cara melakukan pengujian mesin dengan metode *motoring of the engine*. Semua kerugian didapatkan dengan melakukan perlakuan pada  $F_{mep}$  yang semakin ditingkatkan seiring dengan meningkatnya kecepatan.

Saat piston memulai kerja, terjadi pelumasan pada *piston* sangat sedikit atau *piston cooling valve* belum bekerja dengan baik, sehingga akan terjadi gaya gesek yang sangat besar antara *metal piston* dengan *metal* pada dinding *piston*. Seiring kecepatan mesin mulai normal, *piston cooling valve* akan menyempotkan pelumas dan melumasi dinding silinder dan *piston* sehingga akan memperkecil terjadinya gesekan antara kedua komponen tersebut.



Gambar 138. Gesekan pada ring piston dan dinding silinder

## D. Pelumasan pada Mesin

Pelumasan pada mesin memungkinkan kinerja mesin memiliki *life time* pemakaian lebih panjang, tidak heran bila sebuah produsen mesin memiliki spesifikasi tersendiri pada setiap pergantian oli yang harus dilakukan untuk setiap mesin yang diproduksinya. Ketentuan tersebut diprediksikan dari seiring terjadinya gesekan pada mesin. Untuk menjaga terjadinya keausan pada mesin maka pelumas harus tetap menjadi pelindung dari

gesekan pada komponen-komponen mesin yang bergerak. Adapun fungsi minyak pelumas pada mesin adalah sebagai berikut:

## **1. Pelumas (*Lubricant*)**

Pelumas akan membentuk *Oil Film* pada permukaan komponen yang bergesekan dan menerobos celah-celah komponen yang memerlukan pelumasan. Saat terjadinya gesekan pada mesin maka akan timbul panas dan keausan. Untuk meminimalkan terjadinya keausan pada komponen maka pelumas harus mempunyai sifat-sifat:

### **a. Oli harus mempunyai kekentalan (*Viskositas*)**

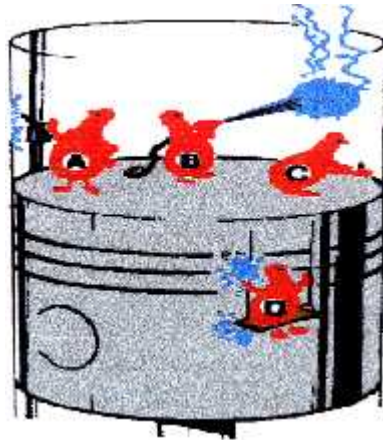
Setiap produsen mesin seperti Toyota, Mitsubishi, Hino, Volvo, Caterpillar, Komatsu dan lainnya, memiliki spesifikasi kekentalan yang berbeda. Kekentalan dari satu mesin dengan mesin yang lain tidak dapat disamakan. Ketika mesin Toyota dipergunakan, maka hindari penggunaan kekentalan minyak pelumas yang ditentukan oleh mesin yang diproduksi oleh Hino. Pada jangka pendek kemungkinan belum akan menghasilkan efek yang terjadi karena penggunaan perbedaan kekentalan, tetapi pada jangka panjang akan menghasilkan kerusakan yang cukup serius.

### **b. Viskositas oli stabil terhadap perubahan suhu (*Viscosity Index*)**

Pada saat terjadi perubahan suhu mesin dari dingin pada suhu kerja mesin, kekentalan minyak pelumas hendaknya tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kemampuan untuk melumasi merupakan hal dasar yang selalu dijadikan pedoman untuk menggunakan minyak pelumas. Semakin tinggi kecepatan sebuah mesin maka akan semakin besar kemungkinan terjadinya gesekan. Untuk menghindari terjadinya keausan saat terjadi gaya gesek yang besar pada sistem pelumasan harus dapat bekerja secara optimal.

### c. Oli tidak berbusa.

Saat terjadinya putaran pada sistem mesin akan menyebabkan getaran-getaran pada mesin. Getaran-getaran pada mesin menimbulkan guncangan-guncangan pada minyak pelumas yang terdapat pada mesin. Menghindari terjadinya busa pada minyak pelumas agar minyak pelumas tidak mengendap di bawah busa. Bila minyak pelumas menimbulkan busa kejadian yang memungkinkan terjadi adalah sistem pelumasan pada komponen mesin yang bergerak tidak optimal karena kekentalan yang di timbulkan oleh busa tidak cukup optimal sebagai lapisan film.



Gambar 139. Pelumasan pada dinding silinder

## 2. Pendingin (Coolant)

Minyak pelumas dapat berfungsi sebagai pendingin. Pada umumnya mesin mendinginkan suhu kerja dengan menggunakan proses pendinginan alat penukar kalor atau radiator. Namun air dalam radiator tersebut hanya bekerja di kepala silinder dan silinder blok mesin. Kedua bagian ini hanya mewakili setengah penyerapan panas yang dibutuhkan untuk pendinginan mesin. Pendinginan yang terjadi pada bagian dalam mesin termasuk pada bagian yang bergesekan dilakukan oleh peredaran minyak pelumas di dalam mesin. Sirkulasi minyak pelumas akan membawa panas dan akan di

dinginkan pada sebuah pendingin oli, sehingga pendinginan terjadi tidak hanya radiator melainkan pada *oil cooler*.

Pelumas akan membantu menyerap panas yang dialami komponen-komponen mesin yang timbul karena proses pembakaran, atau karena gesekan dari komponen-komponen yang saling bergerak dan tidak dapat dijangkau oleh sistem pendinginan. misalnya piston dan bagian-bagiannya, bearing, turbocharger, mekanisme katup dan lain-lain. Beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh sebuah minyak pelumas agar menjadi pelumas yang baik adalah:

**a. Pelumas harus mempunyai suhu yang stabil**

Kesetabilan suhu pada minyak pelumas sangat diperlukan, kesetabilan panas akan berefek pada pola pendinginan dan pelumasan pada sistem mesin. Pada saat suhu panas, viscositas minyak pelumas tidak jauh berubah. Untuk menjaga agar komposisi minyak pelumas tetap stabil maka sistem harus dilengkapi dengan pendingin oli (*Oil Cooler*). Pendingin oli pada sistem pelumas dibutuhkan sebagai penjaga suhu pada minyak pelumas.

**b. Sistem pelumasan harus bertekanan**

Tekanan minyak pelumas dipergunakan sebagai pendorong sirkulasinya minyak pelumas ke seluruh komponen yang bergesekan dan membutuhkan pelumasan. Tekanan pada minyak pelumas dijaga oleh pompa oli yang berbentuk *eksternal gear pump*.

### **3. Pembersih (*Cleaner*)**

Oli juga memegang peranan yang penting dalam menjaga kebersihan mesin. jika oli dipompakan dengan tekanan dalam mesin dan mengalir kembali ke dalam *Crank Case*, akan membawa partikel-partikel kecil dari metal yang telah aus, dan apabila terbawa peredaran oli, maka partikel kecil logam tersebut akan

merusakkan mesin, sehingga oli harus disaring. Kotoran tersebut akan tertinggal pada penyaring sampai saat penggantian filter.

Pelumas akan membersihkan butiran halus atau endapan asam yang terjadi akibat gesekan, proses pembakaran atau karena terbawa oleh udara atau bahan bakar. Khususnya dalam menetralkan asam belerang (*Acid*) yang terjadi dari proses pembakaran karena kandungan belerang dalam bahan bakar. Karena asam ini dapat mengikis permukaan logam. Untuk mendukung fungsi kerja tersebut, maka sistem pelumasan dilengkapi dengan Filter.

Pada waktu bahan bakar dibakar, akan membentuk komponen-komponen zat kimia, diantaranya air dan macam-macam *acid*. Selama masih terselimuti oli, air dan acid tersebut tidak akan menyebabkan oksidasi (karat) pada bagian-bagian dalam mesin tersebut, sehingga permukaan dalam mesin tetap bersih. Pada saat melakukan pembongkaran pada carter sering ditemukan bram-bram atau kotoran yang mengendap. Selain itu *drain screw* pada bagian atasnya dililitkan magnet, tujuan utama dari pemasangan magnet tersebut adalah untuk menangkap kotoran-kotoran akibat gesekan dan kotoran lainnya.

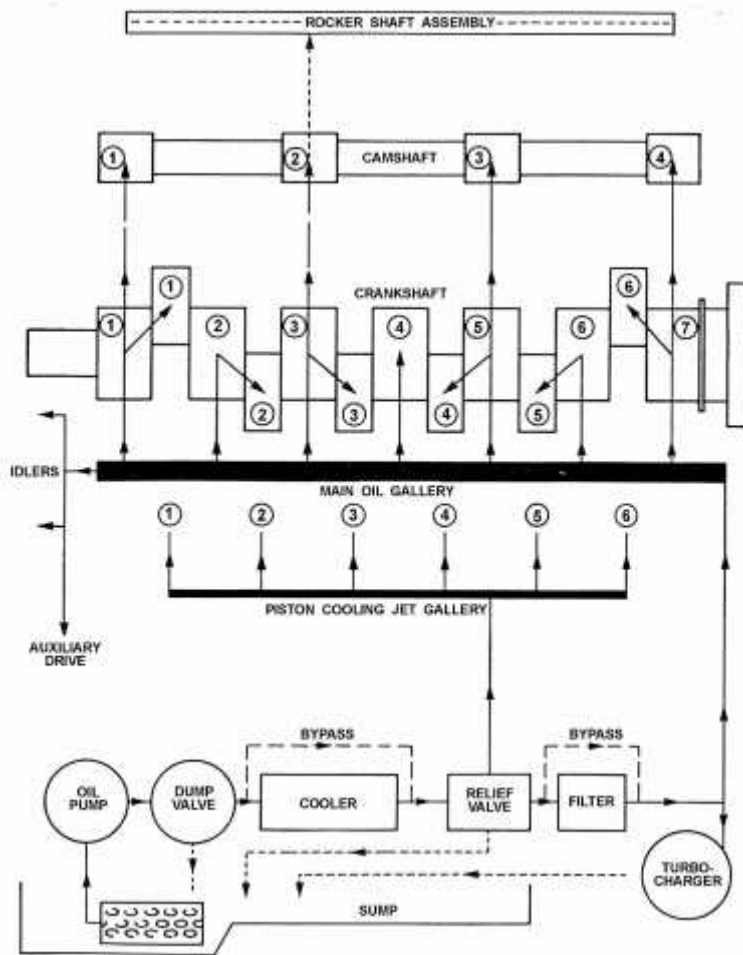
#### **4. Penyekat (*Sealing*)**

Pada saat dua benda bergesekan akan terdapat sebuah celah yang memisahkan antara dua benda tersebut. Untuk meminimalisir terjadinya gesekan yang menghasilkan keausan dan suara gesekan yang mengganggu, oli pelumas dapat menjadi pemisah sebagai *sealing*. Selain itu, gesekan juga terjadi pada liner silinder yang telah didesain sedemikian rupa sehingga harus selalu terdapat lapisan yang melekat pada dinding. Hal ini memudahkan ring piston untuk memberikan efek penyekatan pada ruang bakar.

#### **5. Peredam Suara**

Oli juga berguna juga untuk memberikan efek peredaman suara. Pada saat terjadinya gesekan pada sistem di dalam mesin akan menyebabkan suara yang dapat mengganggu. Lapisan film

pada bagain mesin yang ditimbulkan oleh oli akan memberikan efek terjadinya gesekan yang terjadi secara halus. Halusnya gesekan yang terjadi pada dua komponen mesin akan menghasilkan suara yang halus juga. Dengan demikian, saat proses yang terjadi pada mesin berjalan dengan baik suara yang ditimbulkan oleh mesin pun juga akan halus.



Gambar 140. Diagram sistem pelumasan pada mesin

Bagian dan mekanisme kerja komponen sistem pelumasan adalah sebagai berikut:

**a. Oil Sum (*Carter*)**

*Carter* adalah tempat penampungan oli mesin, baik oli sebelum bersirkulasi maupun oli setelah bersirkulasi ke sistim. *Karter* diletakkan pada bagian paling bawah dari block mesin. Priode penggantian mesin oil tergantung dari kapasitas volume mesin oil dan lamanya waktu pengoperasian mesin. Pada oil tank dilengkapi dengan:

**1) Drain (*Tapping Valve*)**

*Drain plug* berfungsi sebagai saluran untuk membuang oli secara berkala sesuai dengan priode penggantian oli. Selain itu pada *drain screw* juga terdapat megnet yang akan menangkap partikel-partikel yang dihasilkan oleh terjadinya gesekan pada sistem. Perlu diperhatikan saat melakukan pergantian oli secara berkala juga dilakukan pembersihan pada bagian *drain screw* agar dari kotoran-kotoran yang menumpuk.

**2) Deepstick**

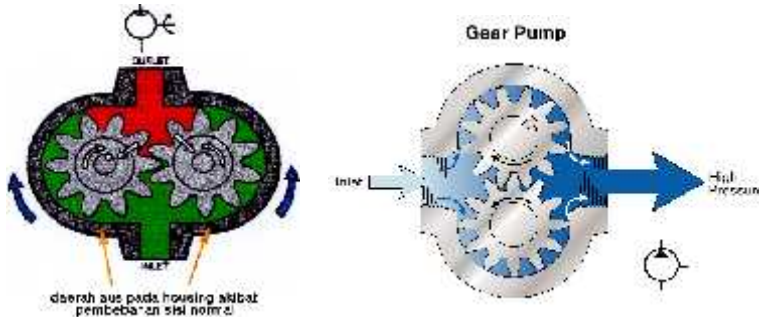
*Deepstick* berfungsi untuk mengukur level oli yang dilakukan pada saat mesin sebelum beroperasi. Pada bagian *deepstick* terdapat dua level yang akan menunjukkan posisi tinggi atau rendah oli yang berada pada mesin. Pengecekan level oli mesin sebaiknya dilakukan sebelum melakukan pengoperasian mesin. Pada saat belum beroperasi visikositas oli belum melakukan penurunan karena panas yang di hasilkan mesin, sehingga saat melakukan pengukuran dapat terjadi secara akurat. Sebaiknya saat melakukan pengecekan dilakukan sebanyak dua kali atau lebih untuk meyakinkan level oli pada mesin sebelum beroperasi.

**b. Pompa**

Pompa adalah komponen pada sistem pelumasan yang memompakan oli dari *carter* bersirkulasi keseluruh sistem mesin yang membutuhkan pelumasan. Jenis roda pompa oli pada sebuah

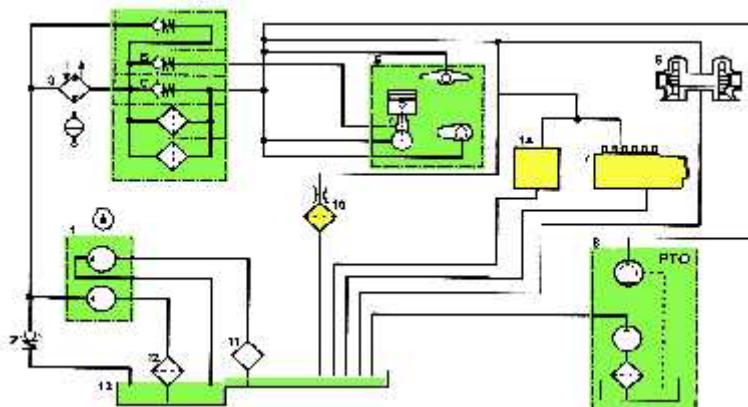


engine adalah *fixed displacement* artinya pompa oli dengan debit konstant.



Gambar 141. *Exsternal gear pump*

Pada saat gear berputar maka oli akan masuk melalui saluran masuk dan terbawa oleh *gear* dengan sistem dorong yang dilakukan oleh *gear* pada pompa tersebut. Pompa oli(1) digerakkan oleh *timing gear*, menghisap oli dari carter (2). Oli kemudian mengalir melalui *strainer* (3) yang berada pada oil pan dan pompa, dan kemudian dipompakan melewati *relief valve* (4).



