



## BAHAN AJAR MOTOR BAKAR

SURABAYA, JUNI 2017

## DAFTAR ISI

Bab	Halaman
LEMBAR JUDUL.....	1
DAFTAR ISI .....	2
RENCANA PEMBELAJARAN.....	4
BAB I PENGANTAR MOTOR BAKAR.....	5
1.1 Pendahuluan .....	5
1.2. Motor Bakar.....	6
1.3 Siklus 4 Langkah dan 2 Langkah.....	
1.4 Tata Nama Beberapa Bagian Mesin .....	
1.5. Tugas .....	15
BAB II SIKLUS IDEAL.....	16
2.1 Pendahuluan .....	16
2.2 Siklus Udara .....	16
2.3 Daya Dan Efisiensi Siklus Udara .....	18
2.4 Tekanan Efektif Rata – rata .....	23
2.5. Siklus sebenarnya .....	25
2.6. Tugas .....	28
BAB III PARAMETER UNJUK KERJA .....	29
3.1 Daya.....	29
3.2 Efisiensi Thermis .....	30
3.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	30
3.4 Tekanan Efektif Rata – rata Dan Tekanan Maksimum.....	31
3.5. Tugas .....	34



**RENCANA PEMBELAJARAN**

1. **Judul** : Motor Bakar
2. **Tujuan Pelajaran** : Memberikan pengetahuan kepada para siswa tentang pengetahuan maupun karakteristik dari motor bakar
3. **Sasaran Pengajaran** : Selesai pelajaran ini para siswa diharapkan dapat:
  - a. Memahami kontruksi motor bakar
  - b. Memahami dan mampu menjelaskan prinsip kerja dari motor bakar
  - c. Terampil dalam hal memasang dan membongkar bagian – bagian dari motor bakar
4. **Lama Pengajaran** :
  - a. Teori : 4 Jam Pelajaran.
  - b. Praktek : 16 jam pelajaran
5. **Kepustakaan** :
  - a. Aris munandar ,W ( 1994 ) motor bakar torak.jakarta : pradya paramita

## BAB I

### PENGANTAR MOTOR BAKAR

#### 1. Pendahuluan

Sejak diperkenalkan pertama kali oleh Rudolf Diesel pada 1892 di Jerman, mesin diesel telah mengalami perkembangan yang sangat pesat mulai penggunaan bahan bakar hingga peningkatan kinerja yang berhubungan dengan teknologi mekanis hingga improvement power, dan konsumsi bahan bakar agar lebih bersahabat dengan lingkungan. Motor diesel sebagai sebuah sumber tenaga penggerak memiliki prinsip yang hampir sama dengan motor bensin (*gasoline engine*) dimana energi dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Ada beberapa perbedaan utama antara karakteristik mesin bensin dan mesin diesel. Mesin diesel menggunakan prinsip *auto-ignition* (terbakar sendiri). Sedangkan mesin bensin menggunakan prinsip *spark-ignition* (pembakaran yang dipicu oleh percikan api pada busi). Oleh karenanya motor diesel sering juga disebut dengan "*compression ignition engine*". Agar dapat mencapai suhu dan tekanan pembakaran, tekanan kompresi pada mesin diesel diusahakan mampu mencapai 30-45kg/cm<sup>2</sup>, agar temperatur udara yang dikompresikan mencapai 500 derajat celsius, sehingga bahan bakar mampu terbakar dengan sendirinya tanpa dipicu oleh letikan bunga api dari busi.

Untuk dapat mencapai tekanan dan temperatur yang demikian, pada motor diesel harus memiliki perbandingan kompresi yang lebih tinggi kira-kira mencapai 25:1 dan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memutarinya. Sehingga motor diesel memerlukan alat pemutar seperti motor starter dan baterai yang berkapasitas besar pula. Disamping itu motor diesel memiliki efisiensi panas yang sangat tinggi, hemat konsumsi bahan bakar, memiliki kecepatan lebih rendah dibanding mesin bensin, getarannya sangat besar dan agak berisik, momen yang didapatkan lebih besar, sehingga motor ini umumnya digunakan pada kendaraan niaga, kendaraan penumpang dan sebagai motor penggerak lainnya. Klasifikasi Motor Bakar adalah sebagai berikut:

- a. Motor pembakaran luar, proses pembakaran terjadi di luar mesin
  - 1) Mesin uap
  - 2) Turbin gas
  - 3) Turbin uap
- b. Motor pembakaran dalam. proses pembakaran bahan bakar berlangsung di dalam motor
  - 1) Motor Bakar Torak:
  - 2) Motor Bensin
  - 3) Motor Disel
  - 4) Motor Wankel

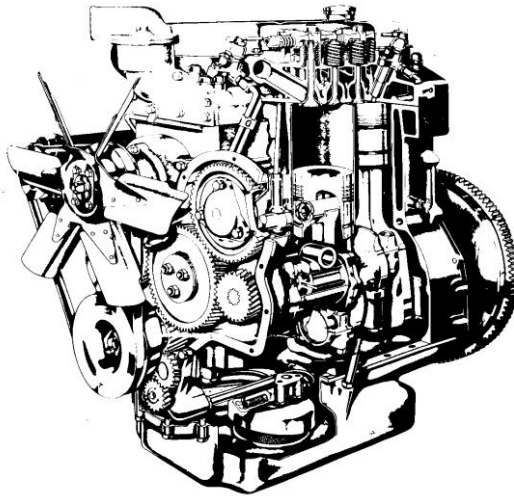
## 2. Motor Bakar :

Motor bakar torak

Turbin gas

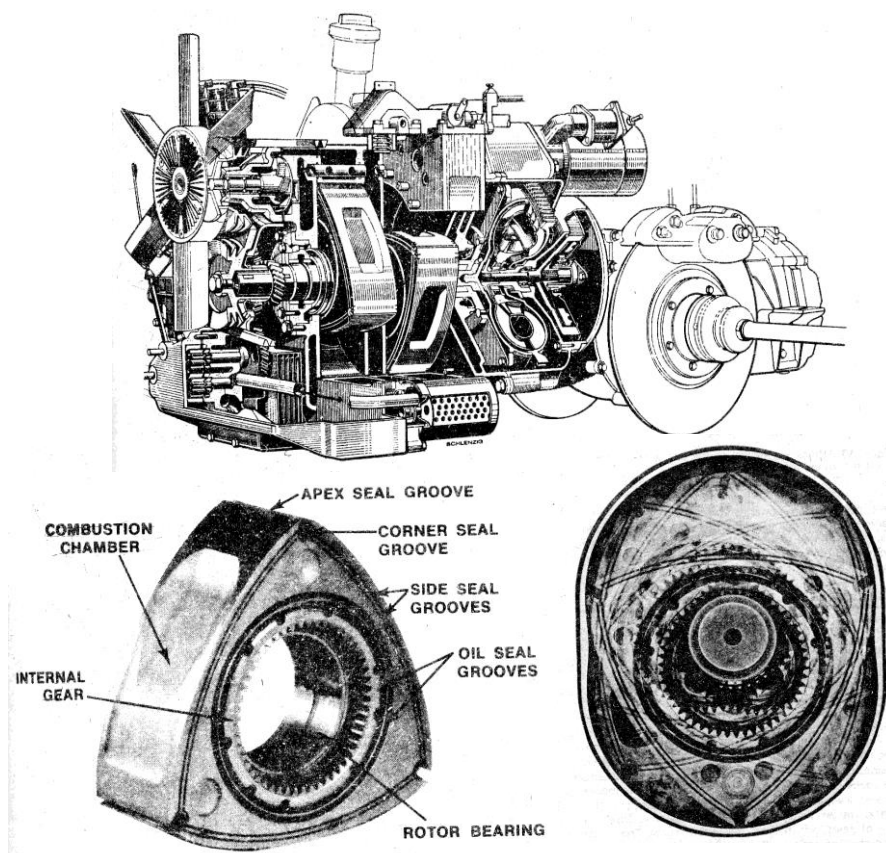
Mesin jet (propulsi pancar gas).

**Motor bakar torak** terdiri dari satu atau beberapa silinder didalamnya terdapat torak/ piston yang bergerak bolak-balik (**translasi**). Di dalam silinder tersebut terjadi reaksi pembakaran yaitu proses oksidasi bahan bakar oleh oksigen dari udara.



