

BAB II

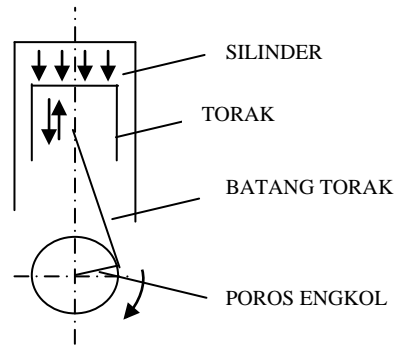
DASAR TEORI

2.1 Pengertian Umum Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang banyak dipakai saat ini. Sedangkan mesin kalor adalah mesin yang menggunakan energi panas untuk melakukan kerja mekanis atau mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanis. Energi atau tenaga panas tersebut diperoleh dari hasil pembakaran.

Ditinjau dari cara memperoleh tenaga panas, mesin kalor dapat dibedakan menjadi dua yaitu mesin dengan pembakaran dalam dan mesin dengan pembakaran luar. Mesin pembakaran dalam adalah mesin yang melakukan proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin tersebut dan gas pembakaran yang terjadi berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam umumnya disebut motor bakar. Jadi motor bakar adalah mesin kalor yang menggunakan gas panas hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin untuk melakukan kerja mekanis. Mesin pembakaran luar adalah mesin di mana proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar mesin dan energi panas dari gas pembakaran dipindahkan ke fluida mesin melalui beberapa dinding pemisah, misal ketel uap.

2.2 Prinsip Kerja Motor Bensin



Gambar 2.1. Mekanisme Torak

Secara garis besar, dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja dari motor bensin yaitu bahan bakar yang berupa campuran bensin dan udara dibakar untuk memperoleh tenaga panas yang selanjutnya digunakan untuk melakukan kerja mekanis.

Campuran antara bensin dan udara dihisap ke dalam silinder selanjutnya dikompresi oleh torak yang berakibat timbulnya panas dan tekanan yang besar pada gas tersebut. Campuran bensin dan udara yang telah dikompresi selanjutnya dibakar oleh percikan bunga api dari busi.

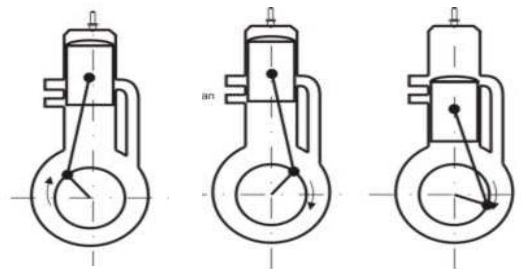
Hasil dari pembakaran tersebut akan menghasilkan tekanan yang sangat tinggi sehingga mendorong torak ke bawah. Daya yang berasal dari torak tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan diubah oleh poros engkol menjadi kerja mekanik. Sedangkan gas hasil pembakaran akan dibuang keluar silinder.

2.3 Klasifikasi Motor Bensin

Menurut prinsip kerjanya motor bensin dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor bensin 2 langkah dan motor bensin 4 langkah.

2.3.1. Motor Bensin 2 Langkah

Motor bensin 2 langkah adalah motor bensin yang setiap siklus kerjanya dalam 2 langkah torak atau 1 kali putaran poros. Prinsip kerja motor bensin 2 langkah dalam 1 kali siklus kerja dapat dijelaskan sebagai berikut :



