

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **II.1 Motor Bakar**

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Terjadinya energi panas karena adanya proses pembakaran, bahan bakar, udara dan system pengapian. Dengan adanya suatu konstruksi mesin, memungkinkan terjadinya siklus kerja mesin untuk usaha dan tenaga dorong dari hasil pembakaran yang di ubah oleh konstruksi mesin menjadi energi mekanik atau tenaga gerak.

#### **II.2 Jenis Motor Bakar**

##### *II.2.1 Motor Pembakaran Luar (External Combustion Engine)*

Motor pembakaran luar adalah suatu motor dimana proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan diluar dari mekanisme/konstruksi mesin. Dari ruang pembakaran energi panas tersebut dialirkan ke konstruksi mesin melalui media penghubung lagi. Contoh pembakaran luar adalah mesin uap/turbin uap dan mesin nuklir/turbin nuklir.

##### *II.2.2 Motor Pembakaran dalam (Internal Combustion Engine)*

Pada motor pembakaran dalam, proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan di dalam konstruksi mesin itu sendiri dan tempat terjadinya proses

pembakaran itu disebut ruang bakar. Contohnya adalah motor bensin, motor diesel dan mesin jet.

Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu motor bensin (Otto) dan motor diesel. Perbedaan kedua jenis motor tersebut sangat jelas sekali yaitu jika motor bensin menggunakan bahan bakar bensin (premium) sedangkan motor diesel menggunakan bahan bakar solar. Perbedaan yang utama juga terletak pada sistem penyalanya. Dimana pada motor bensin menggunakan busi sebagai media pengapiannya sedangkan pada motor diesel memanfaatkan suhu kompresi yang tinggi untuk dapat membakar bahan bakar solar.

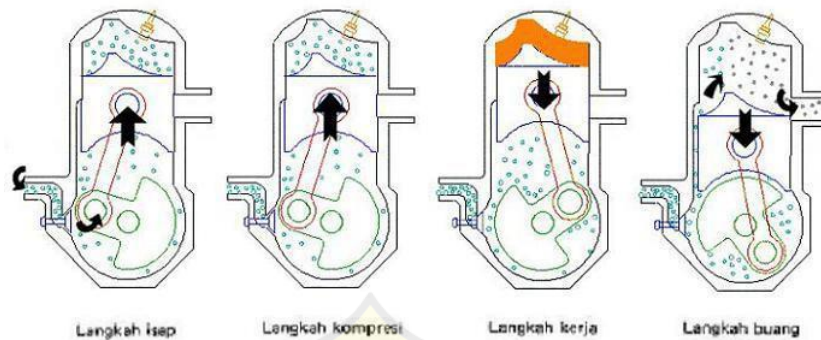
#### II.2.2.1 Motor Bensin

Motor bensin adalah proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Proses pembakaran pada volume tetap ini disebabkan pada waktu terjadi kompresi, dimana campuran bahan bakar dan udara mengalami proses kompresi di dalam silinder, dengan adanya tekanan ini bahan bakar dan udara dalam keadaan siap terbakar dan busi meloncatkan bunga listrik sehingga terjadi pembakaran dalam waktu yang singkat sehingga campuran tersebut terbakar habis seketika dan menimbulkan kenaikan suhu dalam ruang bakar.

##### 1. Prinsip Kerja Motor Bensin

Prinsip kerja motor bakar dibedakan menjadi dua, yaitu : motor 2 langkah dan motor 4 langkah.

### a. Motor bensin 2 langkah



Gambar 2.1 Skema Gerak Torak 2 Langkah

Motor bensin 2 langkah adalah mesin yang proses pembakarannya dilaksanakan dalam satu kali putaran poros engkol atau dalam dua kali gerakan piston. Pada gambar 1 merupakan kerja pada motor 2 langkah, jika piston bergerak naik dari titik mati bawah ke titik mati atas maka saluran bilas dan saluran buang akan tertutup. Dalam hal ini bahan bakar dan udara dalam ruang bakar dikompresikan. Sementara itu campuran bahan bakar dan udara masuk ruang engkol, beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas, busi akan meloncatkan api sehingga terjadi pembakaran bahan bakar.

Prinsip kerja dari motor 2 langkah :

#### **Langkah hisap :**

- 1) Torak bergerak dari TMA ke TMB.
- 2) Pada saat saluran bilas masih tertutup oleh torak, didalam bak mesin terjadi kompresi terhadap campuran bahan bakar dan udara.
- 3) Di atas torak, gas sisa hasil pembakaran sebelumnya sudah mulai terbuang keluar saluran buang.