Gambar 142. Skema sistem pelumasan pada mesin

Oli yang kembali ke oil pan melalui pendinginan oli (5) untuk didinginkan. Saat mesin dihidupkan, oli masih dingin, oli tidak akan mengalir pendingin oli melainkan langsung melalui *bypass*

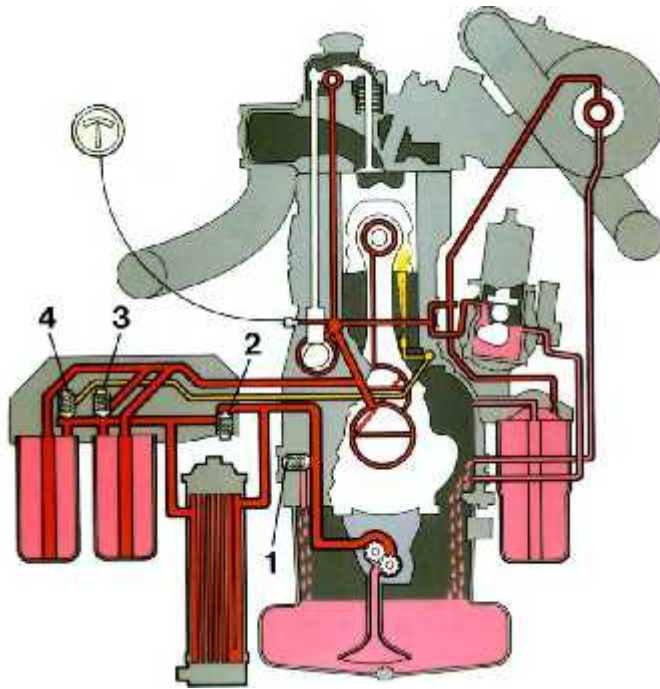
*valve* (6) untuk mempercepat proses pemanasan mesin untuk mencapai suhu kerjanya.

Saat tekanan oli mencapai harga tertentu, *piston cooling valve* (9) membuka dan mengalirkan oli ke *piston cooling jet* (10). Oli mengalir dari saringan menuju jalur utama oli (11) yang dibuat sepanjang blok silinder. Dari jalur tersebut oli didistribusikan lewat lubang-lubang menuju bearing poros cam (12), bearing utama, (13) dan ke poros cam. Sebagian oli dipompakan menuju poros cam (16). Akibatnya, mekanisme katup terlumasi.

Sebelum mencapai turbocharger (17), oli mengalir melewati pipa luar (*external pipe*) (18) yang terhubung dengan blok silinder. Turbocharger membutuhkan banyak oli karena unit turbin beroperasi dengan kecepatan yang sangat tinggi, lebih dari 85.000 rpm. Pompa injeksi bahan bakar dan air compressor mendapatkan pelumasan dari pipa eksternal pula. Karena salah satu dari gear timing (19) terhubung dengan saluran sistem pelumasan, oli juga didistribusikan padanya dengan semburan (*splashing*).

### **c. Cooler dan Cooler Bypass Valve**

*Cooler* adalah pendingin pada sistem pelumasan, pada sistem *cooler* ini terjadi pembuangan panas secara konveksi yaitu perpindahan panas melalui fluida yang bergerak. Sistem perpindahan panas terjadi secara konveksi paksa karena aliran fluida dipaksakan oleh pompa untuk mengalir dan melepas panas pada pendinginan oli. Fungsi utama pendinginan oli pada mesin adalah untuk penukar dan pembuang panas sehingga oli yang akan disirkulasikan ke sistem mesin tidak mengalami *overheating* yang dapat menyebabkan suhu mesin terlalu tinggi.



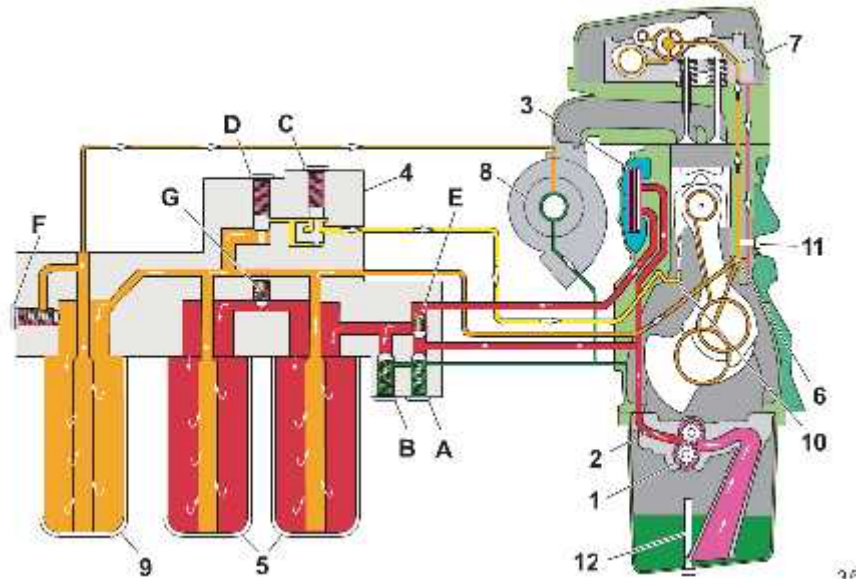
**Gambar 143. Pendingin pada mesin**

Pada saat mesin berada pada kondisi dingin oli pelumas tidak bersirkulasi dari pompa melewati pendingin oli, tetapi oli langsung melalui *oil cooler bypass valve* (2) untuk melumasi pada bagian-bagian yang membutuhkan pelumasan. Seiring dengan meningkatnya suhu kerja mesin, *bypass oil cooler valve* akan tertutup dan oli pelumas sebelum melumasi ke seluruh komponen yang membutuhkan pelumasan akan melalui pendinginan oli.

Adanya penambahan pada pendinginan oli bertujuan untuk mendinginkan oli agar tidak terjadi *overheating* yang dapat mengubah fisikotas oli didalam mesin. Perubahan fisikotas dapat berpengaruh pada kemampuan melumasi komponen-komponen mesin yang bergesekan. *Oil cooler baypass vave* bertujuan untuk mempercepat suhu kerja mesin, semakin panas mesin sistem pembakaran akan semakin baik, tetapi bila terlalu panas komponen

mesin, berdampak pada pembakaran yang dapat menghasilkan Nox lebih besar.

#### d. Regulator Valve (*safty valve*)



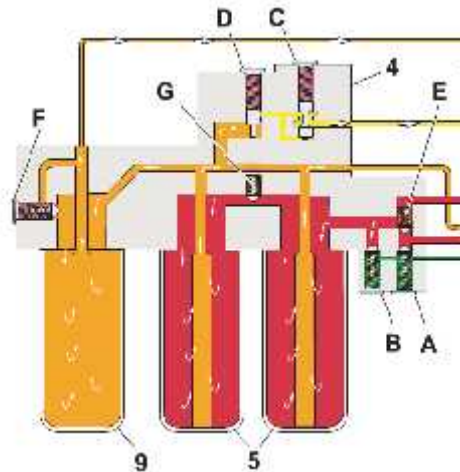
Gambar 144. Regulator sebagai control sistem pelumasan

Regulator (A dan B) adalah komponen yang berfungsi sebagai pengatur tekanan oli pada sistem pelumasan. Saat sistem pelumasan tekanannya melewati spesifikasi maka katup regulator akan membuka dan mengembalikan oli pelumas menuju *carter*. Tekanan oli akan berpengaruh pada kemampuan oli untuk bersirkulasi menuju komponen-komponen yang membutuhkan pelumasan. Saat tekanan oli rendah, maka aliran oli yang akan melumasi sistem tidak optimal sehingga pelumasannya pun tidak optimal.

Saat tekanan oli melebihi tekanan spesifikasinya pada mesin akan berdampak pada optimalnya pelumasan pada mesin. Aliran oli yang terlalu kencang dengan tekanan yang besar dapat menyebabkan *over heat* pada mesin. Bila mesin yang telah menggunakan sistem IEGR (*Internal Exhaust Gas Recirculating*),

tekanan oli yang besar dapat selalu mengaktifkan sistem ini, karena pada saat IEGR non aktif tekanan pada IEGR hanya 1 bar, pada saat IEGR aktif tekanan pada IEGR mencapai 4.5 – 5 Bar.

#### e. Saringan Oli dan Bypass Filter Valve



Gambar 145. filter dan *bypass filter* pada mesin

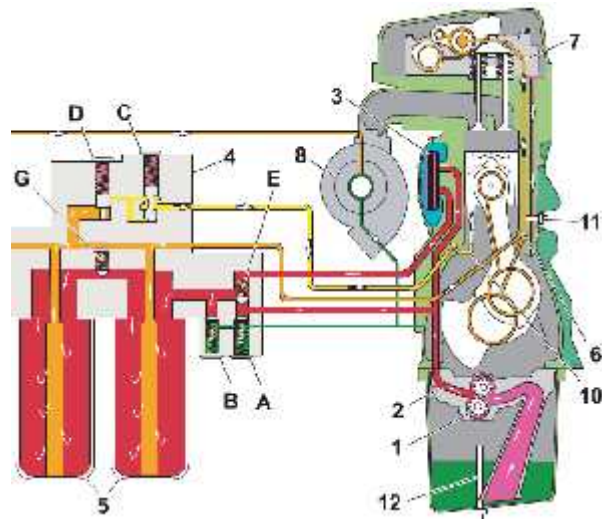
Filter adalah komponen yang berfungsi sebagai penyaring kotoran dan partikel-partikel yang terbawa dari *carter* sebelum menuju ke sistem. Saringan oli pelumas memiliki karakteristik tersendiri dan berbeda pada setiap mesin. Setiap mesin didesain memiliki perbedaan kriteria minyak pelumas tersendiri. Jadi proses pemilihan saringan juga akan berbeda terutama pada kapasitas, efisiensi penyaringan dan ukuran penyaring dalam saringan oli.

Pada saat saringan oli mengalami kebuntuan dan mesin tetap bekerja maka pada setiap mesin biasanya pada sebuah sistem pelumasan di sekitar saringan oli selalu disertai dengan *bypass filter valve*. Terjadinya blok pada penyaring oli akan menyebabkan terjadinya kelebihan tekanan. Pada saat kelebihan tekanan, *Baypass filter valve* akan membuka dan akan mengalirkan oli menuju komponen-komponen mesin. Komponen *bypass filter valve* hanya terdiri dari pehas dan sebuah *chack ball*.

Pada saat tekanan oli berlebihan maka daya pegas akan terlawan karena oli menekan *chack ball* dan akan menekan pegas. Tekanan pegas terkalahkan maka pada rumah cek ball akan membuntuk sebuah celah yang dapat mengalirkan oli menuju kesistem. Satu komponen kecil ini akan menyelamatkan dan menyebabkan pelumasan tetap terjadi pada mesin selama mesin bekerja.

#### f. Piston Cooling Jet

*Piston cooling jet* adalah komonen pada sistem mesin yang akan menyemprotkan oli untuk pendinginan ke piston dan dinding piston, sehingga gesekan yang terjadi diantara keduanya terjadinya keausan seminimal mungkin. *Piston cooling jet* bekerja pada saat tekanan mesin berada pada tekanan yang mendekati normal antara 3-5 bar sehingga saat suhu mesin normal *piston cooling jet* menyemprotkan oli menuju piston dan dinding silinder sehingga proses pendinginan dan pelumasan terjadi pada kedua komponen tersebut.



**Gambar 146. Piston colling jet valve (C dan D)**

Pada saat tekanan pada sistem melebihi gaya pegas maka pegas pada *piston cooling jet*. Setelah pegas terlawan maka katup

pada *piston cooling valve* terbuka dan oli mengalir ke *piston cooling spray* untuk menyemprotkan oli pada dinding silinder dan pada piston. Tetapi pada kendaraan-kendaraan komersial dengan daya mesin kecil *piston cooling jet* tidak ditemukan.



# Sistem pemasukan udara

## A. Konsep Sistem Pemasukan Udara pada Mesin

Sistem pemasukan udara adalah suatu sistem pada motor bakar sebagai upaya memenuhi suplai udara kedalam ruang bakar saat terjadinya pembakaran. Adanya sistem pemasukan udara pada motor bakar akan dapat memenuhi kebutuhan udara dalam pembakaran pada setiap kecepatan mesin. Jumlah udara yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan metode yang diberikan dibawah ini. Langkah pertama adalah menentukan komposisi minyak bakar. Spesifikasi minyak bakar dari analisis laboratorium diberikan dibawah ini:

Tabel 1. Spesifikasi Minyak Bakar

Unsur	% Berat
Karbon	82,9
Hidrogen	12
Oksigen	0,1
Nitrogen	0,5
Sulfur	0,5
H <sub>2</sub> O	0,35
Abu	0,05
GCV bahan bakar	10880 kkal/kg

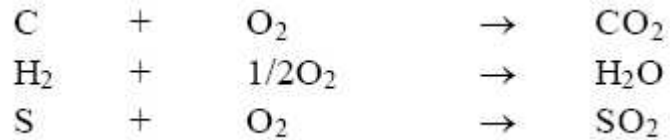
Dari data analisis dengan jumlah sampel minyak bakar adalah 100 kg, maka reaksi kimia adalah sebagai berikut:

Unsur	Berat molekul (kg/kg mol)
C	12
O <sub>2</sub>	32
H <sub>2</sub>	2
S	32
N <sub>2</sub>	28
CO <sub>2</sub>	44



SO <sub>2</sub>	64
H <sub>2</sub> O	18

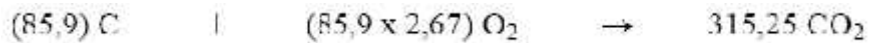
Tabel 2. Reaksi kimia dalam analisis pembakaran



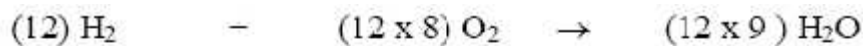
Unsur bahan bakar



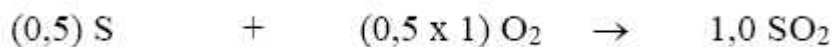
12 kg karbon memerlukan 32 kg oksigen membentuk 44 kg karbon dioksida, oleh karena itu 1 kg karbon memerlukan 32/12 kg atau 2,67 kg oksigen



4 kg hidrogen memerlukan 32 kg oksigen membentuk 36 kg air, oleh karena itu 1 kg hidrogen memerlukan 32/4 kg atau 8 kg oksigen.