HISAP & KOMPRESI

EKSPANSI

BUANG

Gambar 2.2. Proses Kerja Motor Bensin 2 Langkah

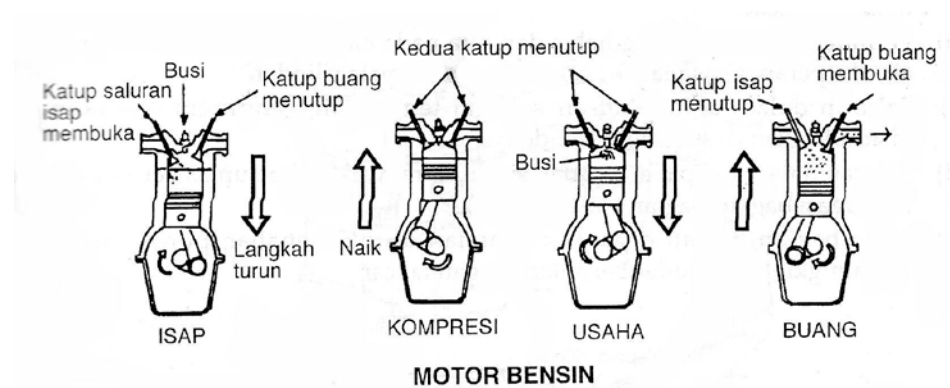
Torak bergerak dari TMB ke TMA, saluran masuk terbuka dan campuran bensin dan udara masuk ke ruang engkol. Sementara itu di atas torak terjadi langkah kompresi sehingga menghasilkan suhu dan tekanan yang tinggi dan mengakibatkan torak terdorong ke TMB. Pada saat torak menuju TMB, torak menutup saluran masuk dan memperkecil ruang engkol. Hal ini mengakibatkan campuran bensin dan udara bergerak ke atas torak melalui saluran bilas. Pada saat torak sampai TMB, saluran bilas dan saluran buang terbuka sehingga campuran bensin dan udara dari ruang engkol masuk ke ruang bakar.

Sifat-sifat motor bensin 2 langkah :

- Konstruksi lebih sederhana dan biaya pembuatan lebih murah.
- Pembuangan gas kurang sempurna dan kesulitan untuk mempertinggi kecepatan.
- Dengan ukuran langkah torak dan kecepatan yang sama akan menghasilkan daya yang lebih besar.

2.3.2. Motor Bensin 4 Langkah

Motor Bensin 4 Langkah adalah motor bensin yang setiap siklus kerjanya dalam 4 langkah torak atau 2 kali putaran poros. Adapun rangkaian proses dan langkah-langkah torak adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3. Proses Kerja Motor Bensin 4 Langkah

1) Langkah Pengisian

Pengisian campuran bensin dan udara terjadi pada langkah pertama yaitu saat torak bergerak dari TMA ke TMB, di mana katup masuk terbuka dan katup buang tertutup.

2) Langkah Kompresi

Terjadi pada langkah kedua. Yaitu torak bergerak dari TMB ke TMA. Pada langkah ini kedua katup tertutup.

3) Proses Pembakaran

Beberapa saat menjelang akhir kompresi, saat sebelum torak mencapai TMA, busi memercikkan bunga api dan membakar campuran bensin dan udara. Akibatnya temperatur dan tekanan gas pembakaran dalam silinder meningkat.

4) Langkah Ekspansi

Proses ini terjadi pada langkah ketiga yaitu torak bergerak dari TMA ke TMB. Tekanan yang tinggi hasil pembakaran digunakan untuk mendorong torak ke bawah dan memutar poros engkol untuk melakukan kerja mekanik.

5) Langkah Pembuangan

Terjadi pada langkah keempat, torak bergerak dari TMB ke TMA. Pada langkah ini katup buang terbuka dan katup masuk tertutup. Gas hasil pembakaran dibuang keluar silinder melalui katup buang.

Sifat-sifat motor bensin 4 langkah :

- a. Dalam 4 langkah torak terdapat 1 langkah ekspansi.
- b. Pemakaian bahan bakar lebih hemat dan kerugian dari gas-gas yang terbuang kecil sekali.
- c. Konstruksinya lebih rumit dan biaya pembuatan lebih mahal.

- d. Dengan ukuran piston dan putaran yang sama menghasilkan daya yang lebih kecil.
- e. Pembuangan gas lebih sempurna.