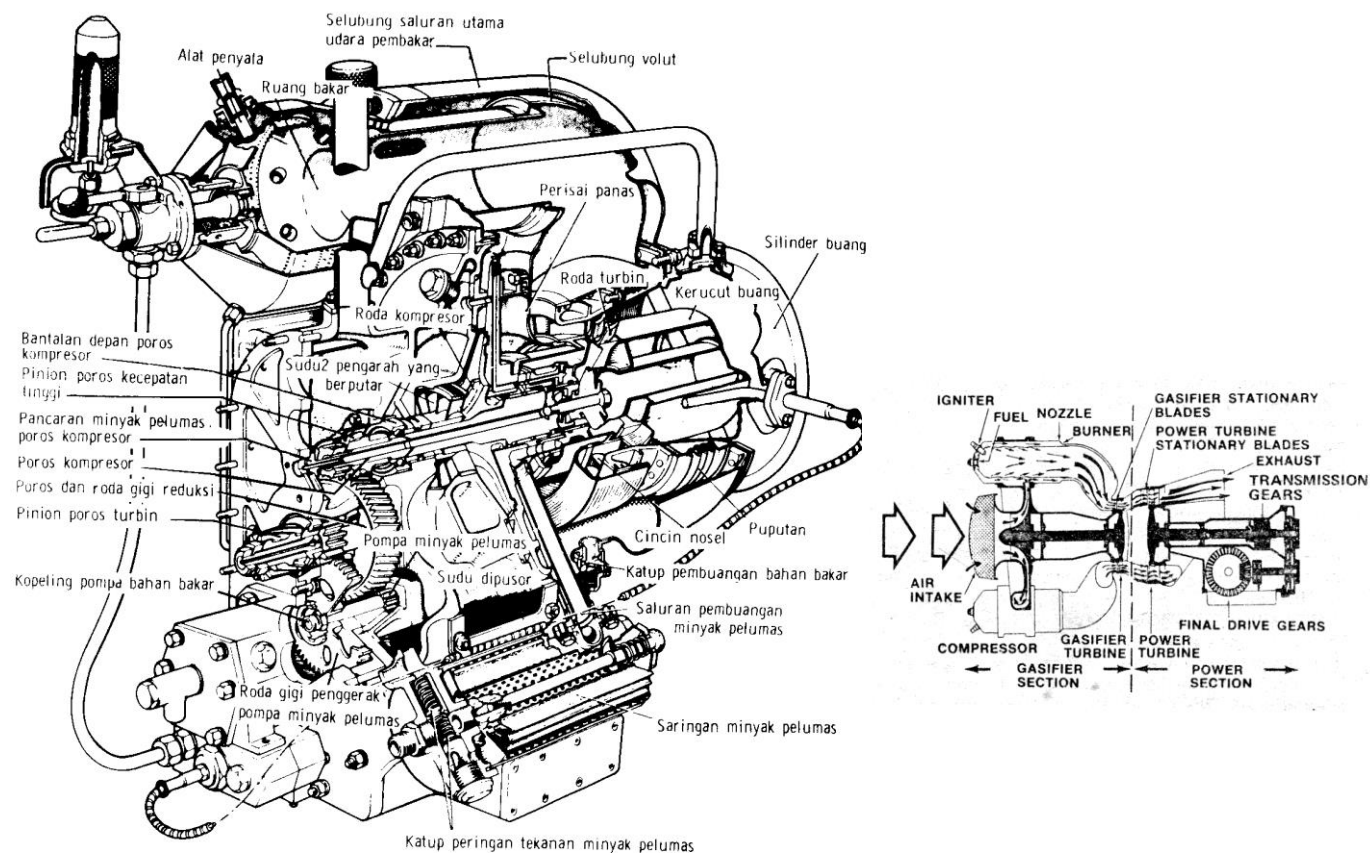
Gambar 1.1. Motor Bakar Torak

## Motor Wankel



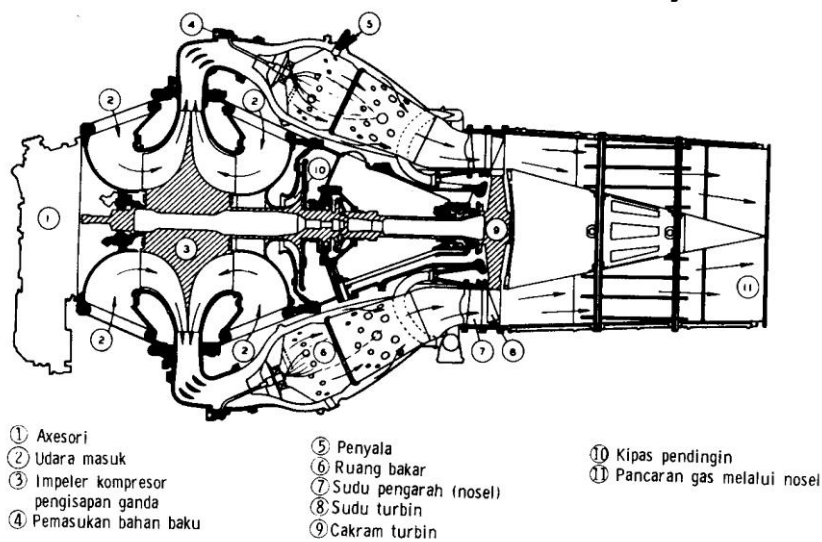
Gambar 1.2. Motor Wankel.

**Turbin gas** proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar yang terpisah dengan rotor turbin. Kemudian gas tersebut dialirkan kedalam rotor turbin. Proses perubahan energi termal menjadi energi mekanik berlangsung pada sudu-sudu yang terdapat pada rotor turbin yang bergerak **rotasi**



Gambar 1.3. Turbin Gas

**Mesin jet** menghasilkan gaya dorong. Gaya dorong tersebut timbul karena adanya perubahan momentum gas yang mengalir melalui sistim saluran (nozzle) yang ada pada mesin tersebut. Dalam hal ini momentum gas yang keluar dari mesin tersebut dinaikkan dengan cara menaikkan kecepatannya melalui nozzle. Jadi makin tinggi perbedaan momentum aliran gas antara sisi masuk dengan sisi keluar mesin, maka makin besar pula gaya dorong yang dihasilkan. Jadi pada mesin inipun tidak ada komponen yang bergerak translasi.



Gambar 1.4. Mesin Jet

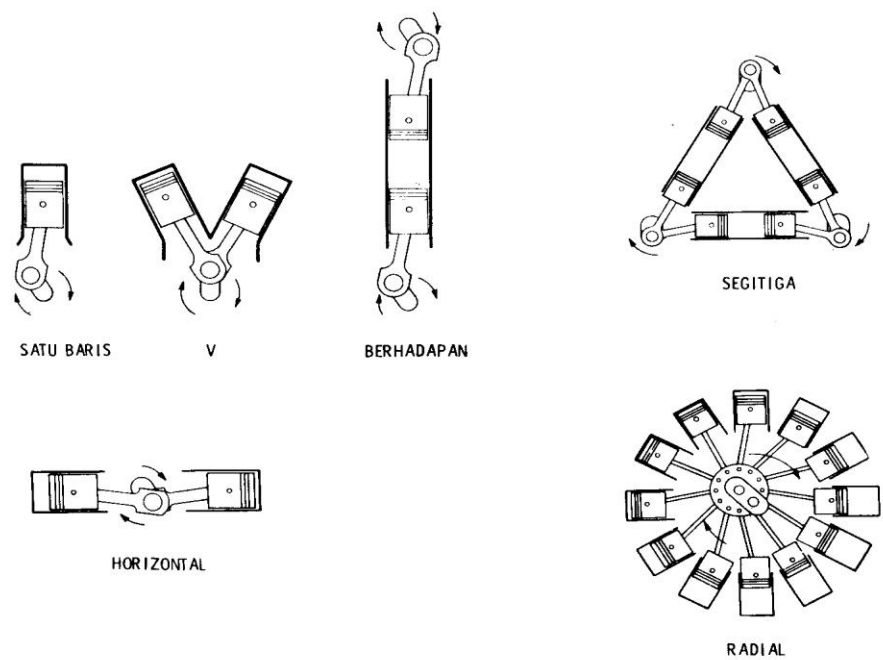
**Motor Bakar Berdasarkan siklus kerjanya :**

Motor bensin (siklus OTTO).....penyalan dilakukan dengan loncatan bunga api dari busi (spark plug) .....**Spark Ignition Engine**

Motor diesel (siklus DIESEL).....penyalan dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar kedalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi.....

**Compression Ignition Engine**

**Berdasarkan susunan silindernya :**



Gambar 1.5 Susunan Silinder Motor Bakar Torak

Penggolongan mesin kalor pada umumnya dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini

Tabel 1 : Penggolongan mesin kalor.

Golongan	Jenis	Model Gerakan	Daya	Pemakaian	Ket.
Motor Pembakaran Luar	Mesin Uap	Translasi	Kecil s/d Sedang	Lokomotif	?
	Turbin Uap	Rotasi	Sedang s/d Besar	Pembangkit Listrik, Kapal	Aktif
	Turbin Gas Siklus Tertutup	Rotasi	Sedang s/d Besar	Pembangkit Listrik, Kapal	Eksperimen



Golongan	Jenis	Model Gerakan	Daya	Pemakaian	Ket.
Motor Pembakaran Dalam	Motor Bensin	Translasi dan Rotasi (Wankel)	Kecil s/d Sedang	Kendaraan, Kapal Kecil, Peawat Terbang, Industri	Aktif
	Motor Diesel	Translasi	Kecil s/d Sedang	Kendaraan, Industri, Lokomotif, Kapal, Pembangkit Listrik	Aktif
	Motor Gas	Translasi	Kecil s/d Sedang	Industri, Pembangkit Listrik	Aktif
	Turbin Gas	Rotasi	Sedang s/d Besar	Pembangkit Listrik, Pesawat Terbang	Aktif
	Mesin Jet	Rotasi	Sedang s/d Besar	Pesawat Terbang	Aktif

Ket. : Daya Kecil : < 1000 Hp      Daya Sedang : 1000 s/d 10.000 Hp      Daya Besar : > 10.000 Hp.