- 4) Saat saluran bilas terbuka, campuran bahan bakar dan udara mengalir melalui saluran bilas menuju kedalam ruang bakar.

**Langkah kompresi :**

- 1) Torak bergerak dari TMB ke TMA.
- 2) Rongga bilas dan rongga buang tertutup, terjadi langkah kompresi dan setelah mencapai tekanan tinggi busi memercikkan bunga api untuk membakar campuran bahan bakar dengan udara tersebut.
- 3) Pada saat yang bersamaan, dibawah (di dalam bak mesin) bahan bakar yang baru masuk kedalam bak mesin melalui saluran masuk.

**Langkah kerja/ekspansi :**

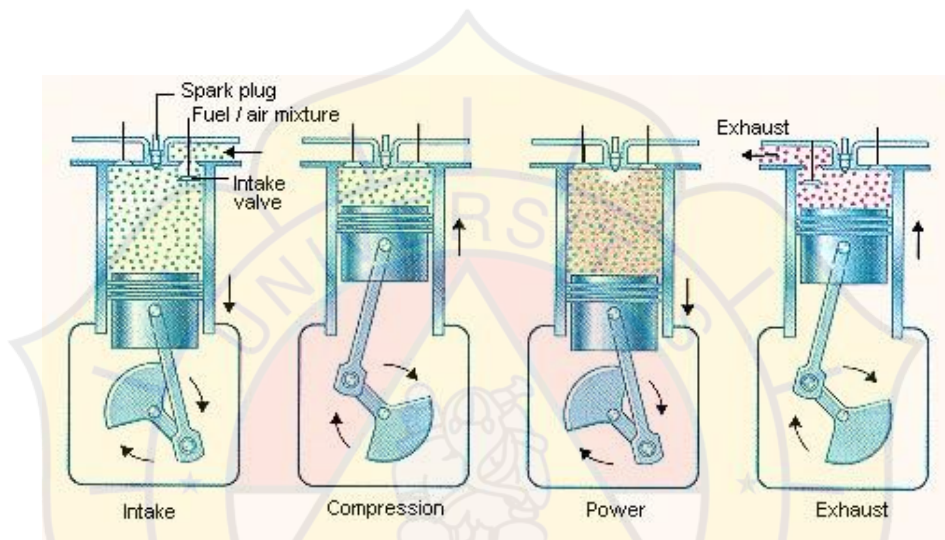
- 1) Torak kembali dari TMA ke TMB akibat tekanan besar yang terjadi pada waktu pembakaran bahan bakar.
- 2) Saat itu torak turun sambil mengkompresi bahan bakar baru di dalam bak mesin.

**Langkah buang :**

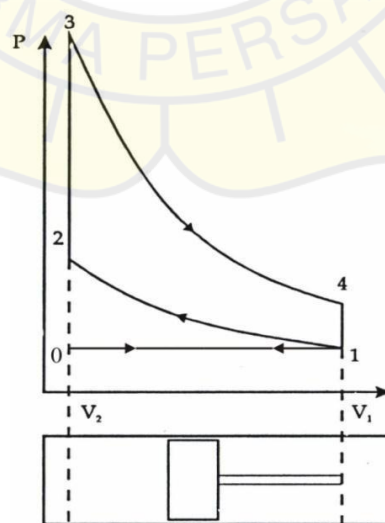
- 1) Menjelang torak mencapai TMB, saluran buang terbuka dan gas sisa pembakaran mengalir terbuang keluar.
- 2) Pada saat yang sama bahan bakar baru masuk ke dalam ruang bahan bakar melalui rongga bilas.
- 3) Setelah mencapai TMB kembali, torak mencapai TMB untuk mengadakan langkah sebagai pengulangan dari yang dijelaskan diatas.