2.4. Keuntungan Motor Bensin

Dibandingkan dengan motor diesel, motor bensin memiliki beberapa keuntungan di antaranya :

- 1) Tekanan kompresi yang dibutuhkan lebih kecil.
- 2) Konstruksi mesin lebih kecil dan tidak perlu sekokoh mesin diesel.
- 3) Berat mesin lebih ringan.
- 4) Getaran yang dihasilkan lebih kecil dengan suara yang halus.
- 5) Tidak memerlukan baterai terlalu besar pada awal penyalaan.
- 6) Konstruksi ruang bakar lebih sederhana.

2.5. Proses Keliling Motor Bensin 4 Langkah

Proses keliling pada motor bensin 4 langkah berdasarkan proses kerja motor adalah suatu keadaan gas di dalam silinder motor dimulai dari pengisian gas di dalam silinder dan diakhiri dengan pembuangan gas hasil pembakaran. Di dalam silinder hasil pembakaran yang berupa panas diubah menjadi usaha desak di atas penghisap. Oleh karena volume dan tekanan di dalam silinder besarnya tidak sama, maka keadaan di dalam silinder itu dapat dilukiskan dalam bentuk diagram P-V. Diagram P-V yaitu garis-garis yang melukiskan hubungan antara tekanan dan volume gas dengan segala perubahannya.

2.5.1. Diagram P-V Teoritis Motor Bensin 4 Langkah

Diagram P-V teoritis pada proses pembakaran bahan bakar motor bensin 4 langkah adalah sebagai berikut:

0 – a : Garis Hisap

Torak bergerak ke kanan untuk langkah isap. Pada kecepatan pengisap tertentu, garis akan berada di bawah garis atm, jadi ada tekanan bawah atau vakum.

a – b : Garis Kompresi

Volume gas dimampatkan pada waktu torak bergerak ke sisi tutup. Tekanan naik hingga mencapai 7 atm sebelum titik mati atas (TMA) busi memercikan bunga api.

b – c : Garis Pembakaran

Pembakaran terjadi dengan cepat sekali, suhu gas naik, sedangkan dalam waktu yang sangat cepat volume gas hanya berubah sedikit. Tekanan meningkat maksimum 18 atm.