32 kg sulfur memerlukan 32 kg oksigen membentuk 64 kg sulfur dioksida, oleh karena itu 1 kg sulfur memerlukan 32/32 kg atau 1 kg oksigen



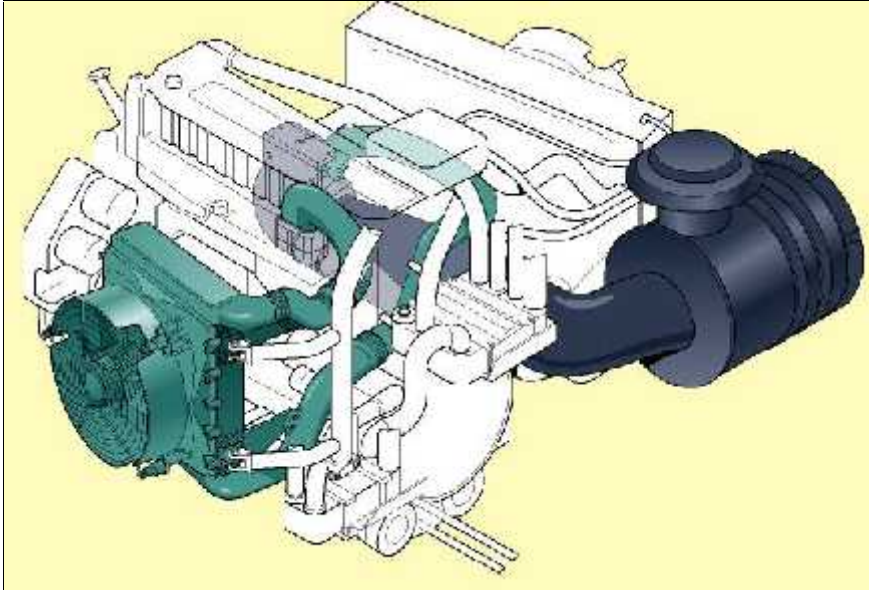
Oksigen total yang dibutuhkan adalah = 325.57 kg  
(229.07 + 96 + 0.5)

Oksigen yang telah ada dan tersedia pada  
100 kg bahan bakar adalah = 0.7 kg  
Jadi, jumlah udara kering yang dibutuhkan  
(udara mengandung 23% berat oksigen) = 324.87/0.23  
= 1412.45 kg udara  
Udara teoritis yang diperlukan adalah = 1412.45/100  
= 14.1245 udara/kg  
bahan bakar

Jadi dari contoh diatas setiap pembakaran 1 kg bahan bakar di butuhkan 14.1245 kg udara. Dari contoh di atas dapat diketahui bahwa pada setiap pembakaran bahan bakar dibutuhkan jumlah udara dengan banyaknya suplai konstan dalam kondisi apapun dan dalam keadaan apapun. Banyak kendaraan masa kini yang memanfaatkan komponen tertentu untuk memompakan udara yang akan disalurkan kedalam ruang bakar. Pada pembahasan awal telah disinggung proses pemasukan udara ke dalam ruang bakar terdapat 3 cara yaitu:

1. *Naturally aspirated*
2. *Turbocharger*
3. *Supercharger (kompresor)*

## B. Komponen-Komponen Sistem Pemasukan Udara

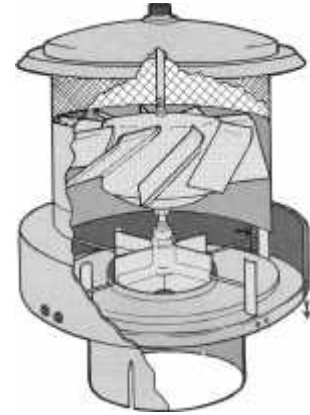


**Gambar 147. Sistem pemasukan udara pada mesin**

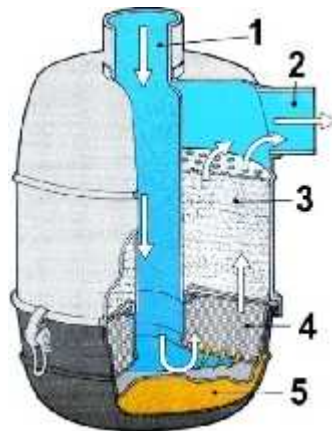
Proses pemasukan udara pada sebuah mesin selalu diawali dengan *pre air cleaner*, saringan udara partikel-partikel yang kasar agar tidak masuk ke dalam ruang bakar. Saat partikel kasar masuk ke dalam ruang bakar akan menyebabkan terjadinya penumpukan kotoran pada dinding silinder atau ruang bakar, karena sifat utama kotoran tidak mampu di bakar secara cepat oleh sistem pembakaran dan dapat menyebabkan terjadinya abu sisa-sisa pembakaran. Secara lengkap komponen-komponen pemasukan udara adalah sebagai berikut:

## 1. Pre Air Cleaner

*Pre air cleaner* adalah komponen yang berfungsi sebagai penyaring partikel-partikel kasar yang terdapat di luar sistem. Pada sebuah mesin *pre air cleaner* biasanya diletakkan pada komponen yang paling luar, karena komponen ini akan memisahkan kotoran yang terbawa udara yang akan masuk ke dalam sistem. Jika aplikasi dari sebuah mesin berada pada tempat-tempat berdebu dan banyak partikel kayu serta dedaunan sebaiknya peralatan sebelum filter udara dipergunakan sebagai pemisah kotoran langsung.



**Gambar 148. Pre air cleaner strainer**



**Gambar 149. Pre air cleaner tipe bath tube**

Udara bersama partikel debu dan kotoran akan masuk melalui lubang (1), dan akan mengalir ke bawah melalui media oli (5) pada saat melalui media oli partikel debu dan kotoran akan tertahan dan udara bersih akan bergerak melewati media spon (4)

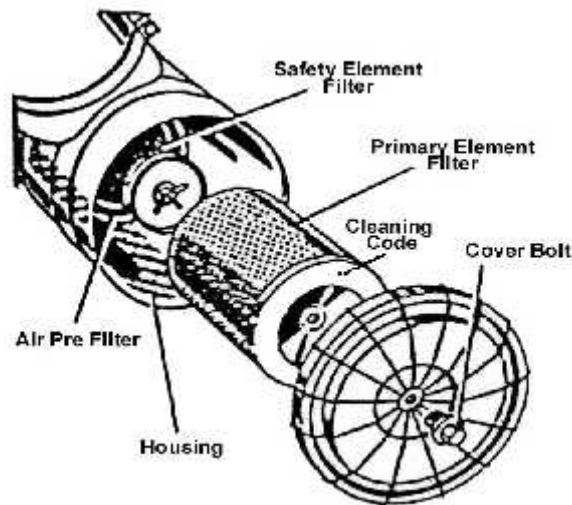
*Pre air cleaner* memiliki dua tipe, yaitu *pre air cleaner strainer* seperti yang terlihat pada gambar di atas, dan *pre air cleaner tipe bath tube*. Tipe *strainer* sangat cocok diaplikasikan pada daerah yang mengandung banyak partikel kasar maupun bram kayu, misalnya kehutanan dan peleburan kayu.

Tipe *bath tube* sangat cocok diterapkan pada daerah yang banyak mengandung debu. Karena pada *bath tube* terdapat media oli yang akan memisahkan udara dan partikel debu.

dan kasa (3) kemudian akan bergerak keluar melalui saluran menuju turbocharger (2).

Proses perawatan pada kedua tipe sebelum filter udara ini sangatlah mudah dan hanya dilakukan pembersihan secara berkala dan penggantian oli sebagai media penyaring partikel debu dan kotoran. Jika oli pada bath tube tidak diganti secara berkala maka dapat menyebabkan terjadinya penumpukan debu dan kotoran pada oli sehingga akan menghambat Bergeraknya udara yang akan menuju kedalam turbocharger.

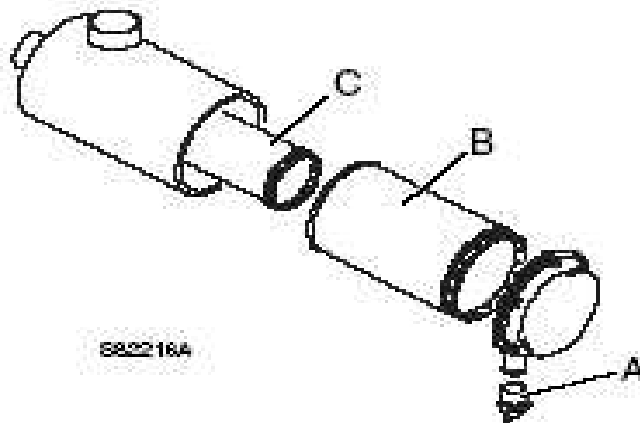
## 2. Saringan Udara (Filter Utama)



**Gambar 150. Saringan udara**

Saringan udara adalah komponen yang memisahkan debu dan kotoran yang tidak mampu disaring oleh sebelum saringan utama. Komponen pada saringan udara terdiri komponen kertas yang memiliki ukuran dalam satuan mikron. Semakin kecil ukuran mikron yang terdapat pada saringan udara maka akan semakin besar tingkat efektivitas penyaringannya. Pada sebagian mesin untuk mendapatkan pola penyaringan udara yang lebih bersih dilengkapi dengan satu elemen saringan udara tambahan dan sering disebut dengan saringan udara sekunder.

Jika saringan saringan udara primer berfungsi sebagai penyaring partikel halus maka saringan udara sekunder mampu menyaring partikel-partikel yang lebih halus, sehingga udara yang akan masuk ke dalam ruang bakar melalui *turbocharger* akan semakin bersih. Proses perawatan dan pengantian pada primer dan sekunder saringan udara biasanya memiliki perbedaan. Dua kali pergantian primer biasanya baru dilakukan pergantian saringan udara scondar.



**Gambar 151. Saringan dara primer dan sekunder**

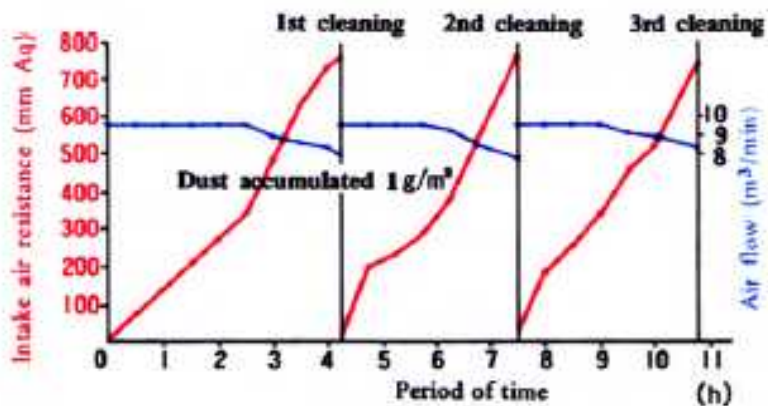
Keterangan gambar:

- A. lubang masuk
- B. primari air cleaner
- C. scondary air cleaner

Pada proses pembersihan antara primer dan sekunder biasanya memiliki karekteristik yang berbeda. Untuk saringan udara primer dapat dilakukan penyemprotan dengan menggunakan udara dari sebuah kompresor dari bagian dalam saringan udara. Sedangkan penyemprotan dari luar sebaiknya dilakukan dengan cara memiringkan gan penyemprot pada bagian bodi saringan udara.

Pada saringan udara sekunder biasanya tidak dilakukan penyemprotan tetapi langsung dilakukan pergantian. Pada saringan udara sekunder ukuran lubang dalam mikron yang terlalu kecil menjadi sangat riskan sekali saat akan dilakukannya penyemprotan. Sangat sering sebuah pabrik merancang saringan udara sekunder di ikatkan dengan sebuah seal sehingga sangat sulit dilakukan penyopotan, tetapi bila bagian seal telah terlepas maka harus dilakukan pergantian. Bagian seal yang lepas akan mempengaruhi kinerja penyaringan pada udara tidak baik.

Kertas yang digunakan pada saringan udara memiliki ukuran tidak lebih dari 5 mikron. Untuk meningkatkan total area bersih dan mengurangi tahanan pada aliran udara, kertas pada saringan udara dimasukkan kedalam sebuah silinder yang dibentuk seperti banyak plat. Meningkatkan tahanan pada saringan udara sama halnya dengan mempercepat terjadinya kebuntuan di dalam saringan udara, sehingga *effisiensi volumetic* di dalam mesin akan menurun serta meningkatkan terjadinya asap hitam yang dihasilkan mesin.



**Gambar 152. Hubungan antara tahanan pada saringan udara dan udara yang mengalir pada saluran masuk**

Diagram di atas menunjukkan semakin tinggi tahanan di dalam saringan udara. Semakin kecil udara yang mampu

dilewatinya, semakin lama saringan udara digunakan haruslah semakin sering saringan udara dibersihkan. Diagram di atas juga menunjukkan semakin lama saringan udara terpasang maka tahanan pada saringan udara akan semakin besar.

### 3. Sistem Pemasakan Udara

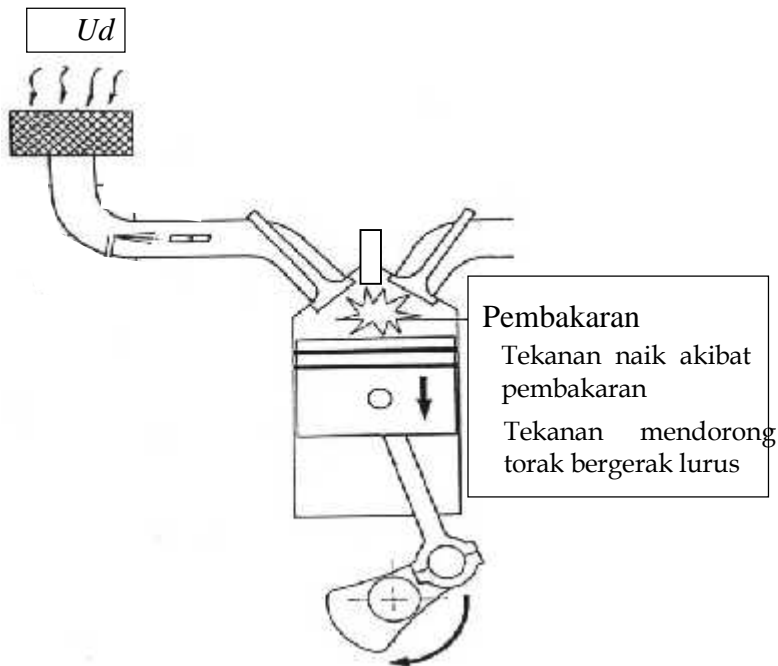
#### a. Natural Aspirated

*Natural aspirated* adalah sistem pemasukan udara pada bahan bakar terjadinya secara alami. Pada *natural aspirated* tidak ada pola khusus pada pengaturan udara yang akan dimasukkan ke dalam ruang bakar sehingga sangat memungkinkan pada saat berjalan pada daerah yang tinggi, daya engine berkurang. Sistem pemasukan udara ke dalam ruang bakar hanya terjadi secara alami karena adanya beda tekan antara diluar sistem dengan tekanan didalam sistem pemasukan udara. Adanya konsep perbedaan tekanan tersebut yang menyebabkan udara mengalir dari luar kedalam seolah-olah ada hisapan dari dalam sistem.

Tekanan udara pada dataran tinggi lebih dari 100 m dari permukaan laut akan mengalami penurunan 1 atm sehingga pada saat kendaraan berada pada ketinggian tersebut, kendaraan membutuhkan udara lebih banyak untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna demi menghasilkan tenaga mesin yang baik dan stabil.

Sistem *naturally aspirated* banyak dipergunakan oleh mesin-mesin komersial dengan daya-daya kecil. Kemudahan desain dan pengontrolan merupakan alasan utama pembuatan mesin dengan *naturally aspirated*. Hanya membutuhkan saringan udara dan saluran menuju saluran masuk mesin sebagai upaya untuk menghasilkan udara yang bersih pada pembakaran di ruang bakar. Tetapi jumlah perbandingan udara dan bahan bakar pada sistem pembakaran tidak dapat dikontrol dengan baik.





Gambar 153. Mesin dengan tipe *natrully aspirated*

**b. Turbocharger**



Gambar 154. Komponen turbocharger

Turbocharger adalah komponen pada sistem pemasukan udara yang berfungsi memompakan udara menuju ke saluran

masuk mesin sehingga pada setiap kecepatan mesin suplai udara yang dibutuhkan untuk pembakaran dalam menghasilkan udara tetap terpenuhi.

Komponen turbocharger terdiri dari ini terbagi 2 bagian utama yang berputar pada satu shaft,yaitu:

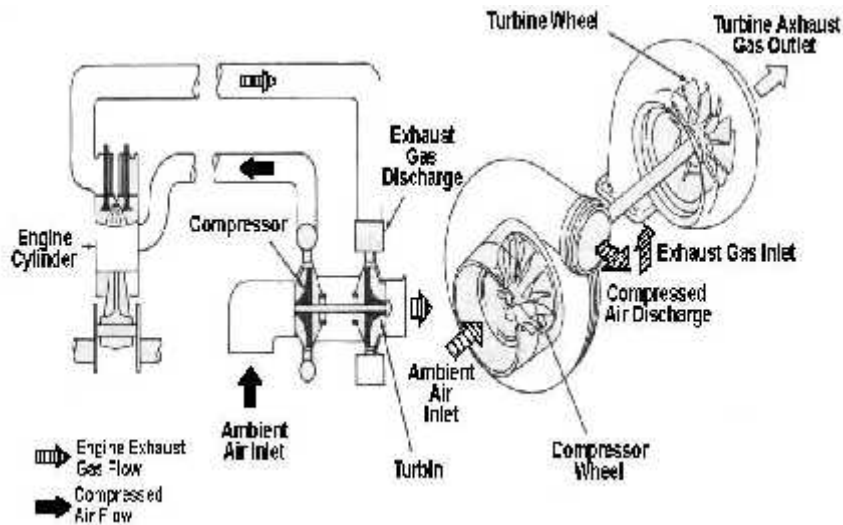
**a. Turbine Wheel,** berputar karena gaya dorong gas sisa hasil pembakaran dari ruang bakar dan selanjutnya dibuang melalui kenalpot. Putaran turbine wheel ini akan berdampak pada putaran impeller wheel karena dua komponen ini didesain pada satu poros. Putaran impeller wheel dengan turbine wheel tidak ada perbedaan karena poros yang menghubungkan keduanya, oli sebagai sealing. Dengan oli sebagai sealing maka gesekan antara poros dengan housing mendekati nol atau tidak ada gesekan yang berarti.