3. Siklus 4 Langkah Dan 2 Langkah.  
a. Siklus 4 Langkah :

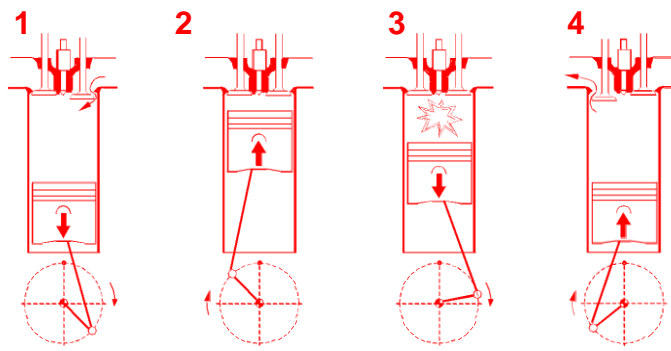
Pada prinsipnya pada motor diesel tidak jauh berbeda dengan motor bensin, demikian pula secara mekanis tidak dapat perbedaan jenis komponen yang digunakan. Disamping itu pada motor diesel dikenal pula motor diesel 2 langkah (*2 stroke*) dan motor diesel 4 langkah (*4 stroke*), namun dalam perkembangannya motor diesel 4 langkah lebih banyak berkembang dan digunakan sebagai penggerak. Sebagaimana namanya, mesin diesel empat langkah mempunyai empat prinsip kerja, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Keempat langkah mesin diesel ini bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan sebuah tenaga yang menggerakkan komponen lainnya.

Motor Diesel disebut juga motor pembakaran dengan tekanan kompresi karena motor mengisap udara dan mengompresikan dengan tingkat yang lebih

tinggi. Berdasarkan efisiensi secara keseluruhan, motor diesel muncul sebagai mesin pembakaran yang paling efisien dan bertenaga besar, pada jenis motor diesel putaran rendah dapat mencapai efisiensi sampai 50 persen atau lebih. Pada motor diesel 4 langkah, katup masuk dan buang digunakan untuk mengontrol proses pemasukan dan pembuangan gas dengan membuka dan menutup saluran masuk dan buang. Pemakaian bahan bakar lebih hemat, diikuti dengan tingkat polutan gas buang yang relatif rendah, semuanya itu dihasilkan oleh motor diesel secara signifikan. Seperti halnya motor bensin maka ada motor diesel 4 langkah dan 2 langkah, dalam aplikasinya pada sektor otomotif/kendaraan kebanyakan dipakai motor diesel 4 langkah:

- 1) Langkah pertama adalah langkah hisap. Pada langkah ini, piston akan bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Selanjutnya, katup hisap akan terbuka sebelum mencapai TMA dan katup buang akan tertutup. Akibatnya, akan terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan udara murni masuk ke dalam silinder.
- 2) Sedangkan pada langkah kedua (langkah kompresi), piston bergerak sebaliknya, yaitu dari TMB ke TMA. Katup hisap tertutup sementara katup buang akan terbuka. Udara kemudian akan dikompresikan sampai pada tekanan dan suhunya menjadi 30kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 500 derajat celsius. Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar diantara 14 : 1 sampai 24 : 1 . Akibat proses kompresi ini udara menjadi panas dan temperaturnya bisa mencapai sekitar 900 °C . Pada akhir langkah kompresi injektor/nozel menyemburkan bahan bakar ke dalam udara panas yang bertekanan sampai diatas 2000 bar. Solar dibakar oleh panas udara yang telah dikompresikan di dalam silinder. Untuk memenuhi kebutuhan pembakaran tersebut, maka temperatur udara yang dikompresikan di dalam ruang bakar harus mencapai 500 derajat celsius atau lebih. Perbedaan kompresi ini menghasilkan efisiensi panas yang lebih besar, sehingga penggunaan bahan bakar diesel lebih ekonomis dari pada bensin. Pengeluaran untuk bahan bakar pun bisa lebih hemat.
- 3) Pada langkah ketiga (langkah usaha), katup hisap tertutup, katup buang juga tertutup dan injektor menyemburkan bahan bakar. Sehingga, terjadi pembakaran yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB.
- 4) Dan pada langkah keempat (langkah buang), hampir sama dengan langkah hisap, yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA. Namun, katup hisap akan tertutup dan katup buang akan terbuka. Sedangkan piston akan bergerak mendorong gas sisa pembakaran

keluar.



Gambar 1.6. Proses Kerja Motor Diesel 4 langkah.

Untuk satu siklus torak bergerak bolak-balik dari TMA – TMB – TMA – TMB – TMA. Jika dihubungkan dengan poros engkol gerakan torak untuk satu siklus lengkap sama dengan dua putaran poros engkol

**b. Siklus 2 langkah :**

Mesin dua tak adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran terjadi dua langkah piston, berbeda dengan putaran empat-tak yang mempunyai empat langkah piston dalam satu siklus pembakarannya, meskipun keempat proses (intake, kompresi, tenaga, pembuangan) juga terjadi. Untuk memahami prinsip kerja, perlu dimengerti istilah baku yang berlaku dalam teknik otomotif, yaitu: Ruang bilas yaitu ruangan dibawah piston dimana terdapat poros engkol (crankshaft), sering disebut dengan bak engkol (crankcase) berfungsi gas hasil campuran udara, bahan bakar dan pelumas bisa tercampur lebih merata. Pembilasan (scavenging) yaitu proses pengeluaran gas hasil pembakaran dan proses pemasukan gas untuk pembakaran dalam ruang bakar.

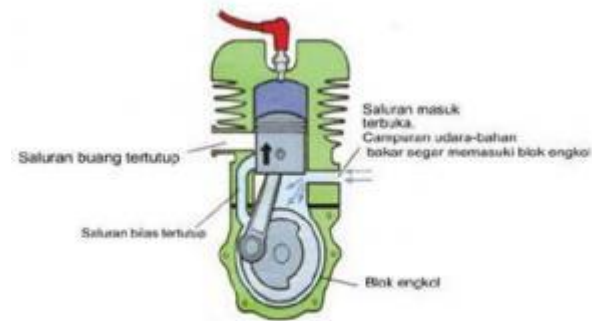
Pada prinsipnya kerja Motor 2 tak ini adalah untuk satu kali tenaga hanya memerlukan 2 langkah atau gerakan piston, dimana pada setiap langkah terjadi beberapa proses. 2 langkah tersebut yaitu:

**1) Langkah pertama.**

**a) Dibawah piston.** Sewaktu piston bergerak keatas menuju TMA ruang engkol akan membesar dan menjadikan ruang tersebut hampa (vakum). Lubang pemasukan terbuka. Dengan perbedaan tekanan ini, maka udara luar dapat mengalir dan bercampur dengan bahan bakar di karburator yang selanjutnya masuk ke ruang engkol (disebut langkah isap atau pengisian ruang engkol).

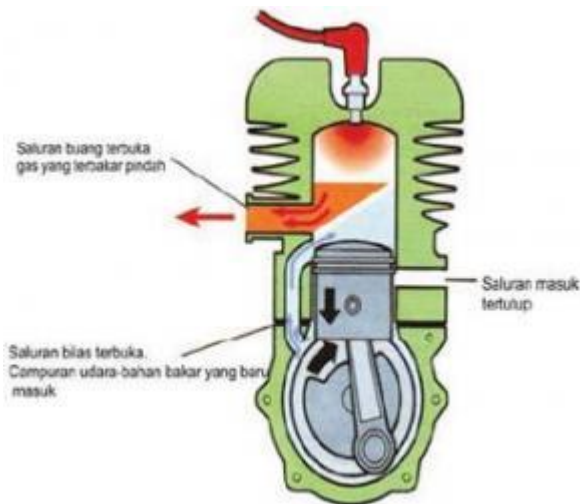
**b) Di atas piston.** Disisi lain lubang pemasukan dan lubang buang tertutup oleh piston, sehingga terjadi proses langkah kompresi disini. Dengan gerakan piston yang terus ke atas mendesak gas baru yang sudah masuk sebelumnya, membuat

suhi dan tekanan gas meningkat. Beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA busi akan melentikkan bunga api dan mulai membakar campuran gas tadi (langkah ini disebut langkah compresi).



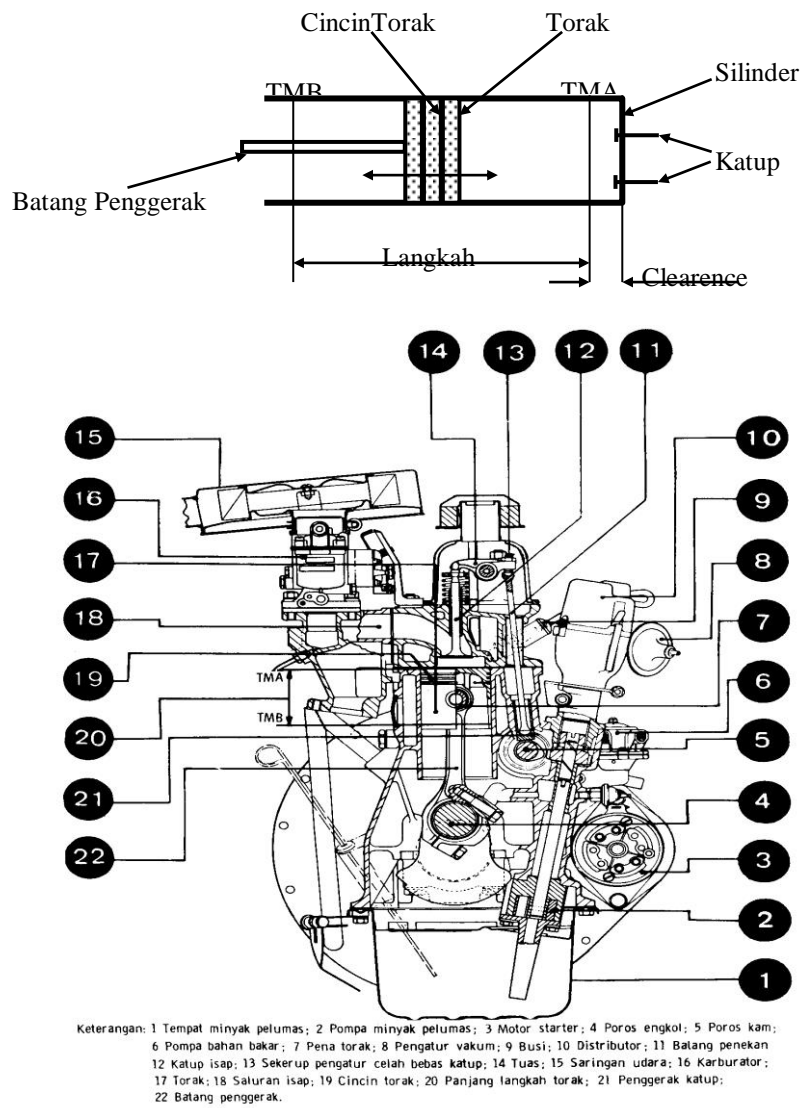
## 2) Langkah kedua.