c – d : Garis Usaha atau Garis Ekspansi

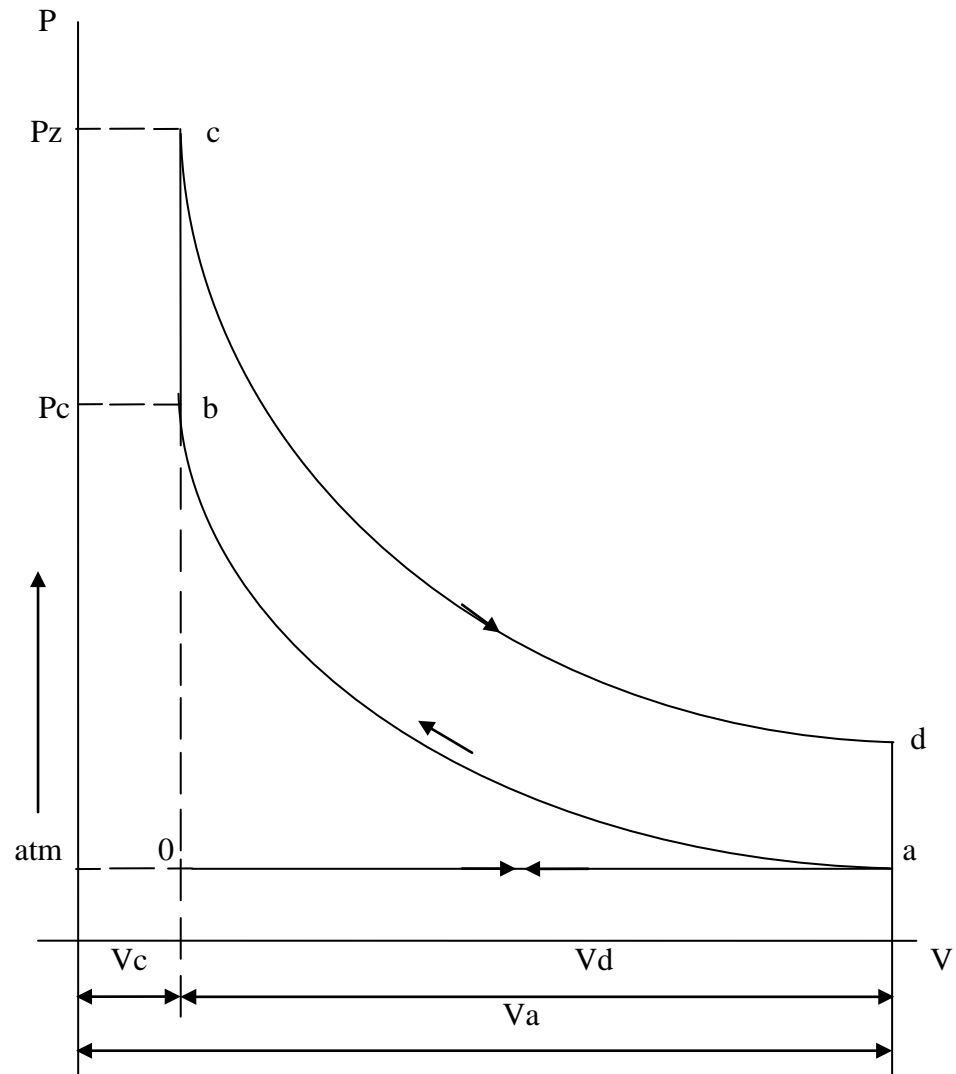
Selama ini gas pembakaran mendesak torak sehingga volume gas tersebut membesar maka tekanan akan turun.

d – a : Pembuangan Pendahuluan

Tekanan turun sesuai dengan tekanan atmosfer, sedangkan besar gas pembakaran (70 %) telah dikeluarkan.

a – 0 : Gas Pembuangan

Sisa gas didesak keluar oleh torak, karena kecepatan gerak penghisap, terjadilah kenaikan tekanan sedikit di atas 1 atm.