**b. Impeller Wheel,** putarannya akan menghisap udara yang masuk ke dalam silinder melalui saringan udara dan saluran masuk menuju ruang bakar. Semakin cepat putaran mesin akan berdampak pada semakin cepat pula putaran impeller wheel untuk memompakan udara, dengan demikian udara yang akan dipompakan ke dalam ruang bakar juga akan semakin banyak. Kebutuhan perbandingan udara dan bahan bakar saat mesin berada pada putaran tinggi tetap terpenuhi. Terpenuhinya perbandingan udara dan bahan bakar tersebut dapat menyebabkan terjadinya pembakaran pada ruang bakar secara stokiometri untuk mendapatkan daya mesin yang stabil di setiap ketinggian.

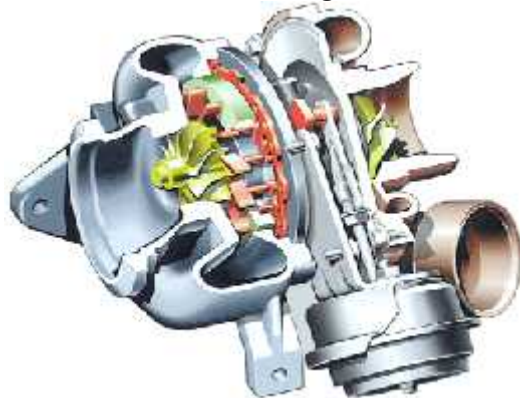
Dengan menggunakan turbocharger, daya mesin dapat ditingkatkan tanpa mengubah ukuran silinder. Seperti terlihat dalam gambar 156, turbocharger digerakkan oleh aliran gas buang. Keuntungan turbocharger dengan cara seperti ini adalah tidak dibutuhkan tambahan tenaga putaran dari mesin untuk menggerakkannya. Gas buang menggerakkan turbin rotor hingga mencapai kecepatan tinggi lebih dari 85.000 RPM pada beban maksimum.

Adapun keuntungan yang didapat pada mesin dengan turbocharger adalah:

1. Daya akselerasi lebih bagus pada saat kecepatan rendah (*response time*).
2. Kenyamanan mengemudi meningkat.
3. Daya serap turbo atas udara secara konstan disesuaikan dengan putaran mesin.
4. Pengendalian suhu lebih baik (tingkat kehandalan).



Gambar 155. Schematic diagram aliran udara dengan Turbocharger



Gambar 156. Turbocharger dengan *variable geomatri turbo*

### c. Supercharger

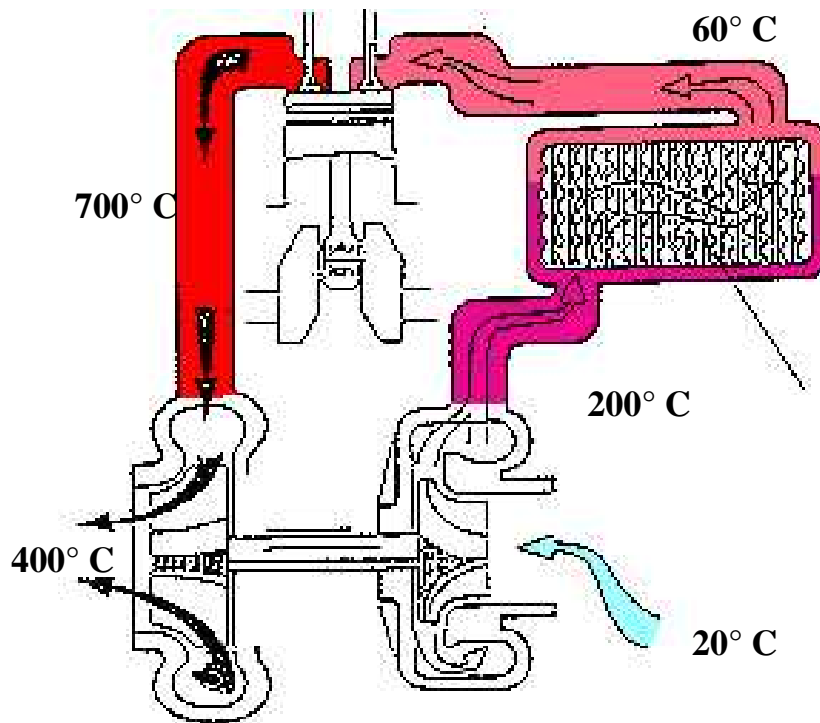
Supercharger adalah sistem pemasukan udara pada ruang bakar dengan memanfaatkan kompresor sebagai pemompa. Biasanya kompresor pada sistem supercharger memanfaatkan putaran mesin sebagai pemutar sistemnya untuk menghisap udara. Dengan demikian, pada sistem supercharger putaran kompresor juga merupakan beban tersendiri bagi engine, sehingga pada perkembangan teknologinya sistem ini mengalami perubahan sehingga sistem pemasukan udara dengan menggunakan supercharger tidak digunakan lagi.

## 4. Intercooler

Intercooler adalah komponen pada sistem pemasukan udara sistem yang digunakan untuk mendinginkan udara sebelum dialirkan ke dalam ruang bakar. Tujuan adanya pendinginan pada intercooler adalah untuk mendapatkan kerapatan molekul-molekul udara, sehingga saat dimasukkan ke dalam ruang bakar jumlah dan kualitasnya lebih baik.

Intercooler biasanya diaplikasikan pada mesin-mesin yang mampu mengeluarkan daya yang besar. Hampir seluruh mesin alat berat menggunakan intercooler untuk mendinginkan udara sebelum masuk ke dalam ruang bakar. Gambar 157 di atas, menjelaskan bahwa sisa-sisa pembakaran akan menggerakkan turbin wheel pada turbocharger dengan suhu berkisar kurang lebih 700°C. Udara yang dipompakan oleh impeller wheel bersuhu kurang lebih 200°C. Meningkatnya suhu pada udara yang keluar dari *impeller wheel* terjadi karena tekanan *impeller wheel* yang panas.

Udara yang bersuhu tinggi tersebut membutuhkan pendinginan agar menghasilkan kerapatan molekul udara, sehingga saat masuk ke dalam ruang bakar perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara terpenuhi demi menghasilkan daya hasil pembakaran tetap stabil disetiap putaran mesin. Bentuk intercooler sama seperti radiator. Tetapi prinsip kerjanya hembusan udara dari kipas mesin atau kipas hidrolis akan menghasilkan tiupan pada intercooler untuk mendinginkan udara didalam intercooler.



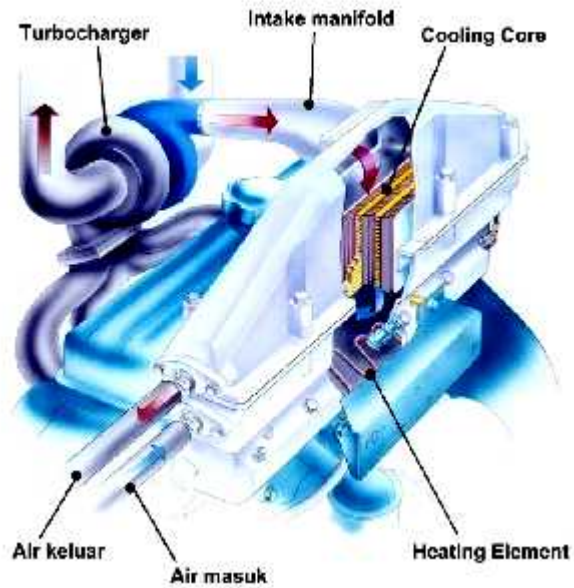
Gambar 157. Intercooler dan model kerjanya.



Gambar 158. Bentuk intercoller pada mesin

## 5. Pemanasan awal (Pre Heating)

Preheating komponen pada sistem pemasukan udara yang berfungsi sebagai pemanas awal sebelum udara mengalir ke dalam ruang bakar. Tujuan pemanasan awal dilakukan untuk mempermudah terjadinya pembakaran di dalam ruang bakar. Komponen pemanas awal adalah sebuah elemen pemanas yang di aliri tegangan batrai sebesar 12 V.

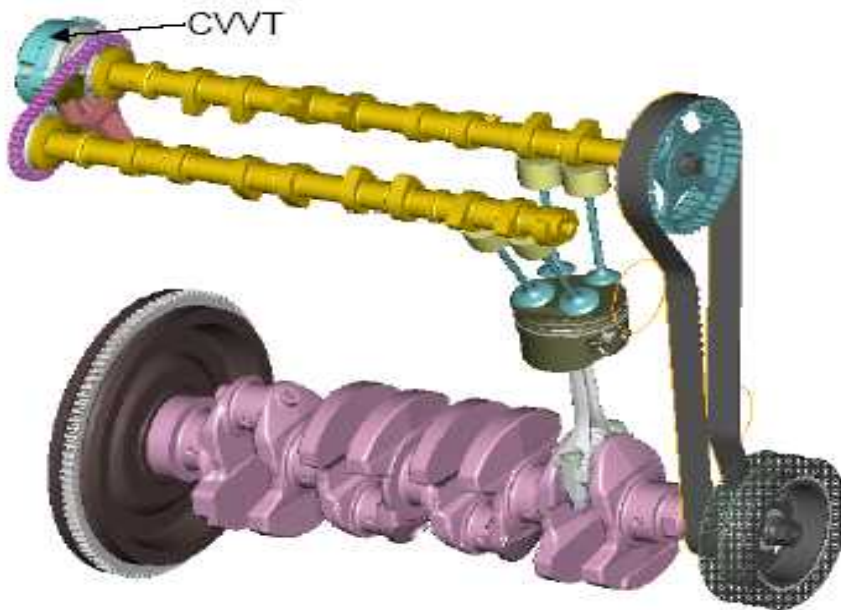


Gambar 159. Pemanas awal pada sebuah mesin

Tidak semua mesin menggunakan elemen pemanas sebagai media pemanasan awal. Aplikasi pemanasan biasanya memperhatikan suhu lingkungan. Pada suhu lingkungan mencapai suhu dibawah 0 °C, sebaiknya elemen pemanas dipergunakan. Di daerah-daerah tropis biasanya fungsi dari elemen pemanas ini tidak dan bahkan fungsinya di matikan.

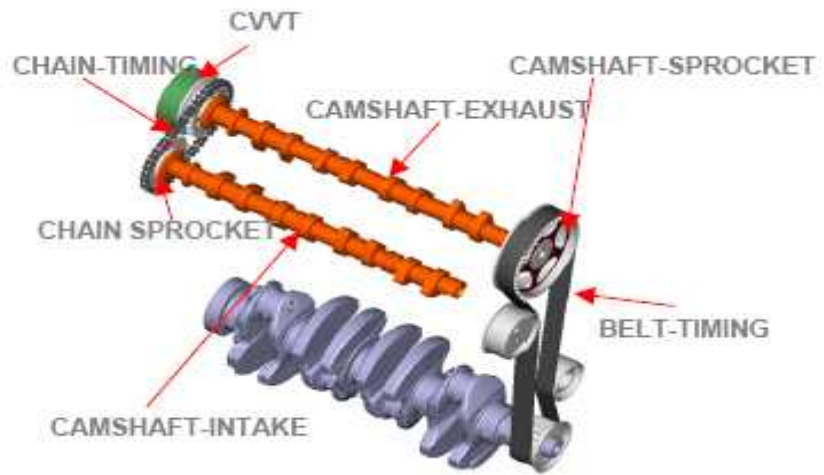
## C. Variable Valve Timing (VVT)

Proses pemasukan udara ke dalam ruang bakar pada motor bensin memiliki berbagai macam metode, dengan berbagai macam karakteristik seperti *Variable Valve Timing Intelligence* (VVTI) pada Toyota, *Continuously variable valve timing* (CVVT) pada Hyundai, V-TEC pada Honda dan lain sebagainya. Pada dasarnya sistem ini digunakan sebagai pengontrol pembukaan dan penutupan katup intake untuk meningkatkan performa mesin. *Intake valve timing* dioptimalkan oleh sistem ini berdasarkan putaran mesin.



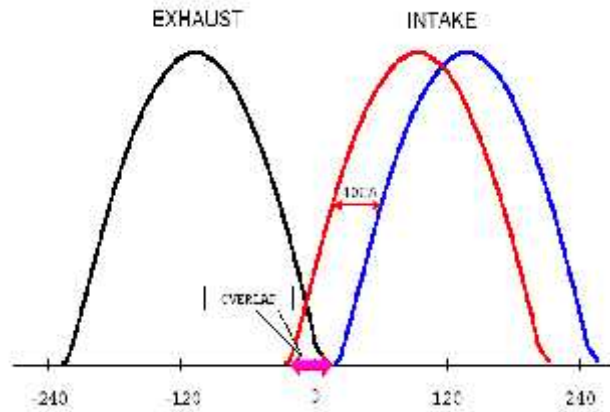
**Gambar 160. Sistem CVVT**

Gaya putar dari poros engkol disalurkan ke poros engkol melalui sabuk timing, sedangkan gaya putar yang akan menuju ke saluran masuk poros engkol melalui rantai timing. Sistem ini akan memberikan kesamaan putaran antara katup poros cam dan *camshaft valve intake*. Persamaan putaran ini akan memberikan keuntungan pada saat langkah pembilasan.



Gambar 161. Komponen pada CVVT

saat langkah pembilasan kedua katup terbuka, katup masuk akan memasukkan udara. Udara yang masuk akan dimanfaatkan untuk mendorong sisa-sisa hasil pembakaran. Pada saat terjadinya pembilasan gas buang terdorong dan keluar melalui saluran buang. Panjangnya langkah pembilasan tergantung dengan lamanya pembukaan katup buang saat terjadinya langkah hisap.

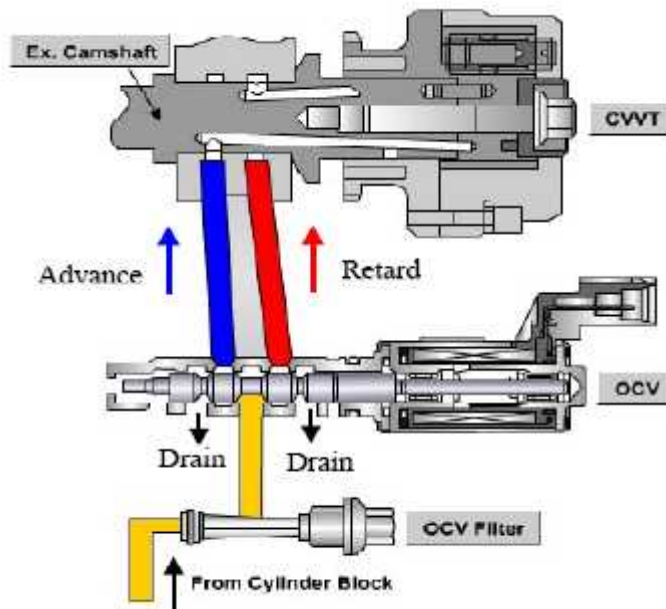


Gambar 162. Saat terjadi *overlapping*



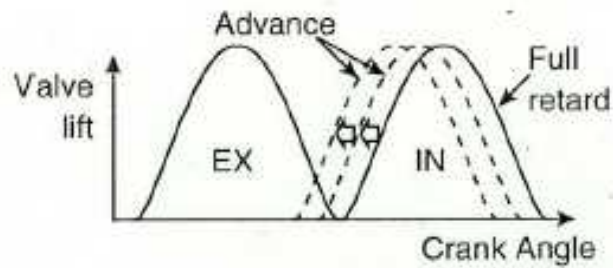
Gambar 163 di atas menunjukkan saat terjadinya udara masuk ke dalam ruang bakar. Garis warna merah menunjukkan katup hisap terbuka sebelum katup buang tertutup. Pada saat katup hisap terbuka berarti akan ada langkah pembilasan sehingga kinerja mesin lebih baik.

Pada proses kerjanya berdasarkan putaran mesin untuk mengatur suplai udara adalah ruang bakar pada sistem CVVT terdapat dua saluran oli yang akan mengaktifkan sistem pengatur pemasukan udara untuk menutup dan membuka saluran katup masuk kedua saluran tersebut diterangkan pada gambar dibawah.