## b. Motor Bensin 4 Langkah

Motor bakar bensin 4-langkah adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi menggunakan udara bercampur dengan bensin dan untuk menyelesaikan satu siklusnya diperlukan empat langkah piston dan dua kali putaran poros engkol, seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2.2 Siklus motor bakar bensin 4 langkah



Gambar 2.3 Diagram P-V dari siklus ideal motor bakar bensin 4-langkah (Wardono, 2004)

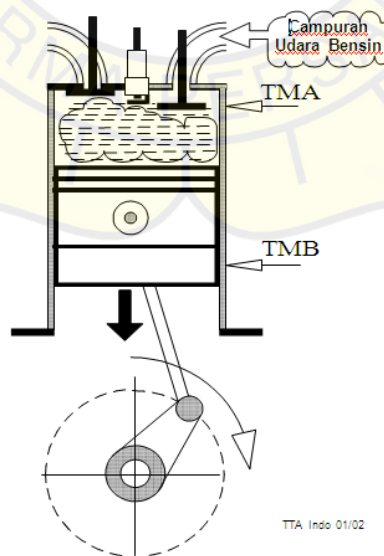
Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin 4-langkah dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara volume konstan seperti ditunjukkan pada gambar 3.

Keterangan mengenai proses-proses pada siklus udara volume konstan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pertama-tama piston harus diberi kerja awal dengan cara (menstarter, mengengkol atau mendorong).

a. Proses 0 - 1 : Langkah hisap (*Intake*)

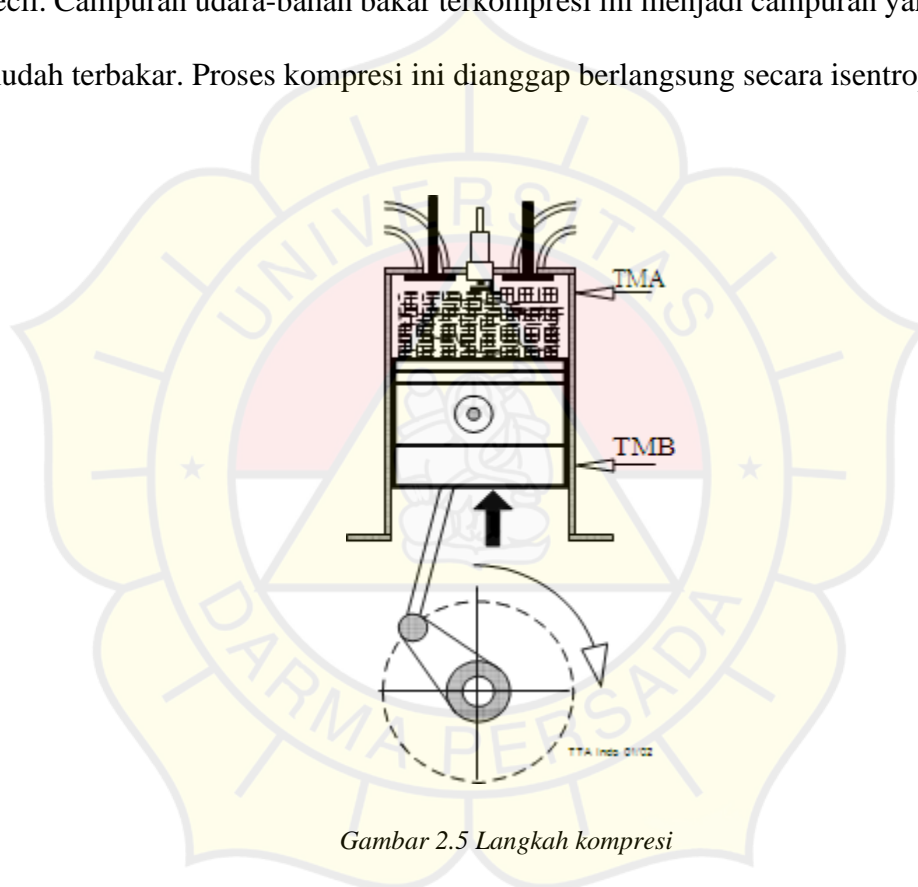
Pada langkah hisap campuran udara-bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam silinder dengan Bergeraknya piston ke bawah, dari TMA menuju TMB. Katup hisap pada posisi terbuka, sedang katup buang pada posisi tertutup. Di akhir langkah hisap, katup hisap tertutup secara otomatis. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan. Proses dianggap berlangsung pada tekanan konstan.



Gambar 2.4 Langkah hisap

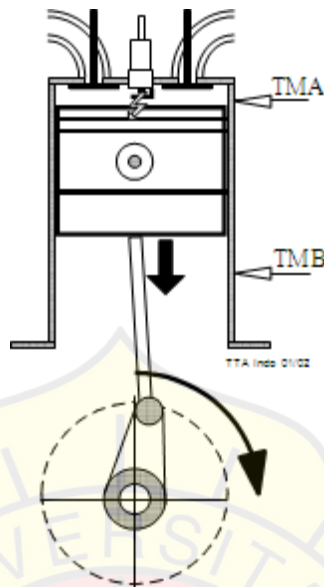
a. Proses 1 - 2 : Langkah kompresi (*Compression*)

Pada langkah kompresi katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari TMB menuju TMA. Akibatnya campuran udara-bahan bakar terkompresi. Proses kompresi ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan campuran tersebut, karena volumenya semakin kecil. Campuran udara-bahan bakar terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar. Proses kompresi ini dianggap berlangsung secara isentropik.