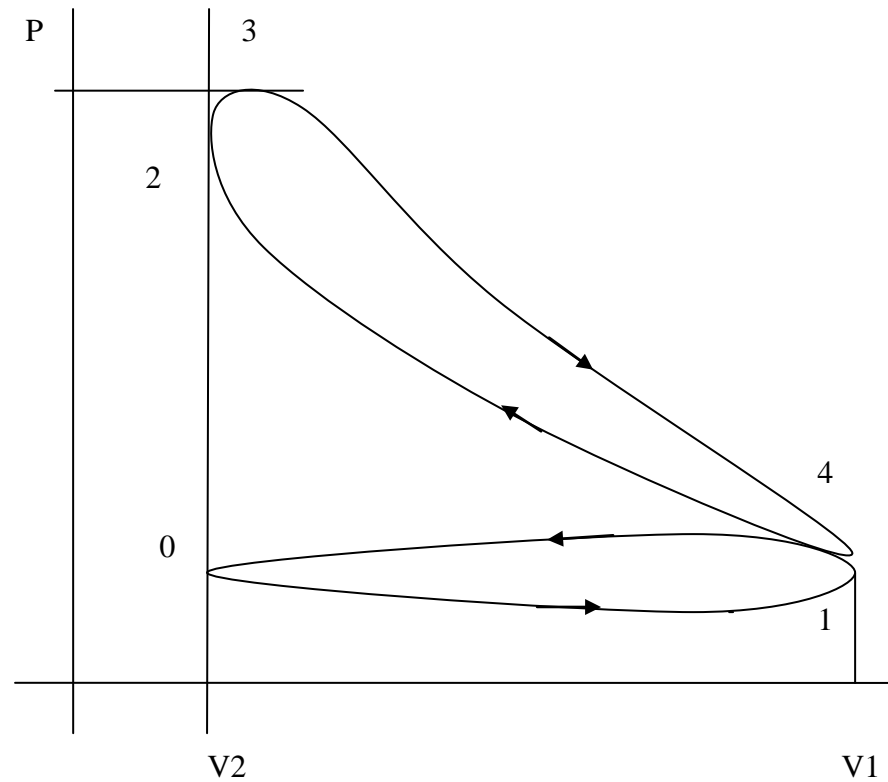


Gambar 2.4. Diagram P-V Teoritis Motor Bensin 4 Langkah¹

2.5.2. Diagram P-V Sebenarnya Motor Bensin 4 Langkah

Proses ini sering disebut proses otto yaitu proses yang terdapat pada motor bensin 4 langkah, di mana pembakarannya menggunakan busi dan proses pembakaran terjadi dengan volume tetap.

¹ Petrovsky.N, Marine Internal Combustion Engines, Mir Publishers. Moscow, hal 14



Gambar 2.5. Diagram P-V Sebenarnya Motor Bensin 4 Langkah²

Keterangan:

0 – 1 : Langkah hisap

Pada waktu torak bergerak ke kanan, udara bercampur bahan bakar masuk ke dalam silinder. Karena torak dalam keadaan bergerak, maka tekanannya turun sehingga lebih kecil daripada tekanan udara luar, begitu juga suhunya. Garis langkah hisap dapat dilihat pada diagram di atas. Penurunan tekanan ini bergantung pada kecepatan aliran. Pada motor yang tidak menggunakan *super charge* tekanan terletak antara 0,85-0,9 atm terhadap tekanan udara luar.

² Ibid, hal 18

1 – 2 : Langkah kompresi

Dalam proses ini kompresi teoritis berjalan adiabatik.

2 – 3 : Proses Pembakaran

Pembakaran terjadi pada volume tetap sehingga suhu naik.

3 – 4 : Langkah Kerja

Pada langkah ini terjadi proses adiabatik karena cepatnya gerak torak sehingga dianggap tidak ada panas yang keluar maupun masuk.

4 – 1 : Pembuangan Pendahuluan

Terjadi proses isokhorik yaitu panas keluar dari katup pembuangan.

1 – 0 : Langkah Pembuangan

Sisa gas pembakaran didesak keluar oleh torak. Karena kecepatan gerak torak, terjadilah kenaikan tekanan sedikit di atas 1 atm.

2.6 Termodinamika

Dalam perhitungan termodinamika, maka kita harus mengetahui diagram proses pembakaran.

a. Keadaan titik a

Keadaan awal kompresi, di mana torak bergerak dari TMB ke TMA.

1. Temperatur awal kompresi (T_a)

Temperatur awal kompresi adalah temperatur campuran bahan bakar yang berada dalam silinder saat torak melakukan langkah kompresi.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta t_w + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} \dots\dots\dots^3$$

Dimana :

T_a = Temperatur awal kompresi (°K)

T_o = Temperatur udara luar (°K)

T_r = temperatur gas bekas (°K)

γ_r = koefisien gas bekas

Δt_w = Kenaikan udara karena menerima suhu dari dinding

2. Efisiensi pemasukan (*Charge Efficiency*)

Efisiensi pemasukan adalah perbandingan jumlah pemasukan udara segar sebenarnya yang dikompresikan di dalam silinder mesin yang sedang bekerja dan jumlah volume langkah pada tekanan dan temperatur udara luar (P_o dan T_o).

$$\eta_{ch} = \frac{\epsilon \cdot P_a \cdot T_o}{(\epsilon - 1) \cdot P_o (T_o + \Delta t_w + \gamma_r \cdot T_r)} \dots\dots\dots^4$$

Dimana :

ϵ = Perbandingan kompresi

P_o = Tekanan udara luar (kg/cm^2)

P_a = Tekanan awal kompresi (kg/cm^2)

³ Ibid, hal 29

⁴ Ibid, hal 31

b. Keadaan titik b

Titik b adalah akhir langkah kompresi di mana tekanan dan temperatur udara pembakaran sangat tinggi dan merupakan awal proses pembakaran bahan bakar.