**Gambar 163. Bagian CVVT**

Kedua saluran oli ini akan menentukan derajat pembukaan katup masuk. Pada saat mesin berada pada putaran tinggi pembukaan katup masuk diatur sedemikian rupa sehingga saat pembilasan dan masuknya udara untuk memenuhi pembakaran pada ruang bakar tetap tersuplai dengan baik. Perhatikan diagram dibawah ini.



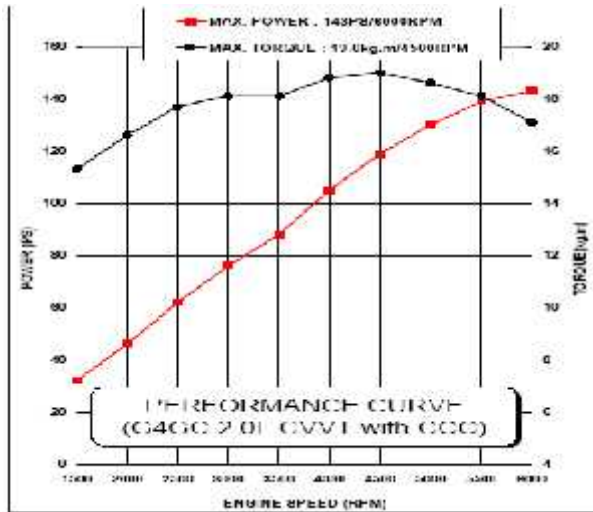
**Gambar 164. Pengaturan pembukaan katup masuk**

Saat mesin berada pada kondisi beban ringan *retarded* aktif, sehingga katup masuk akan bekerja seperti biasa tanpa membukanya dipercepat untuk memasukkan udara lebih banyak ke dalam ruang bakar. Tujuan saat katup masuk tidak dipercepat pembukaannya adalah untuk memberikan efek stabilitas dalam pembakaran, sehingga proses pembakaran tetap stabil dan performa mesin tetap baik. Selengkapnya dapat diperhatikan pada tabel di bawah ini.

Driving condition	Intake valve Timing	Efficiency
Beban ringan	Retard	Pembakaran yang setabil
Beban berat dan putaran tinggi	Retard	Meningkatkan performa
Beban berat dan kecepatan rendah	Advance	Meningkatkan efisiensi
Saat kondisi menengah	Advance	Memperkecil konsumsi bahan bakar

Tabel 3. sistem kerja dari *advance* dan *retard* pada CVVT

Sementara performa mesin yang ditimbulkan oleh sistem CVVT ini terlihat pada tabel di bawah diagram dibawah ini.

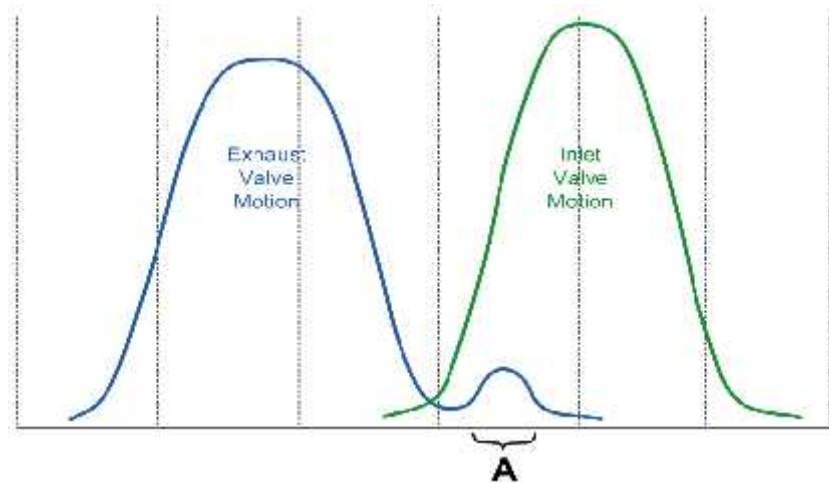


**Gambar 165. Kurva performa pada mesin CVVT**

Pada gambar di atas ditunjukkan bahwa, semakin tinggi putaran mesin maka daya akan semakin rendah sementara tenaga mesin akan meningkat. Keuntungan yang didapatkan pada penerapan sistem CVVT adalah konsumsi bahan bakar yang lebih irit karena berkurangnya daya pemompaan yang disebabkan adanya peningkatan *valve overlap*.

## D. Sistem Pengendali Gas Buang (EGR)

EGR adalah komponen yang akan mereduksi terjadinya pembuangan sisa-sisa pembakaran untuk dimanfaatkan pada penambahan pemanas pada pembakaran guna mereduksi terjadinya panas yang berlebihan pada ruang bakar. EGR digunakan sebagai komponen yang berfungsi untuk mereduksi emisi gas buang ( $\text{No}_x$ ) secara berlebih-lebihan yang ditimbulkan oleh temperatur pembakaran pada ruang bakar.



**Gambar 166. Skema katup masuk dan buang**

Huruf A diatas menunjukkan terjadinya pembukaan pada katup buang untuk memasukkan kembali gas hasil pembakaran di dalam ruang bakar. Aktifnya EGR didalam sebuah mesin diatur oleh sistem controler (ECU). Karena sistem kontroler yang mengatur tingkat akurasiya sangat tinggi, sehingga tidak terjadi keterlambatan atau terlalu cepat IEGR membuka untuk menjaga emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan tetap setabil sesuai dengan regulasi emisi desain engine tersebut.

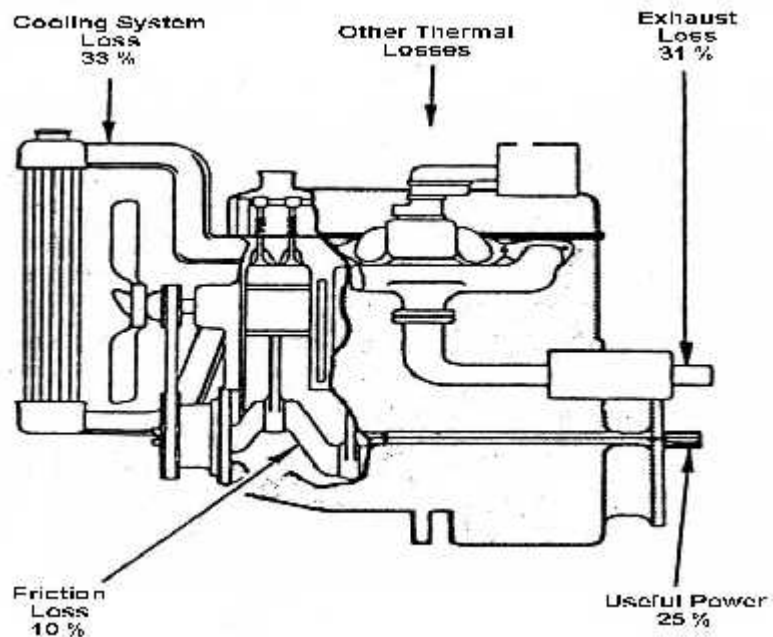
# Sistem pendinginan

## A. Dasar – Dasar Sistem Kerja Sistem Pendingin Mesin

Dalam mengemudi kendaraan tidak jarang akan melalui sebuah hambatan dalam perjalanan, baik melalui hambatan jalan, kemacetan, serta lamanya mesin berada dalam kondisi hidup, sehingga menyebabkan temperatur mesin menjadi meningkat dan bahkan dapat melampaui batas panas mesin. Untuk mengantisipasi terjadinya kelebihan panas (*overheating*) pada mesin, mesin dilengkapi dengan sistem pendingin. Sistem pendingin pada mesin memiliki fungsi utama yaitu:

1. Mempercepat tercapainya suhu kerja mesin
2. Menjaga suhu kerja mesin
3. Mecegah terjadinya kelebihan panas pada mesin

Panas yang dihasilkan saat terjadinya pembakaran dapat mencapai 3000 °F (1560 °C), panas yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya perubahan komposisi komponen. Dilain sisi, panas pada mesin dipergunakan 33 % hilang karena pendinginan. Banyaknya panas yang hilang pada berbagai sistem tersebut sehingga hanya 25% tenaga hasil pembakaran di pergunakan untuk kerja, selebihnya dipergunakan untuk kehilangan panas pada sistem yang lain, seperti getaran dan gesekan dan lainnya. Jika sistem pendinginan di dalam mesin ditiadakan, komponen-komponen pada mesin riskan untuk terjadi kerusakan. Perhatikan gambar di bawah:



**Gambar 167. Kerugian pada mesin**

Jenis sistem pendinginan pada mesin diantaranya adalah pendinginan dengan memanfaatkan air, udara, minyak atau kombinasi antara udara dan angin. Kesemua fluida tersebut memiliki spesifikasi berbagai macam sesuai dengan kesesuaiannya aplikasi pada sistem pendinginan tersebut. Pada kendaraan bermotor sistem pendinginan biasanya selain menggunakan oli yang berfungsi sebagai pelumas dan pendingin juga memanfaatkan udara sebagai pendinginan dari luar.

Sedangkan pada kendaraan-kendaraan dengan daya yang besar pada umumnya memanfaatkan fluida air sebagai pendingin. Adapun keuntungan dari fluida air yang dipergunakan pada sistem pendinginan antara lain adalah:

- a. Ketersediaan di alam lebih banyak
- b. Perawatan lebih mudah

- c. Memiliki karakteristik pendinginan lebih merata kesemua komponen mesin
- d. Mengurangi kebisingan

## B. Komponen Sistem Pendingin

### 1. Prinsip perpindahan panas

Kesiapan kerja Komponen-komponen pada sistem pendingin merupakan titik tolak pada sebuah kerja sistem pendingin, jika salah satu komponen pada sistem pendingin tidak bekerja maka proses pendinginan pada engine tidak berjalan dengan baik. Radiator adalah alat penukar panas yang dapat berfungsi sebagai pendingin suhu kerja mesin. Ketika suhu kerja mesin mencapai 95°C, radiator berfungsi sebagai pembuang panas ke udara luar dengan bantuan sebuah kipas radiator. Besarnya nilai pembuangan panas pada radiator adalah suatu nilai yang menunjukkan besarnya panas air radiator yang dapat dibuang ke udara luar. Persamaan yang dipergunakan untuk menghitung banyaknya udara yang di buang menuju udara luar adalah :

$$q = m.Cp(T_{in} - T_{out})$$

Keterangan :

- q = Laju perpindahan panas (W)
- m = Laju aliran massa air (Kg/s)
- Cp = Panas spesifik air (Kj/kg°C)
- T<sub>in</sub> = Besarnya suhu air yang masuk radiator (K)
- T<sub>out</sub> = Besarnya suhu air yang keluar radiator (K)

Adapun cara-cara perpindahan panas pada suatu zat dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan energi dari satu tempat ke tempat yang lain karena adanya perbedaan suhu dari kedua zat tersebut. Secara umum terdapat tiga metode dalam perpindahan panas antara lain:

### a. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas dari media baik padat maupun cain yang diam sebagai akibat dari terjadinya perbedaan suhu zat itu sendiri. Kejadian perpindahan panas tersebut juga dapat di artikan terjadinya perpindahan panas dari satu partikel ke partikel yang lain pada benda akibat terjadinya interaksi antara molekul-molekul pada benda tersebut.

Khreith (1973) menjelaskan proses perpindahan panas secara konduksi bila dilihat secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), dimana partikel yang energinya rendah dapat meningkat dengan menumbuk partikel dengan energi yang lebih tinggi. Untuk perpindahan panas secara konduksi, setiap material mempunyai nilai konduktivitas panas ( $k$ ) [Btu/hr ft F], yang mempengaruhi besar perpindahan panas yang dilakukan pada suatu material.

Temperature lebih tinggi berarti memindahkan molekul yang lebih berenergi pada benda yang memiliki suhu lebih rendah. Jika terjadi pada dinding dasar laju perpindahan energi satu dimensi dapat di dihitung dengan persamaan:

$$Q_{Kond} = -K.A.dT / dx$$

Dimana :

$Q_{Kond}$  = Besar laju perpindahan panas (W)

$K$  = konduktivitas termal bahan (W/m.K)

$dT/dx$  = Temperatur gradient

$A$  = Lulusan permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )

(-) = Perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperature yang lebih rendah

### b. Konveksi

Kreith (1973) menjelaskan apabila panas berpindah dengan cara gerakan partikel yang telah dipanaskan dikatakan perpindahan panas secara konveksi. Bila perpindahannya dikarenakan



perbedaan kerapatan disebut konveksi alami (*Free Convection*) dan bila didorong, misal dengan *fan* atau pompa disebut konveksi paksa (*Forced Convection*). Besarnya perpindahan panas secara konveksi tergantung pada :

1. Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida (A).
2. Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida (DT),
3. Koefisien konveksi (h), yang tergantung pada:
  - a. Viscositas fluida ( $\mu$ )
  - b. Kecepatan fluida ( $v$ )
  - c. Perbedaan suhu antara permukaan ( $^{\circ}\text{K}$ )
  - d. Kapasitas panas fluida (Cp)
  - e. Rapat massa fluida.

1. Konveksi bebas (*free convection*)

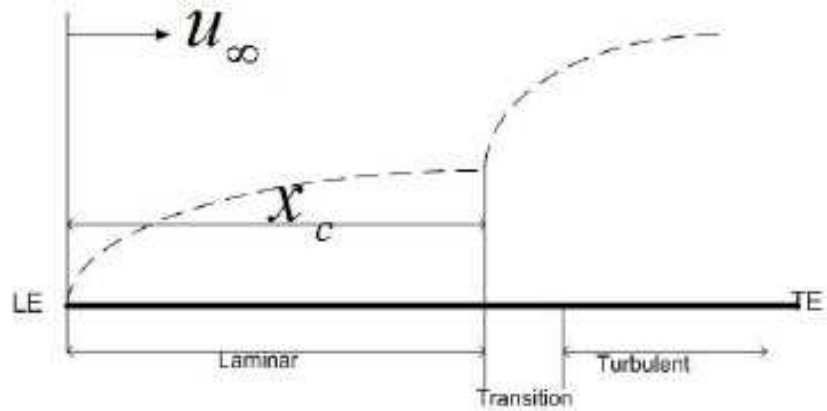
Konveksi bebas atau konveksi natural dimana aliran fluida terjadi bukan karena dipaksa oleh suatu alat, tetapi karena gaya apung (*buoyancy force*) yang terjadi pada benda tersebut.

2. Konveksi paksa (*force convection*)

Konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi dimana aliran fluida dipaksa oleh satu peralatan bantu seperti kipas, blower dan lainnya.

3. Konveksi dengan perubahan fase

Konveksi dengan perubahan fase adalah suatu perpindahan yang terjadi seperti pada pendidihan (*boiling*) dan pengembunan (*kondensasi*) Aliran fluida pada plat datar. Terdapat dua jenis aliran yang mengalir pada plat datar yaitu laminar dan turbulen. Kedua jenis aliran ini berpengaruh terhadap besar perpindahan panas yang terjadi.



**Gambar 168. Aliran pada plat datar**

Laksana (2008) menjelaskan untuk mengetahui perpindahan panas pada aliran laminar, harus diketahui panjang aliran laminar terlebih dahulu, dimana panjang aliran laminar tersebut dipengaruhi oleh nilai kinematik viskositas ( $\nu$ ), Reynold number dan kecepatan aliran udara. Nilai Reynold number pada aliran laminar bernilai sekitar  $2 \times 10^5$ .

$$x_c = \frac{\nu \cdot Re_c}{U_\infty}$$

Maka besar koefisien perpindahan panas secara konveksi untuk sepanjang aliran laminar atau lokal adalah:

$$\bar{h}_c = 0,664 \left[ \frac{k}{x_c} \right] pr^{1/3} \cdot Re_c^{1/2}$$

Untuk menghitung perpindahan panas keseluruhan atau sepanjang  $L$ , maka harus ditentukan dulu nilai Reynold number sepanjang plat ( $ReL$ ) dan koefisien perpindahan panas konveksi keseluruhan ( $Lh$ ).

$$\text{Re}_L = \frac{U_\infty L}{\nu}$$

Koefisien perpindahan panas rata-rata sepanjang plat dengan mengabaikan koreksi viskositas menurut "Withaker" dan untuk memepertahankan ketergantungan sifat-sifat fluida terhadap suhu, maka nilai koefisien perpindahan panas dapat diperoleh:

$$\bar{h}_L = 0,036 \left[ \frac{k}{x_L} \right] \text{Pr}^{0,43} (\text{Re}_L^{0,8} - 9200)$$

### c. Radiasi

Yang dimaksud dengan pancaran (radiasi) ialah perpindahan panas melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan panas, Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan panas radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Terdapat dua teori yang berbeda untuk menerangkan bagaimana proses radiasi itu terjadi. Semua bahan pada suhu mutlak tertentu akan menyinari sejumlah energi panas tertentu. Semakin tinggi suhu bahan tadi maka semakin tinggi pula energi panas yang disinarkan. Proses radiasi adalah fenomena permukaan.