a) **Di atas piston.** Ketika piston mencapai TMA campuran gas segar yang dikompresikan dinyalakan oleh busi. Gas yang terbakar mengakibatkan ledakan yang menghasilkan tenaga sehingga mendorong piston memutar poros engkol melalui connecting rod sewaktu piston bergerak kebawah menuju TMB (**langkah usaha**). Beberapa derajat setelah piston bergerak ke TMB lubang buang terbuka oleh kepala piston, gas-gas bekas keluar melalui saluran buang (**langkah buang**)

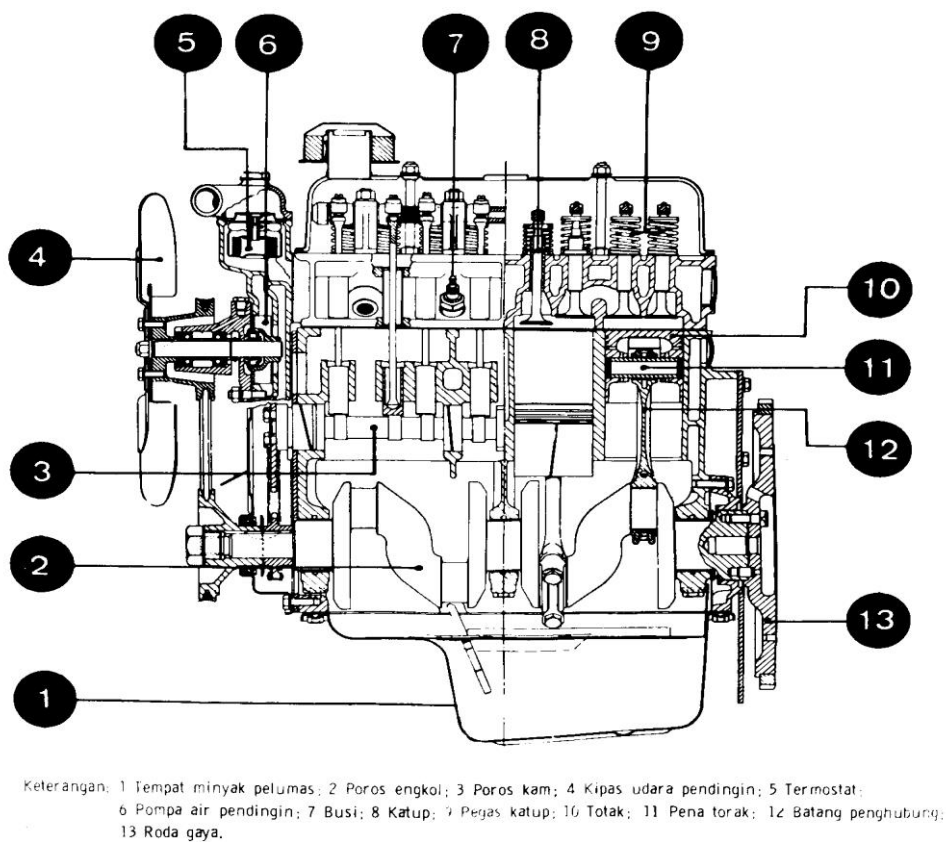


b) **Di bawah piston.** Beberapa derajat selanjutnya setelah saluran buang dibuka, maka saluran bilas (saluran transfer) mulai terbuka oleh tepi piston. Ketika piston membuka lubang transfer segera langkah pembuangan telah dimulai. Gas baru yang berada di bawah piston terdesak, campuran yang dikompresikan tersebut mengalir melalui saluran bilas menuju puncak ruang bakar sambil membantu mendorong gas bekas keluar (proses ini disebut pembilasan)

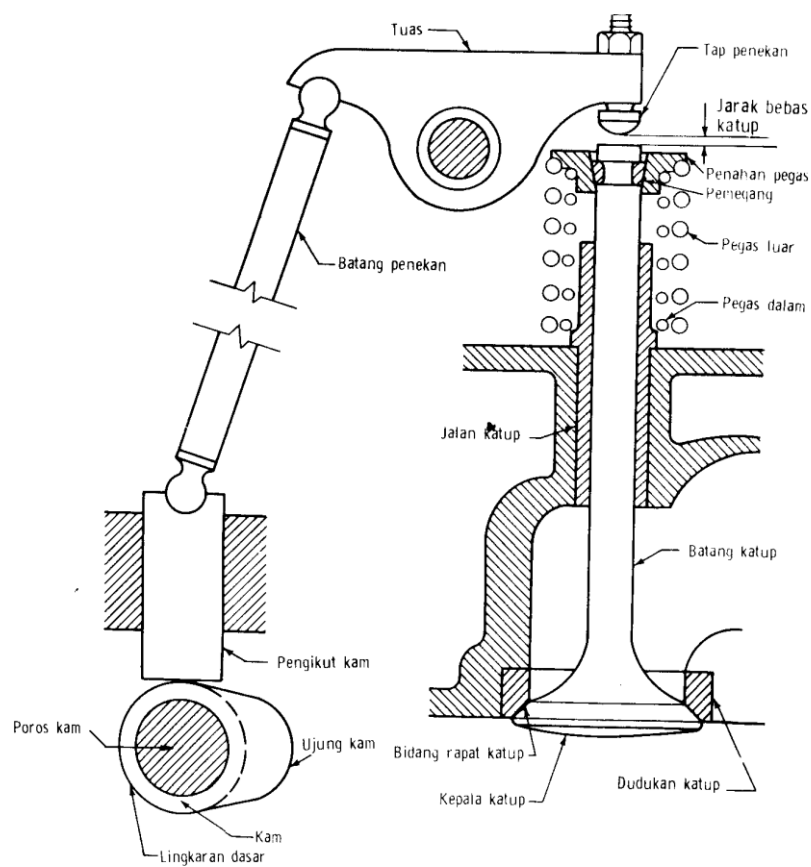
4. Tata Nama Beberapa Bagian Mesin



Gambar 1.7. Penampang lintang motor bensin berpendingin air



Gambar 1.8. Penampang memanjang motor bensin berpendingin air



Gambar 1.9. Mekanisme Katup

**5. Tugas.**

1. Cara memperoleh energi termal mesin kalor dikelompokkan menjadi dua. Jelaskan!
2. Jelaskan dengan gambar proses kerja 4 tak dan 2 tak?
3. Jelaskan perbedaan Motor diesel dan Motor Bensin berdasarkan proses kerja 4 langkah dan 2 langkah?

## BAB II SIKLUS IDEAL

### 1. Pendahuluan.

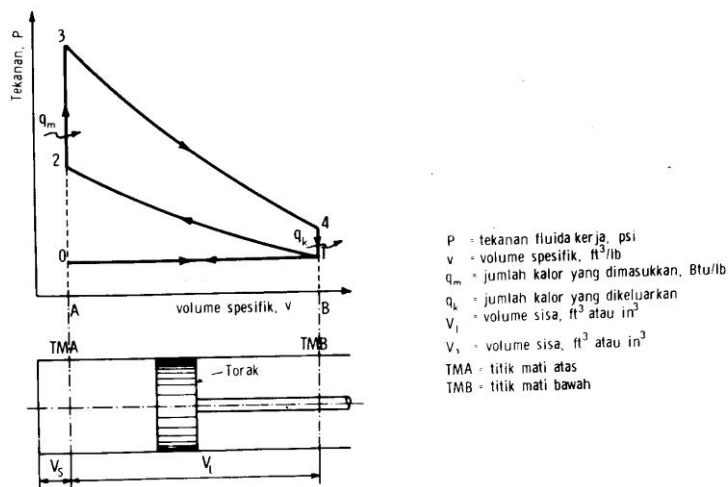
Proses termodinamika dan kimia pada motor bakar sangat kompleks untuk dapat dianalisis secara teoritis. Untuk memahami fenomena yang terjadi memerlukan penyederhanaan masalah dengan melakukan beberapa idealisasi. Siklus udara sebagai siklus idealnya. Beberapa parameter yang digunakan sama dengan siklus sebenarnya:

- a. Urutan proses
- b. Perbandingan kompresi
- c. Pemilihan temperatur dan tekanan referensi (atmosfer).
- d. Penambahan kalor

Pada mesin ideal proses pembakaran bahan bakar diidealisasikan sebagai proses pemasukan kalor ke dalam fluida kerja.

### 2. Siklus Udara

- a. Siklus udara volume konstan (siklus OTTO).