1. Tekanan Akhir Kompresi

Tekanan akhir kompresi adalah tekanan campuran bahan bakar silinder pada akhir langkah kompresi.

$$P_c = P_a \cdot \epsilon^{n_1} \dots\dots\dots^5$$

Dimana :

P_c = Tekanan akhir kompresi (kg/cm^2)

n_1 = Koefisien Polytropic

2. Temperatur Akhir Kompresi

Temperatur akhir kompresi adalah temperatur campuran bahan bakar silinder pada akhir langkah kompresi.

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{(n_1 - 1)} \dots\dots\dots^6$$

c. Keadaan titik puncak c

Titik puncak c ini proses pembakaran terus berlangsung pada volume tetap.

⁵ Ibid, hal 32

⁶ Ibid, hal 32

1. Nilai Kalor Pembakaran Bahan Bakar (Ql)

Nilai kalor pembakaran bahan bakar adalah jumlah panas yang mampu dihasilkan dalam pembakaran 1 Kg bahan bakar. Untuk bensin (*gasoline*) besarnya $Ql = 9530 \text{ Kkal/ Kg}$.

2. Kebutuhan Udara Teoritis

Kebutuhan udara teoritis adalah kebutuhan udara yang diperlukan untuk membakar bahan bakar jika jumlah oksigen di udara sebesar 21 % sesuai dengan perhitungan.

$$L_o' = \frac{1}{0,21} \left[\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right] \dots\dots\dots^7$$

Dimana :

L_o = Kebutuhan udara teoritis (mol/kg)

C = Kandungan Karbon (%)

H = Kandungan Hydrogen (%)

O = Kandungan Oksigen (%)

3. Koefisien Pembakaran

Koefisien pembakaran adalah koefisien yang menunjukkan perubahan molekul yang terjadi selama proses pembakaran bahan bakar.

$$\mu O = \frac{Mg}{L'} = \frac{Mg}{\alpha \cdot L_o} \dots\dots\dots^8$$

Dimana:

μO = Koefisien pembakaran

⁷ Ibid, hal 37

⁸ Ibid, hal 40

M_g = Jumlah molekul yang terbakar

L_o' = Jumlah udara sebenarnya untuk pembakaran bahan bakar
(mol/kg)

α = koefisien kelebihan udara

4. Koefisien Pembakaran Molekul

Menunjukkan perubahan molekul yang terjadi sebelum dan sesudah pembakaran.

$$\mu = \frac{\mu_o + \gamma r}{1 + \gamma r} \dots\dots\dots^9$$

5. Temperatur Pembakaran Pada Volume Tetap

Temperatur pembakaran pada volume tetap adalah temperatur hasil gas pembakaran campuran bahan bakar untuk motor bensin.

$$\frac{\zeta_2 \cdot Q_1}{\alpha \cdot L_o' (1 + \dots\dots\dots^{10}} + (M_{cv})_{mix} T_c = \mu (M_{cv})_g \cdot T_z$$

Dimana :

T_z = Temperatur pembakaran pada volume tetap atau temperatur pada akhir pembakaran ($^{\circ}K$)

ζ_2 = Koefisien Perbandingan Panas (*Heat Utilization Coefficient*)

Q_1 = Nilai pembakaran bahan bakar (Kkal/kg)

M_{cv} = Kapasitas udara panas pada volume tetap (Kkal/mol per $^{\circ}C$)

M_{cp} = Kapasitas panas dari gas pada tekanan tetap
(Kkal/mol per $^{\circ}C$)

⁹ Ibid, hal 40

¹⁰ Ibid, hal 46

6. Tekanan Akhir Pembakaran

$$P_z = \mu \cdot \frac{T_z}{T_c} P_c \quad \dots\dots\dots^{11}$$

Dimana :

P_z = Tekanan akhir pembakaran (kg/cm^2)

7. Perbandingan Tekanan Dalam Silinder Selama Pembakaran

Perbandingan tekanan dalam silinder selama pembakaran adalah rasio yang menunjukkan perbandingan tekanan akhir pembakaran dengan tekanan awal pembakaran.