Proses perpindahan panas secara radiasi (pancaran) adalah suatu proses perpindahan energi panas yang terjadi dari benda yang bersuhu tinggi menuju benda dengan temperatur yang lebih rendah tanpa melalui suatu medium perantara, misalkan benda-benda tersebut terpisah dalam ruang atau bahkan bila terdapat suatu ruang hampa udara.

Proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Tetapi permukaan bahan yang menerima sinar, maka banyak hal yang boleh terjadi, apabila sejumlah energi panas menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke

dalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan panas radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan.

Pada proses radiasi, energi panas diubah menjadi energi radiasi. Energi ini termuat dalam gelombang elektromagnetik, khususnya daerah inframerah (700 - 1000  $\mu\text{m}$ ). Saat gelombang elektromagnetik tersebut berinteraksi dengan materi energi radiasi berubah menjadi energi termal. Untuk benda hitam, radiasi termal yang dipancarkan per satuan waktu per satuan luas pada temperatur T kelvin adalah :

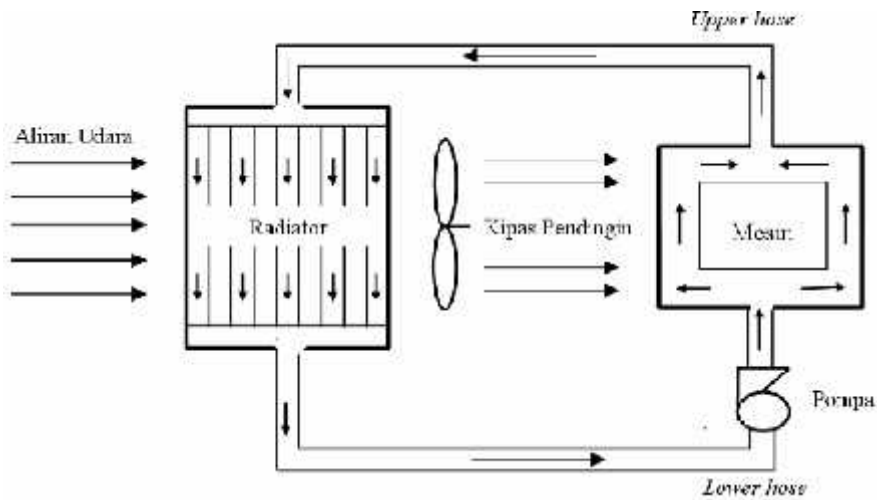
$$E = e\sigma T^4.$$

dimana  $\sigma$  : konstanta Boltzmann :  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \text{ K}^4$ .

e : emitansi ( $0 \leq e \leq 1$ )

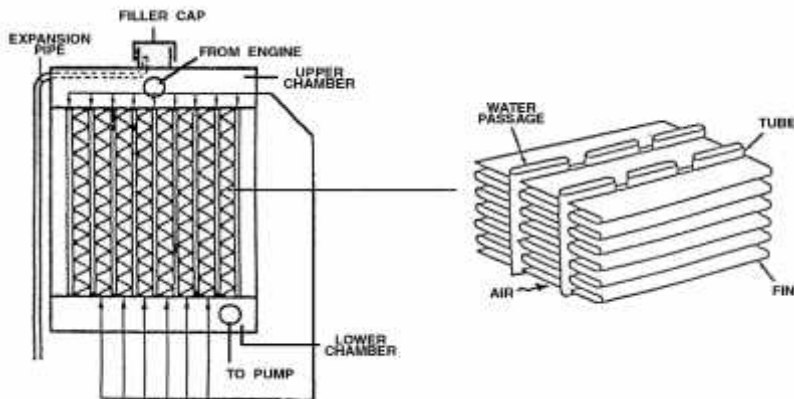
## 2. Radiator Sebagai Pembuang Panas Mesin

Panas pada mesin dihasilkan kerana pembakaran yang terjadi pada ruang bakar. Suhu hasil pembakaran akan dipindahkan secara konduksi melalui dinding silinder dan di serap oleh air pendingin. Adanya perpindahan panas dari dinding silinder menuju ke air pendingin menyebabkan air pendingin menjadi panas. Seiring dengan pembuangan kerja pompa yang akan selalu memompakan air untuk mendinginkan mesin, menyebabkan air yang telah menyerap panas dari hasil pembakaran bersirkulasi menuju radiator untuk proses pendinginan. Perhatikan prinsip kerja penyerapan dan pembuangan panas pada gambar dibawah ini:



**Gambar 169. Prinsip kerja sistem pendinginan pada mesin**

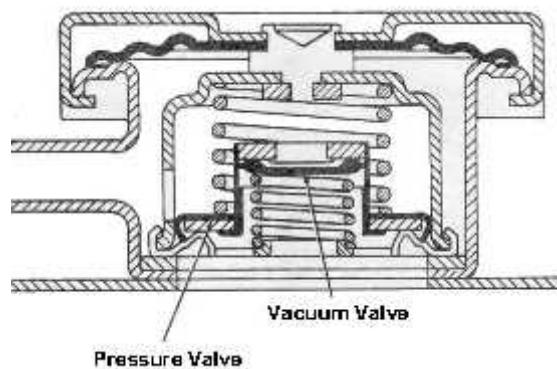
Proses kerja sistem pendinginan sesuai dengan gambar 171 di atas adalah, panas pada mesin dari ruang bakar akan diserap oleh air pendingin, selanjutnya air pendingin akan mengalir menuju radiator untuk proses pendinginan. Setelah pendinginan tercapai air mengalir kedalam mesin kembali dengan bantuan pompa air sebagai pengalirnya.



**Gambar 170. Sirip-sirip pada radiator**

Air dari luar akan diserap oleh kipas dan melewati sirip-sirip pendinginan pada radiator. Selain itu, tiupan udara dari kipas juga akan terhembus untuk mendinginkan mesin. Suhu air yang keluar radiator setelah melewati sirip-sirip pendingin mencapai 60 °C. Pada proses pelepasan panas pada sirip-sirip radiator lebih cepat terjadi pelepasan panas karena air dipaksa memasuki bagian-bagian sirip yang sangat kecil serta ditiupkan udara untuk proses pendinginannya.

Untuk menjaga tekanan pada sistem pendingin tetap stabil serta agar tidak terjadi kevakuman pada sistem pendinginan maka pada tutup radiator (*radiator cap*) dilengkapi dengan *relief valve* dan *vakum valve* yang akan membuka pada saat terjadi kevakuman pada sistem atau kelebihan tekanan pada sistem sehingga tekanan pada sistem pendinginan tetap konstant. Perhatikan gambar tutup radiator di bawah ini:



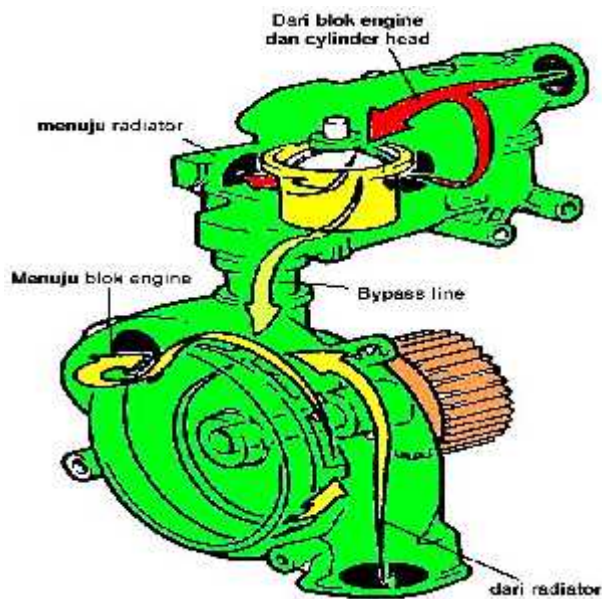
**Gambar 171. Tutup radiator**

### **3. Thermostat**

Secara prinsip air pendingin mengalir menuju radiator bila suhu kerja mesin telah tercapai. Pada sistem pendinginan selalu dilengkapi sebuah komponen yang akan mengatur suhu kerja mesin. Pada prinsip pembakaran untuk menghasilkan tenaga, semakin kecil panas yang terbuang melalui pendinginan maka akan semakin besar panas yang dapat dimanfaatkan sebagai daya hasil

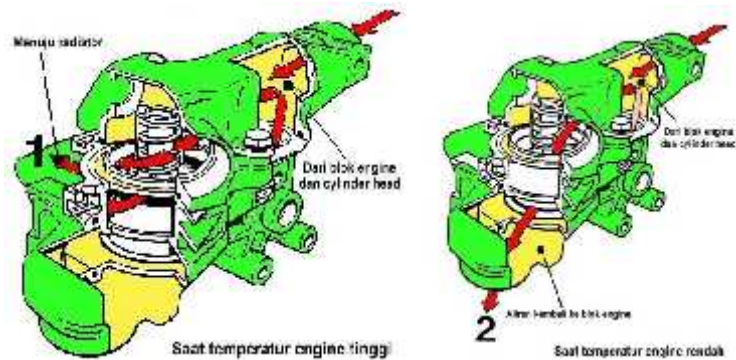
pembakaran. Tetapi bila dilihat dari sisi ketahanan komponen serta struktur kimia pada sebuah komponen panas yang berlebihan akan menyebabkan komponen memiliki kekuatan yang tidak baik.

Pada sistem pendinginan di sebuah mesin dilengkapi thermostat yang di gunakan sebagai pengatur suhu kerja mesin. tujuan sebuah mesin dilengkapi dengan thermostat adalah sebagai penahan air pendingin pada suhu rendah agar cepat mencapai suhu kerja mesin antara 70-90 °C. Thermostat akan membuka saluran air pendingin dari mesin ke radiator setelah suhu air pendingin pada mesin mencapai suhu kerja.



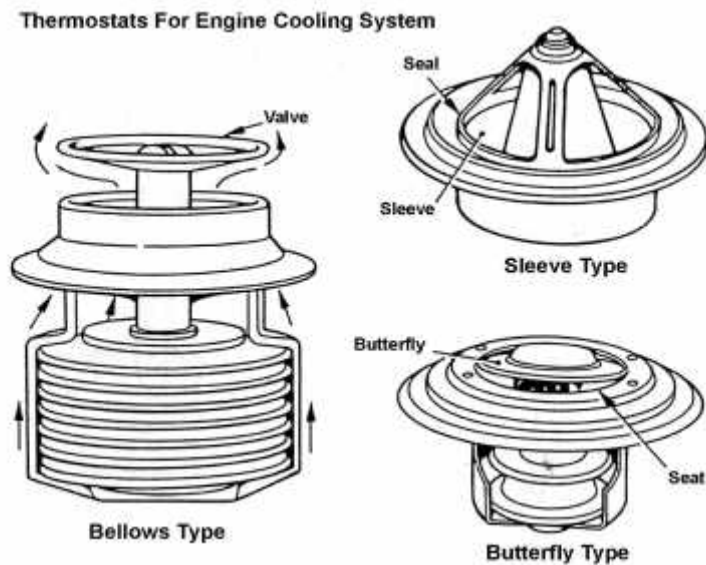
**Gambar 172. Prinsip kerja thermostat**

Pada saat suhu mesin masih di bawah suhu kerja thermostat tetap tertutup, sehingga air pendingin mengalir melalui *bypass line* dan mengalir menuju *silinder block* kembali. Tujuan perputaran air pendingin setelah kepala silinder melalui *bypass line* menuju blok silinder kembali adalah untuk mempercepat tercapainya suhu kerja mesin.



Gambar 173. Pembukaan pada thermostat

Pada saat suhu mesin mencapai suhu, kerja thermostat akan membuka dan air pendingin yang panas dari kepala silinder masuk menuju radiator untuk proses pendinginan. Thermostat memiliki tiga jenis yaitu *bellow*, *sleeve* dan *butterfly*. Adapun bentuk masing-masing jenis thermostat tersebut adalah sebagai berikut:



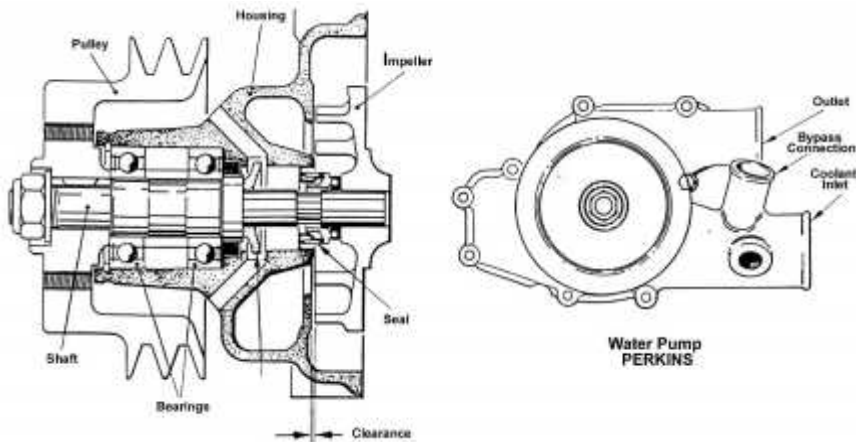
Gambar 174. Tipe-tipe thermostat



## 4. Pompa Air

Pompa air adalah komponen pada sistem pendinginan yang berfungsi sebagai bagian yang mensirkulasikan air, baik menuju ke sistem yang terdapat jalur pendinginan dan membutuhkan pendinginan. Bentuk pompa air pada sebuah sistem pendinginan adalah pompa sentrifugal (*non positif displacemant*). Artinya pompa sentrifugal menghasilkan aliran yang tetap sesuai dengan puratan mesin.

Putaran untuk menggerakkan pompa sehingga menghasilkan aliran pada sistem mesin adalah diputar oleh crankshaft melalui pully atau *idle gear*, sehingga putaran mesin akan berpengaruh pada kecepatan aliran yang dihasilkan oleh pompa.



Gambar 175. Pompa pada sistem pendingin

# VII

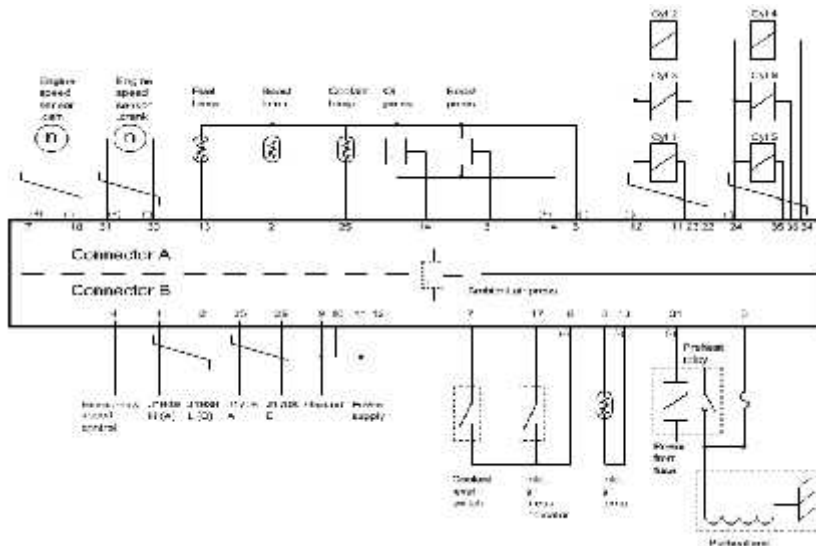
## Sistem Kontrol Kelistrikan Mesin Diesel

### A. Sistem Umum Kontrol Kelistrikan Mesin

Proses pembakaran dalam ruang bakar akan menghasilkan putaran yang diteruskan melalui poros engkol menuju poros cam untuk diteruskan menuju sistem pemindah tenaga hingga menuju roda. Tenaga dalam bentuk putaran yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran dalam ruang bakar. Campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar untuk menghasilkan pembakaran serta ketepatan saat pembakaran sesuai dengan putaran mesin adalah kunci utama untuk menghasilkan daya.