Gambar 2.5 Langkah kompresi

- b. Proses 2 - 3 : Langkah pembakaran volume konstan



Gambar 2.6 Langkah Pembakaran

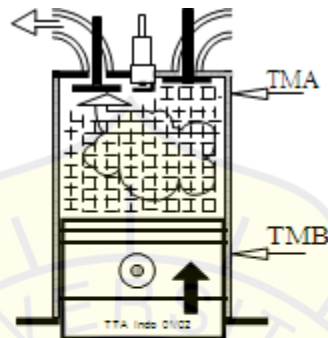
Pada saat piston hampir mencapai TMA, loncatan nyala api listrik diantara kedua elektroda busi diberikan ke campuran udara-bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara-bahan bakar ini terbakar. Akibatnya terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Kedua katup pada posisi tertutup. Proses ini dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan.

- c. Proses 3 - 4 : Langkah kerja/ekspansi (*Expansion*)

Kedua katup masih pada posisi tertutup. Gas pembakaran yang terjadi selanjutnya mampu mendorong piston untuk bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Dengan bergerak piston menuju TMB, maka volume gas pembakaran di dalam silinder semakin bertambah, akibatnya temperatur dan tekanannya turun. Proses ekspansi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

- d. Proses 4 - 1 : Langkah buang volume konstan (*Exhaust*)

Saat piston telah mencapai TMB, katup buang telah terbuka secara otomatis sedangkan katup hisap masih pada posisi tertutup. Langkah ini dianggap sebagai langkah pelepasan kalor gas pembakaran yang terjadi pada volume konstan.



Gambar 2.7 Langkah buang

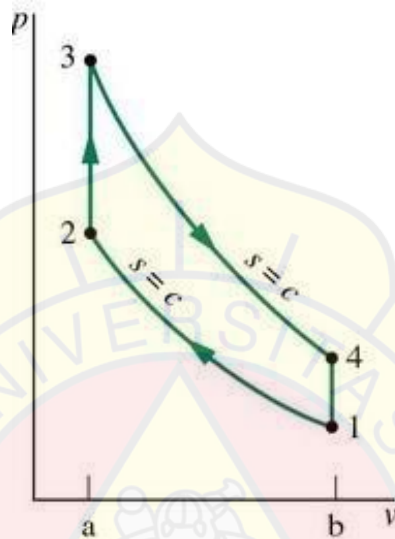
- f) Proses 1 - 0 : Langkah buang tekanan konstan

Selanjutnya piston bergerak kembali dari TMB menuju TMA. Gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) dikarenakan Bergeraknya piston menuju TMA. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.

### II.3 Siklus Termodinamika Motor Bakar Bensin Mesin Innova 1 TR-FE

Siklus termodinamika pada mesin bensin ini adalah Siklus Otto. Dimana siklus ini adalah siklus termodinamika yang paling banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Mobil dan sepeda motor berbahan bakar bensin (Petrol Fuel)

adalah contoh penerapan dari sebuah siklus Otto. Secara termodinamika, siklus ini memiliki 4 buah proses termodinamika yang terdiri dari 2 buah proses isokhorik (volume tetap) dan 2 buah proses adiabatik (kalor tetap). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram 2.1 tekanan ( $p$ ) vs temperatur ( $V$ ) berikut:



Gambar 2.8 Diagram  $P - V$

Proses yang terjadi adalah :

- 1-2 : Kompresi adiabatik
- 2-3 : Pembakaran isokhorik
- 3-4 : Ekspansi / langkah kerja adiabatik
- 4-1 : Langkah buang isokhorik

Beberapa rumus yang digunakan untuk menganalisa sebuah siklus Otto adalah sebagai berikut :