Gambar 2.1. Diagram P vs V siklus Otto

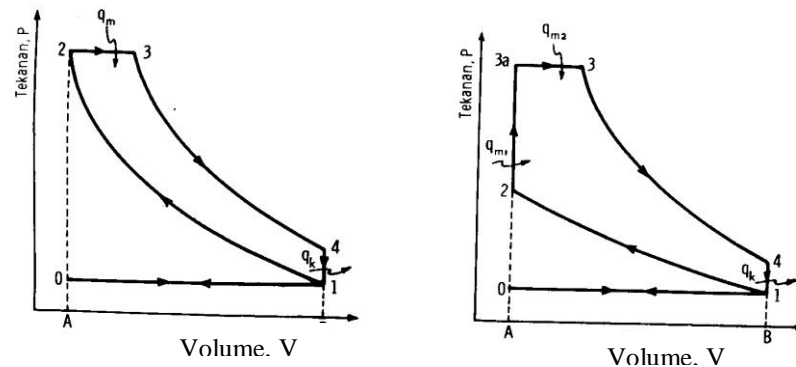
Idealisasi proses-proses :

- 1) Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan panas spesifik konstan
- 2) Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan
- 3) Langkah kompresi (1-2) berlangsung secara isentropis
- 4) Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.
- 5) Langkah ekspansi (langkah kerja) (3-4) berlangsung secara isentropis.
- 6) Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pelepasan kalor pada volume konstan.
- 7) Langkah buang (0-1) berlangsung pada tekanan konstan.



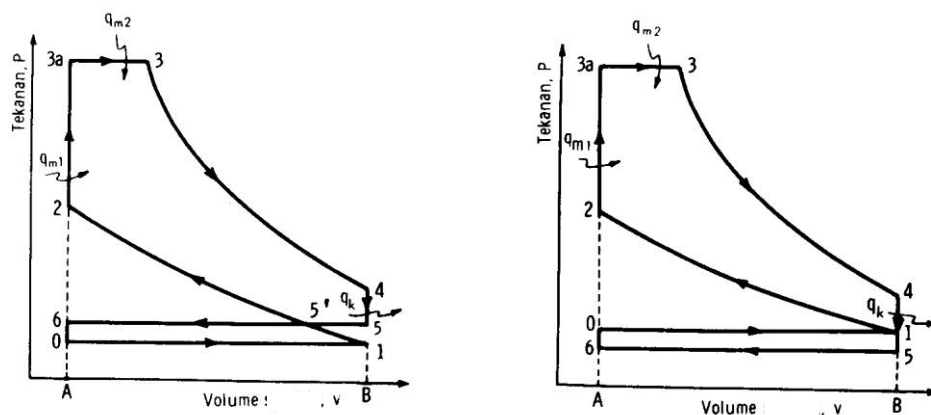
8) Siklus dianggap tertutup artinya siklus berlangsung dengan fluida yang sama.

b. **Siklus udara tekanan konstan** (siklus DIESEL) dikembangkan oleh DR Rudolf Diesel tahun 1893.



Gambar 2.2. Diagram siklus tekanan konstan (kiri), Diagram siklus tekanan terbatas (kanan).

- 1) Idealisasi sama dengan siklus udara volume konstan, yang berbeda adalah proses pemasukan kalor  $q_m$ , pada siklus diesel dilakukan pada **tekanan konstan** (2-3).
- 2) **Siklus udara tekanan terbatas** merupakan gabungan dari kedua siklus tersebut di atas. Proses pemasukan kalor terjadi baik pada **tekanan konstan** (3a-3) maupun pada **volume konstan** (2-3a).
- 3) Pada siklus tersebut garis langkah hisap (0-1) diidealisasikan berimpit dengan garis langkah buang (1-0). Sebenarnya kedua garis tersebut tidak berimpit. Pada naturally aspirated engine garis langkah buang berada diatas garis langkah hisap. Sedangkan pada mesin dengan supercharger garis langkah buang berada dibawah garis langkah hisap karena masuknya udara kedalam silinder dipaksa oleh kompresor/ blower.



Gambar 2.3. Naturally aspirated engine (kiri), Supercharged engine (kanan)

### 3. Daya dan Efisiensi Siklus Udara

Dari diagram P vs V gambar 10 s/d 12 dapat dilihat bahwa siklus tekanan konstan dan siklus volume konstan sebenarnya dapat diturunkan dari siklus tekanan terbatas.

Diintrodusir variabel-variabel :

$$\alpha = \frac{P_{3a}}{P_2} \text{ adalah rasio tekanan (pressure ratio)}$$

$$\beta = \frac{V_3}{V_{3a}} \text{ adalah rasio pancung (cut off ratio)}$$

Dari variabel  $\alpha$ , siklus tekanan konstan adalah siklus tekanan terbatas dengan harga  $\alpha = 1$  (titik 2 berimpit dengan titik 3a)., sedangkan siklus volume konstan adalah siklus tekanan terbatas dengan harga  $\beta = 1$  (titik 3 berimpit dengan titik 3a).

Fluida kerja siklus udara dianggap sebagai gas ideal yang mempunyai panas spesifik dan berat molekul konstan. Berat molekul  $M=29$ ; panas spesifik tekanan konstan  $c_p = 0,24 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$  dan panas spesifik volume konstan  $c_v = 0,1715 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$ . Adapun yang dimaksud dengan gas ideal adalah setiap gas yang memenuhi hukum gas ideal :

$$PV = mRT \text{ atau} \quad 1$$

$$PV = RT \text{ atau}$$

$$PV = \frac{\bar{R}}{M}$$

Keterangan :

P	: tekanan gas (psf)
V	: volume gas (ft <sup>3</sup> )
m	: berat gas (lb)
M	: berat molekul gas (lb/mole)
R	: konstanta gas = 53,3 (ft/lb <sub>mole</sub> °R)
$\bar{R}$	: konstanta gas umum = 1545 (ft/lb <sub>mole</sub> °R)
v	: volume spesifik gas (ft <sup>3</sup> /lb)
T	: temperatur (°R)

Persamaan energi :

$$\Delta U = U_e - U_i = Q - \frac{W}{J} \quad 2$$

dimana :

U	: energi dalam (Btu)
Q	: kalor yang masuk (Btu)
W	: kerja (ft-lb)
J	: faktor konversi satuan = 778 ft-lb/Btu.

Subskrip e menyatakan kondisi akhir dan subskrip i menyatakan kondisi awal proses.

Energi dalam akan berubah dengan berubahnya temperatur, fase, tekanan, dan susunan komponen dari fluida kerja. Energi kinetik juga dianggap tetap. Ditambah dengan anggapan udara sebagai gas ideal maka energi dalam hanya akan berubah jika temperaturnya berubah.

$$U = f(T)$$

$$\Delta U = U_e - U_i = mc_v(T_e - T_i) = Q - \frac{W}{J} \text{ atau ditulis per satuan berat}$$

$$\Delta u = u_e - u_i = c_v(T_e - T_i) = q - \frac{w}{J} \quad 3$$

Enthalpi (H) didefinisikan :

$$H = U + \frac{PV}{J} \quad \text{atau} \quad h = u + \frac{pv}{J}$$

Sedangkan untuk gas ideal berlaku :

$$\Delta H = H_e - H_i = mc_p(T_e - T_i) = (U_e - U_i) + \frac{(P_e V_e - P_i V_i)}{J} \text{ atau per satuan berat :}$$

$$\Delta h = h_e - h_i = c_p(T_e - T_i) = (u_e - u_i) + \frac{(p_e v_e - p_i v_i)}{J} \quad 4$$

dimana :

h : enthalpi per satuan berat (Btu/lb)

k :  $c_p/c_v$  perbandingan panas spesifik

Untuk proses reversibel berlaku :

$$Tds = du + \frac{P}{J} dv \quad 5$$

dan

$$Tds = dh - \frac{V}{J} dp \quad 6$$

s : entropi per satuan berat (Btu/lb°R).

### Proses (0-1) langkah hisap :

Dalam proses ini udara sebanyak  $m$  masuk ke dalam silinder pada tekanan konstan. Udara tersebut mengisi ruang silinder yang bertambah besar karena torak bergerak dari TMA ke TMB, dalam hal ini udara seakan melakukan kerja sebesar :

$$\frac{W_{0-1}}{J} = \frac{P_o(V_1 - V_0)}{J}$$

### Proses (1-2) langkah kompresi :

Proses kompresi dianggap berlangsung secara isentropis sehingga  $Q=0$  dan  $\Delta S=0$ . Jadi kerja yang diperlukan adalah :

$$\frac{W_{1-2}}{J} = -\Delta U = U_1 - U_2$$

Untuk proses yang berlangsung secara isentropis berlaku hubungan :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\left( \frac{k-1}{k} \right)} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{(k-1)}$$

maka :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\left( \frac{k-1}{k} \right)} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{(k-1)} = (r)^{(k-1)}$$

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_l + V_s}{V_s} \quad \text{disebut sebagai } \mathbf{perbandingan \text{ kompresi.}}$$

Ket :

$V_l$  : volume langkah

$V_s$  : volume sisa

Dari persamaan tersebut di atas terlihat bahwa tekanan dan temperatur fluida kerja pada akhir langkah kompresi akan bertambah besar. Semakin besar perbandingan kompresi kenaikan tersebut juga semakin besar.

### **Proses (2-3a), langkah pemasukan kalor pada volume konstan.**

Ketika torak sudah mencapai TMA (titik 2) maka sejumlah kalor yaitu sebesar  $Q_{2-3a}$  dimasukkan ke dalam sistim (fluida kerja). Proses tersebut berjalan pada volume konstan sehingga fluida tidak dikenai maupun melakukan kerja ( $W=0$ ), maka :

$$Q_{2-3a} = \Delta U = U_{3a} - U_2 = mc_v (T_{3a} - T_2)$$

Dari persamaan ini berarti bahwa  $T_{3a}$  makin bertambah tinggi,. Makin banyak kalor yang dimasukkan makin besar pula  $T_{3a}$ .