Selain daya yang dihasilkan dan emisi yang dihasilkan oleh pembakaran sekarang menjadi fokus utama. Seiring dengan kondisi pemanasan global dan pencemaran lingkungan, kontrol sistem emisi yang dihasilkan pembakaran banyak diperhatikan oleh semua pemerhati lingkungan. Untuk mendapatkan sistem emisi dan daya yang dihasilkan sesuai dengan putaran mesin, teknologi yang dikembangkan saat ini adalah melakukan pengontrolan kinerja mesin.

Sistem pengontrolan elektronik dapat memberikan pengaturan yang lebih akurat sesuai dengan kondisi mesin. Penyemprotan bahan bakar pada waktu dan pada silinder yang tepat memberikan efek pembakaran yang lebih baik. *Engine Managemen Sistem* (EMS) merupakan sistem pengaturan sistem kelistrikan pada mesin yang di atur oleh sebuah *Engine Electronic Control Unit* (EECU). Perhatikan sistem EECU di bawah ini:



Gambar 176. EECU dan sensor

EECU dilengkapi sensor-sensor yang memberikan informasi serta mendapatkan perintah dari ECU untuk melakukan pengaturan pada mesin. Pada saat mesin bekerja, sensor yang memberikan informasi pada EECU memberikan informasi tentang kerja mesin. Sedangkan beberapa sensor diberikan sensor untuk mengatur kerja mesin sesuai dengan kondisi kerja mesin sesuai dengan perintah operator.

## B. Jenis dan kerja Sensor

Konsep kerja sensor pada sebuah sistem ECU memiliki konsep sama dengan thermistor. Thermistor memiliki dua jenis yaitu:

### 1. NTC (*Negative temperature Coefficient*) thermistor

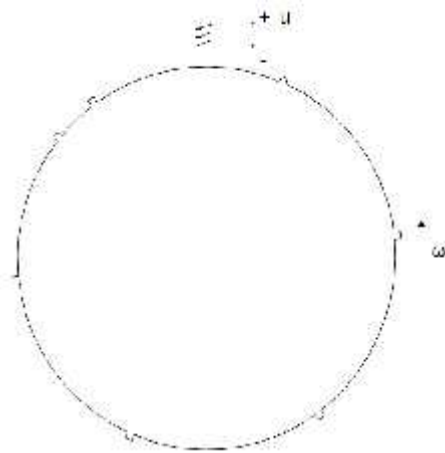
NTC memiliki prinsip kerja pada saat suhu meningkat maka hambatannya akan menurun. Jika hambatan thermistor menurun maka kemampuan arus yang mampu melewatinya akan semakin besar. Dengan demikian supply arus akan semakin besar pada sebuah komponen saat suhu meningkat.

2. PTC ( *Positive temperature Coefficient* ) thermistor  
PTC thermistor memiliki prinsip kerja dimana pada saat suhu meningkat maka nilai hambatan pada termistor akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai hambatan pada thermistor akan menurunkan arus yang menuju sistem melewati thermistor.

Kerja sensor dalam sebuah ECU memberikan informasi kepada ECU dengan memvariasikan nilai arus yang masuk pada ECU. ECU akan membaca besarnya arus yang masuk untuk di olah dan memberikan perintah untuk kerja yang lainnya. Jika terdapat kerusakan pada sensor maka dipastikan ECU juga akan memberikan informasi pada sensor lain tidak akurat sesuai dengan kerja mesin. Sangat mudah dilakukan pendeteksian dengan melakukan pengukuran antara tegangan, hambatan dan arus yang menuju ke ECU untuk memecahkan permasalahan jika terjadi kerusakan pada sistem ECU. Ada pun beberapa yang terdapat pada sistem ECU adalah sebagai berikut:

### **1. Engine Speeds Control (Camshaft Position Sensor)**

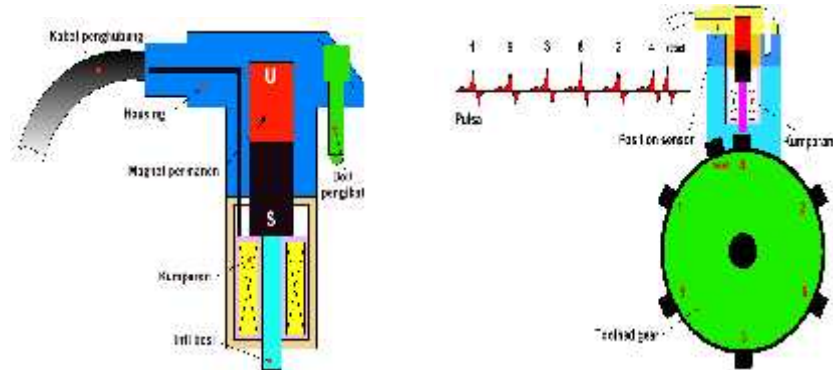
*Camshaft position sensor* adalah sensor yang bekerja memberikan indikasi kepada ECU tentang silinder mana yang akan terjadi kompresi, sehingga ECU akan memberikan masukan arus menuju solenoid untuk menutup aliran bahan bakar yang menuju ke *return line* (kembali ketanki) sehingga bahan bakar tersembrotkan kedalam ruang bakar untuk pembakaran.



**Gambar 177. Camshaft speeds sensor**

Pada *camshaft speeds sensor* terdapat 7 (untuk engine 6 silinder) *toothed gear* (puncak) yang masing-masingnya terbagi dalam  $60^{\circ}$  untuk bekerja, dan satu  $27^{\circ}$  sebagai kembali ke awal (*resert*). Urutan pananda sesuai dengan urutan perintah pembakaran (FO) pada mesin. Gambar 178 di atas menunjukkan pananda pada mesin 6 silinder. Urutan pananda silinder sesuai dengan perintah pembakaran adalah 1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4 dan setelah itu kembali keawal. Pada saat sensor berada pada posisi kembali ke awal berarti ECU akan membaca urutan pembakaran kembali dimulai dari silinder satu.

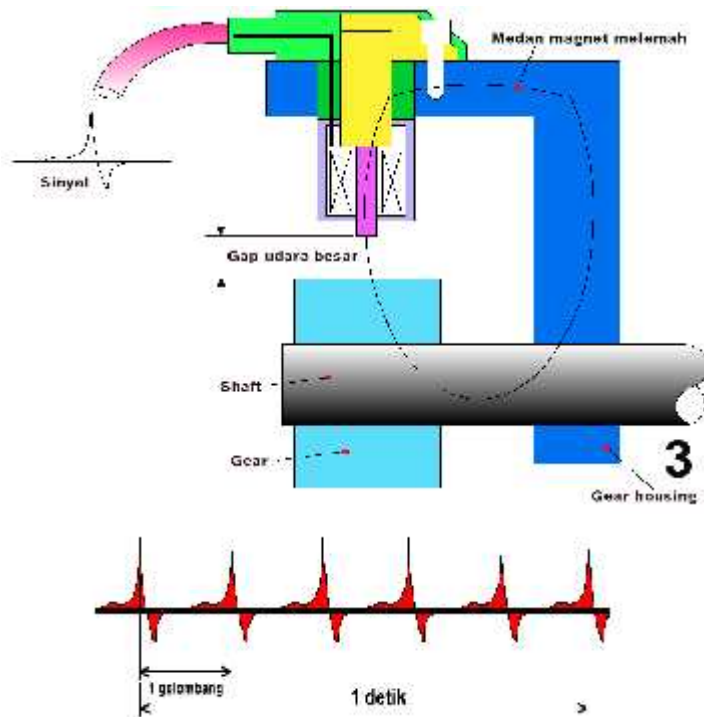
*Camshaft position sensor* disusun dari sebatang inti besi yang dipasang ditengah-tengah kumparan *pick-up*. Di bagian atas inti besi dipasangkan magnet batang dengan ujung kutub yang satu (S) menempel dengan inti besi dan ujung kutub lain terhubung dengan tempat dari *toothed gear*. Kumparan *pick-up* dihubungkan keluar dengan kabel. Terdapat celah sempit antara ujung inti besi dengan gigi dari *toothed gear*.



**Gambar 178.** *Camshaft position sensor*

Tiap-tiap ujung dari toothed gear akan membangkitkan satu pulsa tegangan yang akan digunakan oleh ECU untuk menentukan solenoid injektor yang akan dikontrol. Jarak pulsa yang lebih dekat antara pulsa silinder 6 dengan pulsa kembali keawal menginformasikan bahwa seluruh silinder telah menjalani siklusnya. Signal pengembali berguna bagi ECU saat mesin mulai dihidupkan. Pada hakekatnya pembakaran pada silinder mesin dimulai dari silinder satu, ECU akan membaca posisi silinder satu dari *tooth reset*, karena *tooth reset* terbaca sangat berdekatan dengan posisi *tooth silinder* empat untuk mesin 6 silinder dan posisi *tooth* untuk silinder 2 untuk *engine* 4 silinder. Jika salah satu *tooth* bermasalah, dapat dipastikan kinerja mesin untuk memulai terjadinya pembakaran tidak optimal. Ketidak optimalan hal tersebut ditandai dari panjangnya waktu start dan kesetabilan suara mesin saat mesin putaran lambat.

## 2. Engine Speeds Sensor (Crankshaft Speeds Sensor)



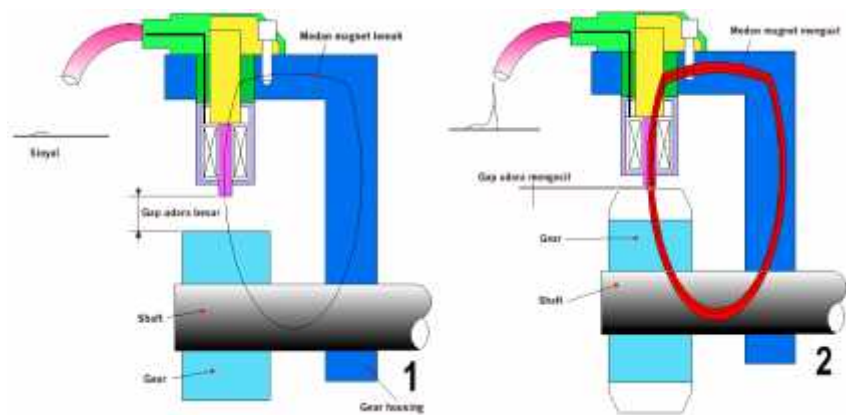
Gambar 179. Crankshaft speeds sensor

*Engine speeds sensor* atau yang lebih dikenal dengan crankshaft speeds sensor adalah sensor yang membaca putaran mesin. Dari putaran mesin yang telah terbaca oleh sensor ECU akan memberikan signal arus agar mengaktifkan injektor selenoid untuk menyemburkan bahan bakar kedalam ruang bakar. *Crankshaft sensor* dapat juga berfungsi sebagai pengatur banyaknya bahan bakar yang akan tersempurkan kedalam ruang bakar dan menentukan kecepatan engine.

Jika pada putaran rendah, bahan bakar yang akan disemprotkan kedalam ruang bakar memiliki durasi yang lebih panjang dalam jumlah yang lebih banyak. Sedangkan pada putaran

tinggi penyemprotan bahan bakar kedalam ruang bakar akan semakin sedikit tetapi memiliki frekwensi lebih sering. Perhatikan gambar *camshaft sensor* diatas.

Adapun cara kerja *crankshaft speeds sensor* mulai dari gaya magnet merambat dengan baik pada bahan logam yang mudah dirambatkan kemagnetan (Ferromagnetik). *Housing, shaft* serta *gear* terbuat dari bahan tersebut. untuk membentuk lintasan gaya magnet dari kutub Utara ke kutub Selatan dari magnet permanen, garis gaya harus melalui *medium housing*, poros dan gigi, ditambah celah udara antara inti besi dengan gear. Makin kecil celah udara tersebut, makin kuat gaya magnet yang terbentuk.

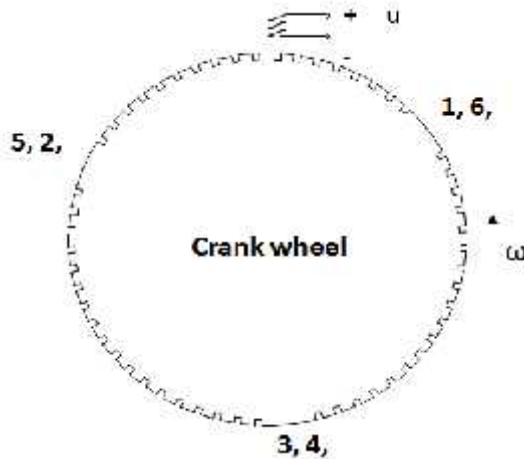


**Gambar 180.** Cara kerja *crankshaft speeds sensor*

Pada gambar, gear pada posisi dimana gap atau celah udara besar (karena gear sedang berputar). Hal ini menyebabkan lemahnya gaya magnet yang terbentuk. Saat gigi dari gear mendekati ujung inti besi, gaya magnet menguat, termasuk di dalam inti besi. Ikut menjadi magnetnya suatu benda akibat terkena garis gaya magnet dari suatu magnet disebut induksi magnet. Karena inti besi dililit kumparan induksi, perubahan kekuatan gaya magnet ini menyebabkan timbulnya Gaya Gerak Listrik (GGL) di dalam kumparan yang mencapai puncaknya ketika celah (gap) mencapai nilai minimum.



Saat berikutnya, gigi gear akan kembali menjauh dan menimbulkan gap yang besar. Kekuatan gaya magnet menurun dan menimbulkan GGL dengan arah berlawanan. Denyutan tegangan ini kemudian signal ke ECU dan ECU akan memprosesnya dan menjadi keluaran arus yang akan terhubung menuju injektor selenoid.

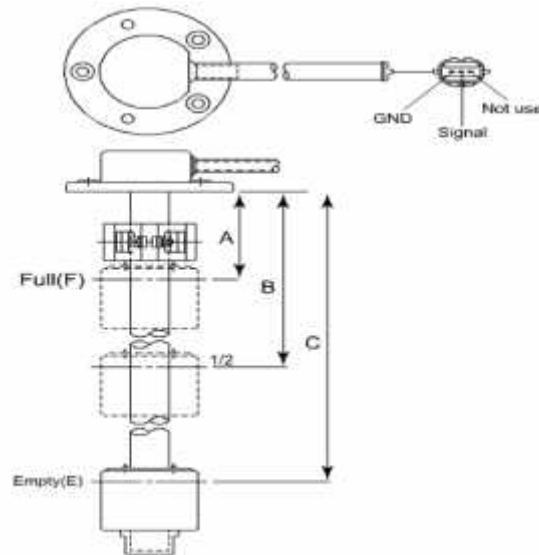


**Gambar 181.** *Crankshaft speeds sensor*

Pada *crank wheel* (fly wheel) terdapat 3 *tooth* yang memiliki dimensi lebih besar. Pada saat inti besi pada sensor bertemu dengan *tooth* yang berdimensi besar, disitulah terbentuk kemagnetan yang akan menghasilkan arus dan akan salurkan menjadi input putaran menuju ECU. Supply tersebut selain di rubah menjadi input arus dari ECU menuju selenoid injektor juga menjadi indikasi besarnya putaran (RPM) mesin. Ketiga *tooth* tersebut memberikan arah silinder engine yang berbeda pada *tooth* 1 fly wheel untuk silinder I dan 6, sedangkan *tooth* 2 untuk silinder 5 dan 2 serta *tooth* 3 untuk silinder 3 dan 4.