1. Langkah hisap

$$V_d = \frac{1998cc}{4} \dots\dots\dots (\text{pers.2.1})$$

$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c} \dots\dots\dots (\text{pers.2.2})$$

$$V_1 = V_d + V_c \dots\dots\dots (\text{pers.2.3})$$

$$m_m = \frac{P_1 \cdot V_1}{RT_1} \dots\dots\dots (\text{pers.2.4})$$

$$W_{6-1} = P_o (V_1 - V_6) \dots\dots\dots (\text{pers.2.5})$$

2. Langkah Kompresi

$$P_2 = P_1 (r_c)^k \dots\dots\dots (\text{pers.2.6})$$

$$T_2 = T_1 (r_c)^{k-1} \dots\dots\dots (\text{pers.2.7})$$

$$AF = \frac{m_a}{m_f} \dots\dots\dots (\text{pers.2.8})$$

$$m_a = m_m - m_f \dots\dots\dots (\text{pers.2.9})$$

$$\rho_a = \frac{P_1}{RT_1} \dots\dots\dots (\text{pers.2.10})$$

$$V_2 = \frac{m_m \cdot RT_1}{P_2} \dots\dots\dots (\text{pers.2.11})$$

$$W = \frac{m_m (T_2 - T_1)}{1-k} \dots\dots\dots (\text{pers.2.12})$$

3. Langkah pembakaran

$$P_3 = P_2 \left( \frac{T_3}{T_2} \right) \dots\dots\dots (\text{pers.2.13})$$

$$T_3 = \frac{Q_{in} + m_m \cdot C_p T_2}{m_m \cdot C_p} \dots\dots\dots (\text{pers.2.14})$$

$$W_{2-3} = P_2(V_3 - V_2) \dots\dots\dots (\text{pers.2.15})$$

4. Langkah usaha

$$T_4 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \dots\dots\dots (\text{pers.2.16})$$

$$P = \frac{V_3^k}{P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)} \dots\dots\dots (\text{pers.2.17})$$

$$W_{3-4} = \frac{m_m \cdot R(T_4 - T_3)}{1 - k} \dots\dots\dots (\text{pers.2.18})$$

5. Langkah pembuangan

$$Q_{4-5} = Q_{out} = m_m C_v (T_5 - T_4) = m_m C_v (T_1 - T_4) \dots\dots\dots (\text{pers.2.19})$$

$$W_{5-6} = P_1 (V_6 - V_5) \dots\dots\dots (\text{pers.2.20})$$

$$W_{net} = (W_{6-1}) + (W_{1-2}) + (W_{2-3}) + (W_{3-4}) + (W_{4-5}) + (W_{5-6}) \dots\dots\dots (\text{pers.2.21})$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{pers.2.22})$$

6. Tekanan efektif rata rata

$$mep = \frac{W_{net}}{V_d} \dots\dots\dots (\text{pers.2.23})$$

7. Daya indikator

$$W_i = \frac{W_{net} \cdot N}{n} \dots\dots\dots (\text{pers.2.24})$$

8. Brake power

$$W_b = \frac{2\pi N}{60} T \dots\dots\dots (\text{pers.2.25})$$

9. *Konsumsi bahan bakar spesifik*

$$S_{fc} = \frac{m_f}{W_b} \dots\dots\dots (\text{pers.2.26})$$

10. *Efisiensi volume metric*

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_a V_d} \dots\dots\dots (\text{pers.2.27})$$

Dimana parameter – parameternya adalah :

- $r_c$  = rasio kompresi
- $R$  = konstanta gas (kJ/kg-K)
- $C_v$  = panas spesifik pada volume konstan (kJ/kg-K)
- $V_d$  = volume langkah (cc)
- $m_m$  = massa campuran bahan bakar dan udara (kg) atau (lbm)
- $m_a$  = massa udara (kg) atau (lbm)
- $m_f$  = massa bahan bakar (kg) atau (lbm)
- $\rho_a$  = massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)
- $Q_{HV}$  = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)
- $\eta_c$  = efisiensi pembakaran
- $mep$  = tekanan efektif rata-rata (kPa)
- $W_i$  = daya indikasi (kW) atau (hp)
- $N$  = kecepatan mesin (RPM)
- $n$  = jumlah putaran dalam satu siklus

$W_b$  = daya poros (kW) atau (hp)

$sfc$  = konsumsi bahan bakar spesifik (gr/kW-h)

$\eta_{th}$  = efisiensi thermal

$\eta_m$  = efisiensi mekanis

$\eta_v$  = efisiensi volumetrik

$W_{net}$  = kerja netto (kJ)

$m_f$  = laju aliran rata-rata bahan bakar (kg/sec)