### **Proses (3a-3), langkah pemasukan kalor pada tekanan konstan.**

Setelah temperatur fluida kerja mencapai  $T_{3a}$  dan torak sudah mencapai TMA, kemudian pemasukan kalor dilanjutkan pada proses tekanan konstan. Pada saat itu torak sudah bergerak dari TMA ke TMB atau volume fluida berubah dari  $V_{3a}$  menjadi  $V_3$ . Banyaknya kalor yang dimasukkan pada langkah ini adalah :

$$Q_{3a-3} = (U_3 - U_{3a}) + \frac{W_{3a-3}}{J}$$

Pada saat itu fluida melakukan kerja dengan mendorong torak bergerak dari TMA ke TMB. Kerja yang dilakukan sebesar  $W$  Yaitu :

$$\frac{W_{3a-3}}{J} = \frac{P_{3a}(V_3 - V_{3a})}{J} = \frac{P_3(V_3 - V_{3a})}{J}$$

Jadi :

$$Q_{3a-3} = (U_3 - U_{3a}) + \frac{P_{3a}(V_3 - V_{3a})}{J} = \left( U_3 + \frac{P_{3a}V_3}{J} \right) - \left( U_{3a} + \frac{P_{3a}V_{3a}}{J} \right)$$

$$Q_{3a-3} = \left( U_3 + \frac{P_{3a} V_3}{J} \right) - \left( U_{3a} + \frac{P_{3a} V_{3a}}{J} \right) = H_3 - H_{3a} = mc_p (T_3 - T_{3a})$$

#### Proses (3-4), langkah ekspansi.

Proses ekspansi ini berlangsung secara isentropis  $Q=0$  dan  $\Delta S=0$ , dan berlaku hubungan :

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{P_4}{P_3} \right)^{\left( \frac{k-1}{k} \right)} = \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{(k-1)} \quad \text{maka :}$$

Sehingga kerja yang dihasilkan adalah :

$$\frac{W_{3-4}}{J} = -\Delta U = U_3 - U_4$$

#### Proses (4-1). Langkah pembuangan kalor.

Setelah torak mencapai TMB sejumlah kalor harus dikeluarkan dari dalam silinder sehingga temperatur fluida kerja turun dari  $T_4$  menjadi  $T_1$ . Proses ini berlangsung pada volume konstan sehingga  $W_{4-1}=0$ . Maka kalor yang dikeluarkan sebanyak :

$$Q_{4-1} = \Delta U = mc_v (T_1 - T_4)$$

#### Proses (1-0). Langkah buang.

Pada proses ini fluida kerja sebanyak  $m$  didorong keluar dari dalam silinder oleh torak yang bergerak dari TMB ke TMA. Proses berjalan pada tekanan konstan. Jadi kerja yang dibutuhkan adalah :

$$\frac{W_{1-0}}{J} = -\frac{P_o (V_1 - V_o)}{J}$$

Dengan demikian kerja per siklus yang dihasilkan per satuan berat udara adalah :

$$\frac{w}{J} = (u_{3a} - u_2) + (h_3 - h_{3a}) + (u_1 - u_4) = q_{2-3a} + q_{3a-3} + q_{4-1} = q_m - q_k$$

$$q_m = q_{2-3a} + q_{3a-3} = (u_{3a} - u_2) + (h_3 - h_{3a}) = c_v (T_{3a} - T_2) + c_p (T_3 - T_{3a})$$

$$q_k = -q_{4-1} = (u_4 - u_1) = c_v (T_4 - T_1)$$

Efisiensi thermis dari siklus **tekanan terbatas** tersebut didefinisikan sebagai perbandingan antara kalor yang dapat diubah menjadi kerja dengan kalor yang masuk.

Jadi efisiensi thermis dari siklus tersebut adalah :

$$\eta_{th} = \frac{w/J}{q_m} = \frac{q_m - q_k}{q_m} = 1 - \frac{q_k}{q_m}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_v (T_{3a} - T_2) + c_p (T_3 - T_{3a})}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_{3a} - T_2) + (T_3 - T_{3a})}$$

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{(k-1)} \left( \frac{\alpha\beta^k - 1}{(\alpha - 1) + k\alpha(\beta - 1)} \right) \quad 8$$

**Siklus udara volume konstan** dipakai sebagai idealisasi pada **motor bensin** (siklus Otto). Kalor yang dimasukkan dianggap ekuivalen dengan kalor yang diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar. Proses pemasukkan kalor tersebut berlangsung pada volume konstan, yaitu pada saat torak masih berada di TMA. Efisiensinya dapat dihitung dengan memasukkan harga  $\beta=1$  ke dalam persamaan 8.

Pada siklus tekanan konstan kalor dimasukkan dengan proses tekanan konstan yaitu pada saat torak bergerak dari TMA ke TMB . Siklus ini merupakan siklus ideal untuk **motor diesel**. Efisiensi siklus ini dapat diperoleh dengan memasukkan harga  $\alpha=1$  ke dalam persamaan 8. Proses pemasukkan kalor pada tekanan konstan sangat sulit untuk dapat dilaksanakan. Disamping itu efisiensinya juga lebih rendah. Oleh karena itu perhitungan perancangan mesin disel modern menggunakan siklus tekanan terbatas sebagai siklus idealnya.

Efisiensi dari ketiga siklus tersebut dapat dibandingkan dengan melihat formulasi perhitungan efisiensi berikut ini :

**a. Siklus volume konstan (Otto):**

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{(k-1)} \quad 9$$

**b. Siklus tekanan konstan (Diesel) :**

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{(k-1)} \left( \frac{\beta^k - 1}{k\alpha(\beta - 1)} \right) \quad 10$$

**c. Siklus tekanan terbatas (Dual Diesel):**

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{(k-1)} \left( \frac{\alpha\beta^k - 1}{(\alpha - 1) + k\alpha(\beta - 1)} \right)$$

Dari ketiga persamaan tersebut dapat disimpulkan :

1. Untuk jumlah kalor yang sama dan perbandingan kompresi yang sama pula ,  
maka :  $\eta_{\text{volume. konstan}} > \eta_{\text{tekanan terbatas}} > \eta_{\text{tekanan konstan}}$
2. Untuk jumlah kalor yang sama dan tekanan maksimum yang sama maka :  $\eta_{\text{tekanan konstan}} > \eta_{\text{tekanan terbatas}} > \eta_{\text{volume konstan.}}$

Kedua kesimpulan ini sangat penting karena pada kenyataanya motor disel menggunakan perbandingan kompresi yang jauh lebih tinggi dari pada motor bensin.

#### 4. Tekanan Efektif Rata-rata

Dari pembahasan sebelumnya dapat dilihat bahwa efisiensi siklus sangat bergantung pada perbandingan kompresinya. Sedangkan tekanan, temperatur dan kerja per siklus yang dihasilkan bergantung pada  $P_1$ ,  $T_1$  dan  $Q_{2-3}$ . Selain itu selama siklus berlangsung tekanan dan temperatur akan berubah-ubah. Oleh karena itu diintrodusir variabel lain yaitu harga tekanan tertentu (yang konstan) yang dapat mendorong torak sepanjang langkahnya dan dapat menghasilkan kerja per siklus yang sama dengan siklus yang dianalisis. Tekanan tersebut dinamakan tekanan efektif rata-rata,  $P_{rerata}$  yang didefinisikan sebagai :

$$P_{rerata} = \frac{\text{kerja persiklus}}{\text{volume langkah torak}}$$

$$P_{rerata} = \frac{W_{per siklus}}{V_l} = \frac{\eta Q_{2-3}}{V_l} \quad 11$$

Dengan demikian kerja per siklus adalah :

$$\text{Kerja per Siklus} = P_{rerata} \times V_l$$

Jadi daya yang dihasilkan oleh sebuah mesin dapat dihitung dengan persamaan :

$$N = P_{rerata} \cdot V_l \cdot z \cdot n \cdot a \cdot \frac{1}{12 \times 3300} \quad Hp \quad 12$$

Ket :

N : daya motor (Hp)

$V_l$  : volume langkah (Inches<sup>3</sup>)

$P_{rerata}$  : tekanan efektif rata-rata (psi).

Z : jumlah silinder

N : putaran poros engkol (rpm)

a : jumlah siklus per putaran.

= 1 untuk motor 2 langkah

= 1/2 untuk motor 4 langkah

1 Hp = 33000 ft-lb/min. (faktor konversi satuan)

1ft = 12 inches (faktor konversi satuan)

Secara grafis tekanan rata-rata dapat ditentukan dengan menarik garis tekanan konstan sedemikian rupa sehingga luas daerah (diagram PvsV) yang dibatasi oleh garis A-B-C-D-A sama dengan luas daerah 0-1-2-3a-3-4-1-0. Luas bidang tersebut menyatakan besarnya kerja per siklus per lb fluida kerja, per silinder.