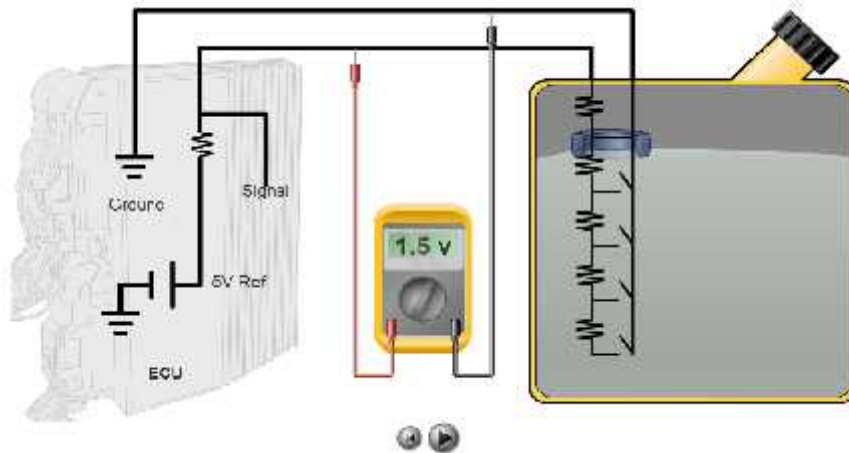
### 3. Fuel Level Sensor

Fuel level sensor adalah sensor yang mengindikasikan banyaknya bahan bakar yang berada pada tangki bahan bakar. Indikator ini menunjukkan kepada operator akan banyaknya persediaan bahan bakar, sehingga menimbulkan rasa aman dan nyaman ketika akan mengoperasikan unit menuju ke suatu tempat.



Gambar 182. Fuel level sensor

Pada beberapa kendaraan *fuel level sensor* dilengkapi dengan 2 kabel, tetapi pada kendaraan lain dilengkapi dengan 3 kabel. Gambar di atas adalah *fuel level sensor* yang dilengkapi 3 kabel namun dalam kerjanya hanya dua kabel yang bekerja. Kabel pertama bekerja sebagai signal dan kabel kedua adalah masa (*grounding*). Metode kerja unit tersebut adalah sangat sederhana, ECU memberikan suplai tetap melalui signal menuju massa. Konsep kerja dari *fuel level sensor* selengkapnya seperti gambar di bawah ini:

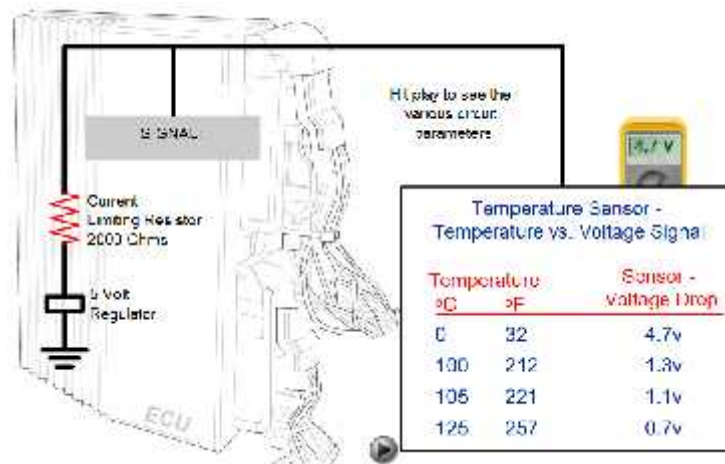


**Gambar 183.***Kerja fuel level sensor*

Pada saat supply 5 V dari ECU menuju rangkaian hambatan seri pada tangki bahan bakar, pada saat level bahan bakar berada di atas (full) maka tegangan 5 V tersebut hanya akan melewati satu tahanan seri pada tangki bahan bakar untuk mencapai masa (katup negatif). Sehingga supply tegangan 5 V akan lebih besar menuju katup negatif. Besarnya supply pada katup negatif indikator level bahan bakar akan dibaca oleh ECU bahwa level bahan bakar masih pada kondisi penuh. Sebaliknya, jika arus yang bertemu dengan katup negatif pada ECU, maka ECU akan membaca bahwa level bahan bakar pada tangki berada pada kondisi hampir habis atau pada kondisi tertentu tergantung dengan besarnya arus yang bertemu masa pada ECU.

#### **4. Boost Temperature and Pressure Sensor**

*Boost pressure and temperature sensor* adalah sensor yang membaca besarnya tekanan dan suhu udara pada saluran masuk. Informasi ini akan memberikan pengaruh pada ECU untuk memberikan suplai arus menuju solenoid injektor untuk menyemprotkan bahan bakar kedalam ruang bakar sesuai dalam berbagai putaran.

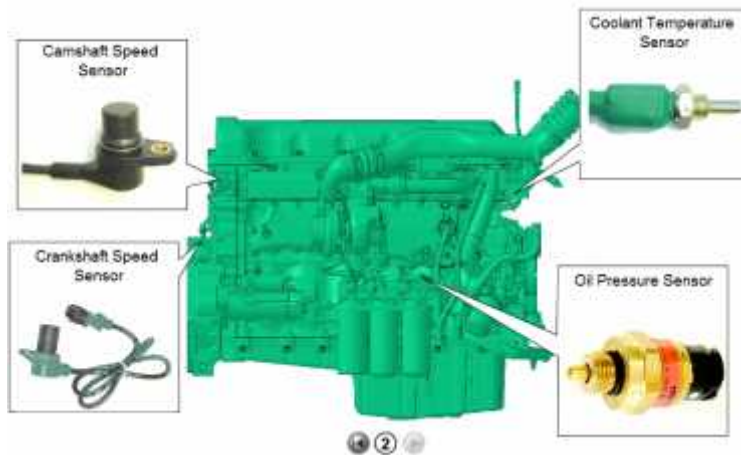


Gambar 184. Kerja temperatur sensor

Pada suhu sensor suplai arus tegangan yang menuju ECU di variasikan oleh sensor sesuai dengan suhu yang terjadi pada kondisi sensor. Banyak sensor temperatur yang bersifat *positif temperature coefficient* artinya semakin besar suhu yang disensor maka tahanan sensor akan semakin meningkat. Meningkatnya jumlah tahanan pada sensor menyebabkan suplai tegangan menuju ECU akan semakin kecil, supply yang kecil ini di baca oleh ECU bahwa suhu tinggi. Sedangkan pada saat suhu rendah suplai tegangan menuju ECU cenderung tinggi.

## 5. Coolant Temperature Sensor

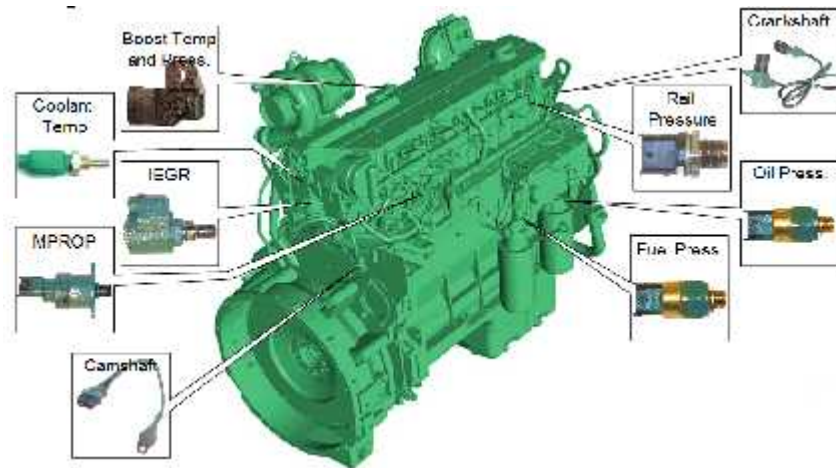
*Coolant temperature sensor* adalah sensor yang membaca kondisi air pendingin pada sebuah engine. Sensor coolant temperatur memiliki prinsip kerja yang sama dengan boost temperatur sensor diatas.



Gambar 185. Coolant temperatur sensor

## 6. Oil Pressure and Temperatur Sensor

*Oil pressure and temperatur sensor* adalah sensor yang mengindikasikan suhu oli dan tekanan oli pada mesin. Suhu oli pada mesin mengindikasikan suhu kerja mesin selama melakukan pekerjaan. Tekanan oli pada mesin mengindikasikan besarnya tekanan oli pada mesin, besarnya tekanan oli mengindikasikan besarnya *blow by gas* selama pembakaran terjadi. *Blow by gas* dipengaruhi oleh kebocoran tekanan kompresi pada mesin. Kebocoran tekanan kompresi pada mesin dapat mempengaruhi tenaga yang dihasilkan oleh mesin.



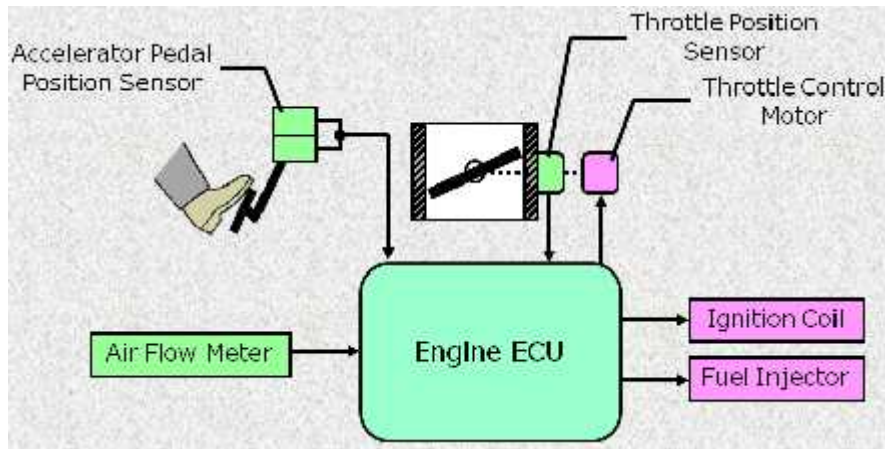
Gambar 186. Oil pressure sensor dan sensor-sensor

## 7. Inlet Air Temperature and Pressure Sensor

*Inlet air and temperature sensor* adalah sensor yang memberikan informasi tentang kondisi udara yang masuk kedalam intake manifold. Sensor ini memberikan informasi banyaknya udara yang masuk kedalam saluran masuk. Kondisi ini sangat di butuhkan oleh ECU untuk memberikan signal bahan bakar yang tepat agar campuran bahan bakar dan udara dapat sesuai. Lokasi sensor ini langsung berada pada saluran saluran masuk dan biasanya setelah saringan udara.

## 8. Throttle Position Sensor

Beberapa tahun lagi, setelah banyak kendaraan baru beredar kepasaran, mungkin kita tidak akan menemukan lagi sebuah komponen yang disebut tali gas (*seling gas*). Dunia alat berat sudah beberapa tahun yang lalu meniadakan komponen tersebut. Sebagai pengantinya sebuah *pulse Wave Modulation* (PWM). PWM adalah komponen kelistrikan yang bekerja dan memberikan signal tegangan secara proporsional menuju ke ECU. Perhatikan gambar dibawah ini:



Gambar 187. PWM untuk pedal akselerasi

Prinsip kerja dari PWM di atas adalah pada saat pedal gas ditekan, maka PWM akan mengkonversikan dalamnya tekanan operator pada pedal gas tersebut menjadi besarnya tegangan yang akan menjadi masukan pada engine ECU. Setelah ECU mendapatkan input dari *accelerator pedal position sensor* maka ECU akan memberikan suplai arus menuju *throttle control motor* untuk mengatur bukaan dari *throttle position sensor*. *Throttle position sensor* memberikan suplai membuka untuk mengalirkan udara menuju saluran masuk silinder. Dengan pengaturan untuk mendapatkan campuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar dengan mudah dapat terpenuhi.

# DAFTAR PUSTAKA

- Aryadi, Widya. Dkk. 2008. *Teori Motor Bensin*. PKUPT UNES.
- Basyirun, dkk. 2008. *Buku Ajar Mesin Konversi Energi*. PKUPT UNES.
- Changel, A Yunus. Dkk. 2006. *Thermodynamics (Fifth Edition in SI Unit*. McGraw Hill
- Dikdasmen. 2004. *Melaksanakan Pekerjaan Dasar Engine*. Proyek Pengembangan Kurikulum Pendidikan Dasar dan Menengah Program Keahlian Alat Berat. [www.dikdasmen.co.id](http://www.dikdasmen.co.id).
- Ehsani, Mardad dkk. 2010. *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicle*. CRC Press. New York.
- McCelland, John. 1999. *Diesel Reference Hand Books*. Betterwort. Oxford
- Muhajir, Khairul. *The Influence of Altitude to Power Engine of AS - 202/18A3 Bravo Air Craft*. Jurnal Teknologi Vol. 1 No. 2 Desember 2008 (204-211)
- Murti, Made Ricki. 2008. *Laju Pembuangan Panas pada Radiator dengan Fluida Campuran 80% Air dan 20% RC pada Rpm Constant*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram. Vol 2 No. 1, Juni 2008 (4-9)
- Pulkraber, Wilard W. *Engine Fundamental Internal Combustion Engine*. Upper Stander River, New Jersy.
- Suprptono. 2004. *Paparan Mata Kuliah Bahan Bakar dan Pelumas*. Universitas Negeri Semarang. Semarang
- United Tractors. 2008. *Basic Engine Module*. Training Center UT Jakarta.
- Volvo Construction Equipment. 2008. *Engine Basic*. Volvo. Singapura.



Hasan Maksum, Reffles, Wawan Purwanto  
**Teknologi Motor Bakar**

**Teknologi Motor Bakar** adalah Buku yang membahas tentang motor bakar yang seiring perkembangannya dari masa ke masa. Sebagai upaya mengingatkan akan sejarah motor bakar, buku ini memaparkan tentang sejarah motor bakar (*internal combustion engine*), klasifikasi mesin berdasarkan metode pemasukan udara kedalam ruang silinder, dasar-dasar utama motor bakar, menghitung volume silinder, ruang kompresi, momen putar, daya, efisiensi dan *timing order*.

Selain itu dalam buku ini juga di bahas tentang siklus motor bakar (*otto cycle and diesel cycle*). Sistem pemasukan bahan bakar kedalam ruang silinder dari teknologi konvensional sampai teknologi masa kini di kontrol dengan menggunakan *Electronic Control Unit (ECU)*, seperti unit injector, unit pump, common rail sedangkan teknologi konvensional yang sekarang masih di pakai adalah in-line dan distributor pompa injeksi. Selain itu pada metode pemasukan udara kedalam ruang bakar juga di bahas *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* dan CVVT yang dipakai pada hyundai engine. Pada bagian pengontrolan elektronik, di bahas tentang *crankshaft speed sensor, camshaft position sensor, throttle position sensor, air intake temperatur sensor* serta sistem sensor yang lainnya.

Buku ini sangat bermanfaat bagi siswa, mahasiswa, atau pun umum yang sedang menekuni kajian dalam bidang motor bakar. Semoga buku ini dapat menjadi referensi yang sangat menarik bagi pembaca dalam upaya memperkaya pengetahuan pada bidang motor bakar.

**Hasan Maksum**, lahir di Kutacane (Aceh Tenggara), 17 Agustus 1966, memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan Jurusan Teknik Otomotif FPTK IKIP Padang tahun 1992, memperoleh Gelar Magister Teknik Mesin di FPS-Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2000. Sejak tahun 1991 sampai sekarang bertugas sebagai staf pengajar Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang (FT UNP).

**Reffles**, lahir di Riau, 15 Oktober 1968. Menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di Bangkinang. Melanjutkan pendidikan di tingkat Sekolah Menengah Pertama hijrah ke Dumai, dan melanjutkan pendidikan di tingkat Sekolah Menengah Atas di Bukittinggi. Pendidikan S, FPTK IKIP Padang, Jurusan Mesin 1988 dan S<sub>2</sub> di UPI YPTK Padang, jurusan komputer pada tahun 2008. Penulis sekarang aktif sebagai guru dan Wakil Manajemen Mutu SMK I Padang.

**Wawan Purwanto**, lahir di Padang, 15 September 1984, menghabiskan masa kecil di Muara Bungo, hingga menamatkan Sekolah Menengah Kejuruan. Tahun 2007, menyelesaikan Pendidikan S<sub>1</sub> di Universitas Negeri Padang, S<sub>2</sub> di Universitas Pancasila Jakarta. Sekarang sebagai staf pengajar Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang.



**PENERBITAN & PERCETAKAN UNP PRESS**  
Jln. Prof. Hennis Air Terau Padang  
Telp. (0751) 781280, 785668 Fax (0751) 785628