Efisiensi indikatif diperoleh dengan melakukan pengukuran dan didefinisikan sebagai :

$$\eta_i = \frac{\text{kerja per siklus sebenarnya}}{\text{energi yang dimasukkan per siklus}} \quad 13$$

Kerja per siklus didapat dengan cara mengukur luas diagram P vs V dari siklus sebenarnya. Diagram tersebut diperoleh dari pengukuran tekanan gas di dalam silinder dengan alat khusus yang dibuat untuk keperluan tersebut. Diagram tersebut biasa disebut diagram P vs V dan kerja per siklus yang didapat dinamakan kerja indikatif. ( $W_i$ ). Tekanan efektif rata-ratanya dinamakan tekanan efektif rata-rata indikatif ( $P_{i \text{ rerata}}$ )

Dalam mesin yang sesungguhnya energi yang dimasukkan ke dalam sistim (mesin) didapat dari proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Jadi energi yang masuk dihitung berdasarkan jumlah energi bahan bakar tersebut, yaitu :

$$\dot{Q}_m = \dot{m}_f \times Q_c = AF \dot{m}_a \times Q_c \quad (\text{Btu} / \text{Jam}) \quad 14$$

$$\dot{Q}_m = \dot{m}_f \times Q_c \times \frac{778}{3600 \times 550} \quad (\text{Hp}) \quad \text{atau}$$

$$\dot{Q}_m = AF \dot{m}_a \times Q_c \times \frac{778}{3600 \times 550} \quad (\text{Hp}) \quad 15$$

dimana :

$\dot{m}_f$  : berat bahan bakar yang digunakan (lb/jam)

$\dot{m}_a$  : berat udara yang digunakan (lb/jam)

$Q_c$  : nilai kalor bahan bakar (Btu/lb)

AF : perbandingan bahan bakar udara

Jadi efisiensi thermis indikatif dapat ditulis :sebagai berikut :

$$\eta_i = \frac{N_i}{\dot{m}_f \times Q_c} \times \frac{3600 \times 550}{778}$$

$$\eta_i = \frac{P_{i \text{ rerata}} \times V_l \times z \times n \times a}{\dot{m}_f} \times \frac{5}{778}$$

Contoh :

Dari pengukuran diagram P vs V motor bakar torak dua langkah didapat  $P_{i \text{ rerata}} = 110$  psi. Jika  $V = 60 \text{ in}^3$ ,  $z = 6$  buah,  $n = 1600 \text{ rpm}$ , konsumsi bahan bakar ,  $\dot{m}_f = 47,6 \text{ lb/jam}$  dan nilai kalor bahan bakar,  $Q_c = 19000 \text{ Btu/lb}$ . Hitung berapa daya motor dan berapa pula efisiensinya?

Penyelesaian :

$$N_i = \frac{110 \times 60 \times 6 \times 1600 \times 1}{12 \times 33000} \quad \text{Hp} = 160 \quad \text{Hp}$$

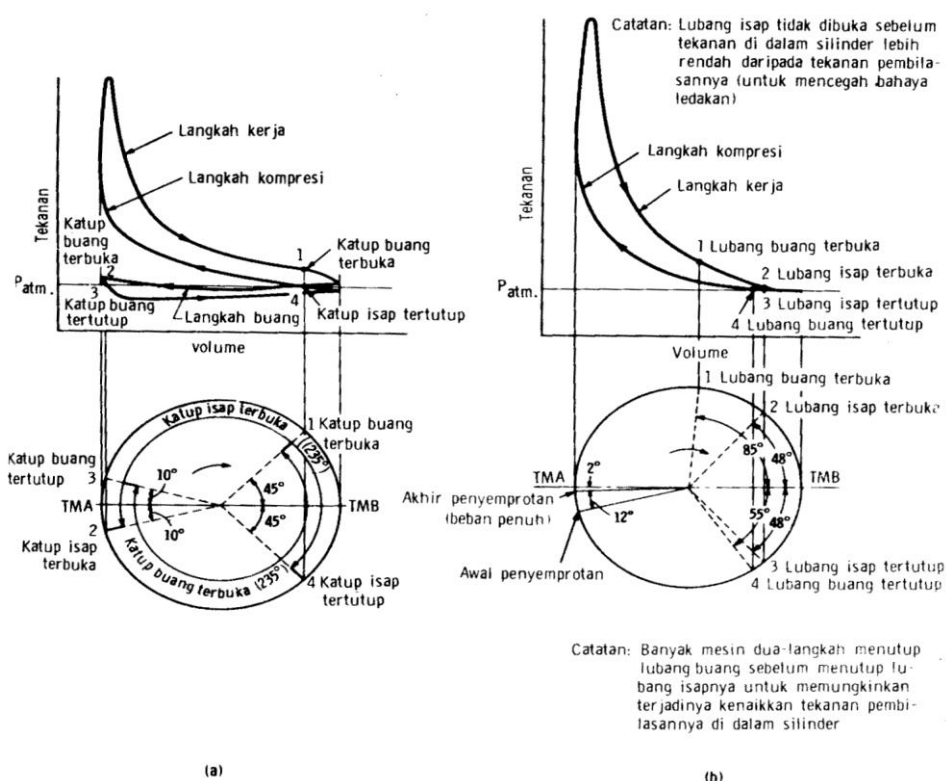
$$\eta_i = \frac{160}{47,6 \times 19000} \times \frac{3600 \times 550}{778} = 0,45$$

Perbedaan yang terjadi antara siklus udara dengan siklus sebenarnya antara lain disebabkan karena beberapa hal sebagai berikut :

- Kebocoran yang pasti terjadi pada celah cincin torak dan pada katup.

- b. Pembukaan dan penutupan katup tidak tepat pada saat posisi torak pada TMA dan TMB. Hal ini karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida.
- c. Fluida kerja bukan udara yang dapat dianggap memenuhi hukum gas ideal.
- d. Energi yang masuk didapat dari proses pembakaran bahan bakar, dimana proses tersebut memerlukan waktu. Jadi energi masuk tidak dimasukkan tepat pada saat posisi torak pada TMA.
- e. Proses pembakaran bahan bakar memerlukan waktu, akibatnya proses tersebut berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Jadi proses pembakaran harus sudah dimulai ketika torak belum mencapai TMA dan berakhir ketika torak sudah melewati TMA (bergerak ke TMB). Dengan demikian pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan atau tekanan konstan. Disamping itu tidak mungkin terjadi proses pembakaran yang sempurna, sehingga daya dan efisiensinya sangat tergantung pada perbandingan campuran bahan bakar-udara, kesempurnaan bercampurnya bahan bakar dengan udara dan saat penyalaan.
- f. Terjadi kerugian kalor karena perpindahan panas dari fluida kerja ke fluida pendingin mesin, terutama pada saat langkah kompresi, langkah ekspansi dan saat gas buang meninggalkan silinder. Pendinginan diperlukan untuk mendinginkan bagian mesin yang panas agar tidak mengalami perubahan sifat mekanis material yang dapat menyebabkan kerusakan.
- g. Kerugian energi akibat gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Dengan adanya berbagai kerugian tersebut maka bentuk P vs V diagram dari siklus ideal tidak sama dengan siklus sebenarnya. Gambar 14 menunjukkan diagram siklus motor bakar torak 2 langkah dan 4 langkah yang sebenarnya.



Gambar 14: Hubungan antara sudut engkol dengan diagram siklus sebenarnya

- a. Motor 4 langkah
- b. Motor 2 langkah

**6. Tugas.**

1. Apa yang dimaksud siklus udara tekanan terbatas?
2. Jelaskan siklus mesin diesel dan siklus otto?

### BAB III

#### PARAMETER UNJUK KERJA

#### 1. Daya

Pada motor bakar yang dimaksud daya berguna adalah daya poros, karena poros tersebut yang menggerakkan beban. Daya tersebut berasal dari daya indikatif yaitu daya yang daya indikatif digunakan untuk mengatasi kerugian daya akibat gesekan-gesekan, misalnya :

- gesekan antara torak (cincin torak) dengan dinding silinder
- gesekan antara poros dengan bantalannya,
- gesekan antara fluida dengan salurannya.

Disamping itu untuk mendukung bekerjanya, mesin memerlukan beberapa aksesoris misalnya :

- pompa minyak pelumas
- pompa air pendingin
- pompa bahan bakar
- generator, blower
- pengisian akumulator
- lampu-lampu..

Jadi daya poros adalah :

$$N_e = N_i - (N_g + N_a)$$

dimana :

- $N_e$  : daya poros atau daya efektif (Hp)  
 $N_i$  : daya indikatif (Hp)  
 $N_g$  : daya untuk mengatasi gesekan-gesekan (Hp)  
 $N_a$  : daya untuk aksesoris mesin (Hp)

Daya poros dapat diukur secara tidak langsung dengan dinamometer. Dinamometer sebenarnya mengukur momen torsi motor. Oleh karena itu memerlukan variabel lain yaitu putaran poros motor yang dapat diukur dengan tachometer. Hubungan antara momen torsi dengan daya motor adalah sebagai berikut :

$$N_e = \frac{\pi n}{30} \times T \times \frac{1}{12 \times 550} \quad Hp \quad 17$$

Ket :

- $T$  : momen torsi (in-lb)  
 $N$  : putaran poros mesin

Dari persamaan 16 dapat diambil kesimpulan bahwa kerugian daya untuk mengatasi gesekan dan untuk aksesoris harus diusahakan sekecil mungkin agar diperoleh daya

poros yang besar. Besarnya kerugian daya diatas diperhitungkan dalam efisiensi mekanis ( $\eta_m$ ) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{P_{e \text{ rerata}}}{P_{i \text{ rerata}}}$$

## 2. Efisiensi thermis

Efisiensi thermis didefinisikan sebagai perbandingan antara energi/kalor yang masuk dengan energi/daya yang berguna. Karena energi yang masuk adalah energi kalor dari proses pembakaran bahan bakar, maka efisiensi didefinisikan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{N_e}{m_f \cdot Q_c} \times \frac{3600 \times 550}{778} = \frac{P_{e \text{ rerata}} \times V_l \times z \times n \times a}{m_f \cdot Q_c} \times \frac{5}{778}$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m$$

Persamaan 17 menunjukkan bahwa momen torsi juga merupakan suatu indikator seberapa kuat suatu mesin menangani beban. Jadi jika persamaan 14, dan 18 disubstitusikan kembali ke persamaan 17, maka didapat :

$$T = (V_l \times z \times a \times \frac{1}{2\pi}) \times P_{e \text{ rerata}} \quad 20$$

$$T = C \times P_{e \text{ rerata}} \quad \text{dimana } C : \text{ adalah konstanta.} \quad 21$$

$$C = (V_l \times z \times a \times \frac{1}{2\pi}) \times P_{e \text{ rerata}} \quad (in^3)$$

Jadi  $P_{e \text{ rerata}}$  juga mengindikasikan ukuran beban yang dapat ditangani mesin tersebut.

## 3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Parameter unjuk kerja lainnya yang juga sangat penting adalah konsumsi bahan bakar spesifik Sfc yang menyatakan perbandingan antara konsumsi bahan bakar dengan daya yang dihasilkan dan diformulasikan :

$$Sfc = \frac{m_f \cdot}{N} \left( \frac{lb / jam}{Hp} \right) \quad 22$$

Jadi untuk konsumsi bahan bakar spesifik indikatif :

$$Sfc_i = \frac{m_f \cdot}{N_i} \left( \frac{lb / jam}{iHp} \right)$$

Dan untuk konsumsi bahan bakar spesifik efektif :

$$Sfc_e = \frac{m_f \cdot}{N_e} \left( \frac{lb / jam}{eHp} \right)$$

Parameter ini dapat dipakai sebagai indikator irit tidaknya suatu mesin dalam mengkonsumsi bahan bakar tiap daya kuda yang dihasilkan. Harga Sfc yang rendah

menunjukkan bahwa mesin tersebut makin irit dalam pemakaian bahan bakar atau efisiensinya makin tinggi.

#### 4. Tekanan Efektif Rata-rata Dan Tekanan Maksimum

Seperti telah dibahas sebelumnya bahwa tekanan efektif rata-rata merupakan tekanan efektif fluida yang mendorong torak agar terekspansi dan menghasilkan daya mekanis. Sedangkan tekanan maksimum adalah tekanan tertinggi yang dicapai selama siklus berjalan. Tekanan maksimum ini terkait dengan kekuatan material bahan mesin.

$$P = \frac{N}{V_l}$$

Jadi untuk tekanan efektif rata-rata indikatif :

$$P_i = \frac{N_i}{V_l}$$

Dan untuk tekanan efektif rata-rata efektif :

$$P_e = \frac{N_e}{V_l}$$

Selain itu ada satu parameter lagi yaitu rasio  $\frac{P_{rerata}}{P_{mkas}}$ , rasio ini akan turun jika

perbandingan kompresinya naik. Hal ini berarti tekanan fluida kerja maksimum untuk harga  $P_{rerata}$  tertentu akan naik secara tajam jika perbandingan kompresinya dinaikkan. Oleh karena itu di dalam merancang mesin motor bakar torak terutama mesin disel, harus diusahakan agar tekanan kerja maksimum dapat dibatasi bila perbandingan kompresinya dipertinggi.

Pada pembahasan sebelumnya telah didapat bahwa pada motor bakar torak yang sebenarnya, katup-katup tidak dapat dibuka atau ditutup secepat kilat pada saat torak berada pada posisi titik mati. Dengan menggunakan poros kam, katup dibuka secara bertahap (Gb.8), tanpa menimbulkan kerugian kerja yang terlalu besar, sehingga dapat menghasilkan kerja per siklus maksimum. Hal ini dapat dicapai dengan suatu eksperimen. Tetapi pada dasarnya hal itu ditentukan oleh tekanan hisap, tekanan buang, konstruksi katup dan kecepatan torak rata-rata. Adapun kecepatan torak rata-rata dapat dihitung sebagai berikut :

$$c = \frac{2 l n}{60} = \frac{l n}{30}$$

23

dimana : c : kecepatan rata-rata torak

n : putaran poros

l : panjang langkah torak.

Pada motor dua langkah biasanya lubang hisap dan lubang buang terdapat pada silinder, kecuali yang memakai sistim pembilasan searah lubang buangnya terletak pada

kepala silinder. Lubang-lubang tersebut dibuka dan ditutup oleh torak yang bergerak di dalam silinder. Proses buang dan proses hisap terjadi pada saat torak berada disekitar TMB karena pada motor 2 langkah, satu siklus lengkap berlangsung pada satu putaran poros engkol. Semua gas sisa pembakaran yang sudah tidak terpakai lagi dikeluarkan selama langkah buang, sedangkan udara (dan bahan bakar) dapat dimasukkan seefektif mungkin pada saat langkah hisap. Dengan demikian saat/waktu pembukaan katup menjadi sangat penting dan spesifik untuk setiap mesin. Tabel dibawah ini menunjukkan saat katup hisap dan katup buang membuka dan menutup. Data tersebut adalah data yang biasanya dipakai pada motor bakar torak pada umumnya.

Tabel 2 : Saat Pembukaan dan Penutupan Katup Hisap dan Buang

Jenis	Katup/ Lubang Hisap		Katup/ Lubang Buang	
	Mulai terbuka °sudut engkol	Tertutup °sudut engkol	Mulai terbuka °sudut engkol	Tertutup °sudut engkol
4 langkah ⌘ Motor bensin ⌘ Motor disel	10-30 seb		45-65 seb	15-45 ses
	TMA	45-80 ses TMB	TMB	TMA
	20-40 seb	20-50 ses TMB	35-55 seb	10-35 ses
	TMA		TMB	TMA
2 langkah Motor bensin atau motor disel	45-60 seb.TMB	45-60 ses TMB	55-85 seb.TMB	55-85 ses. TMB

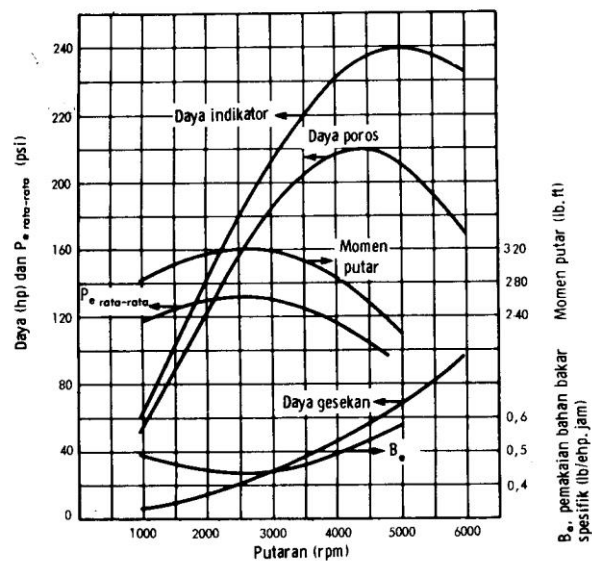
Data praktis mengenai beberapa parameter pembanding antara motor bensin dengan motor disel dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3 : Parameter Pembanding Antara Motor Bensin Dengan Motor Disel

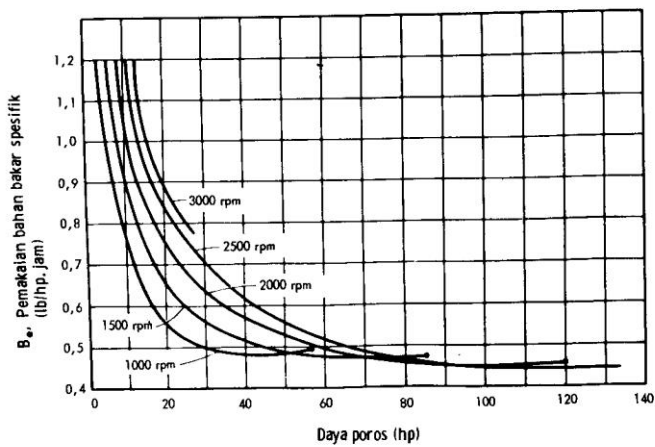
Parameter	Motor Bensin	Motor Disel
Daya efektif , Ne (Hp)	1,5 - 1500	... - 40.000
Putaran, n (rpm)	2500 - 14500	110 - 4200
Perbandingan kompresi, r	6 - 12	12 - 25
Tekanan efektif rata-rata, Pe rerata (psi)	60 - 360	80 - 250
Konsumsi bahan bakar spesifik, $Sfc (\frac{lb}{jam})$ Hp	0,440 - 0,480	0,330 - 0,340
Diameter silinder, D (in)	1 - 6,5	3,3 - 41,3
Kecepatan torak rata-rata, c (ft/min)	1400 - 4400	1100 - 2500
Berat mesin, lb/Hp	0,70 - 0,50	6,00 - 85,00
Efisiensi mekanik, ηm	0,70 - 0,85	0,70 - 0,90



Gambar 15 sampai dengan 20 memperlihatkan grafik unjuk kerja mesin dari motor bakar torak tertentu.



Gambar 3.1 : Hasil uji putaran berubah motor bensin dengan katup gas terbuka penuh (r=9)



## TUGAS

1. Apa yang dimaksud efisiensi thermis?
2. Bagaimana cara pengukuran kinerja mesin?