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} \quad \dots\dots\dots^{12}$$

d. Keadaan titik d

Keadaan ini merupakan langkah akhir kompresi.

1. Perbandingan Ekspansi Pendahuluan

Perbandingan ekspansi pendahuluan adalah rasio yang menunjukkan perubahan yang terjadi pada gas hasil pembakaran campuran bahan bakar pada awal langkah kompresi.

$$\rho = \frac{\mu \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} \quad \dots\dots\dots^{13}$$

¹¹ Ibid, hal 50

¹² Ibid, hal 14

¹³ Ibid, hal 50

2. Perbandingan Kompresi Selanjutnya

Perbandingan kompresi selanjutnya adalah rasio yang menunjukkan perubahan pada gas hasil pembakaran selama langkah ekspansi.

$$\delta = \frac{\epsilon}{\rho} \quad \dots\dots\dots 14$$

3. Tekanan Gas Pada Akhir Ekspansi

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} \quad \dots\dots\dots 15$$

4. Temperatur Akhir Ekspansi

$$T_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2 - 1}} \quad \dots\dots\dots 16$$

5. Tekanan Rata-rata Indikator Teoritis

Tekanan rata – rata indikator teoritis adalah besarnya tekanan rata-rata yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar yang bekerja pada torak.

$$P_{it} = \frac{P_c}{\epsilon - 1} \left[\lambda (\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad \dots\dots\dots 17$$

6. Tekanan Rata-rata Indikator Sebenarnya

Tekanan rata – rata indikator sebenarnya adalah besar tekanan rata-rata yang dihasilkan dari pembakaran campuran bahan bakar.

$$P_i = P_{it} \cdot \phi \quad \dots\dots\dots 18$$

¹⁴ Ibid, hal 14

¹⁵ Ibid, hal 52

¹⁶ Ibid, hal 52

¹⁷ Ibid, hal 54

¹⁸ Ibid, hal 55

Dimana :

ϕ = faktor koreksi (0,95 – 0,98)

7. Tekanan Efektif Rata-rata

Tekanan efektif rata – rata adalah besarnya tekanan rata-rata efektif yang bekerja pada permukaan torak

$$P_e = \eta_m \cdot P_i \quad \dots\dots\dots^{19}$$

Dimana :

η_m = rendemen mekanik

2.7. Faktor-faktor Kemampuan Motor

Faktor-faktor yang menentukan motor dalam beroperasi adalah sebagai berikut:

1) Volume Silinder

Volume Silinder pada motor adalah volume dari jumlah silinder pada motor tersebut. Volume silinder ditentukan ketika torak pada posisi TMB.

$$V_d = \pi/4 \cdot D^2 \cdot L \cdot z \quad \dots\dots\dots^{20}$$

Dimana :

V_d = Volume yang ditempuh oleh torak selama melakukan langkah kerja

D = Diameter silinder

L = Langkah torak

z = Jumlah silinder

¹⁹ Ibid, hal 61

²⁰ Ibid, hal 22

2) Daya Indikator

Daya indikator adalah panas pembakaran bahan bakar di atas torak yang dikurangi kerugian-kerugian panas karena gas buang.

$$N_i = \frac{10^4 \cdot P_i \cdot \pi/4 \cdot D^2 \cdot L \cdot n \cdot i}{60 \cdot 75 \cdot z} \dots\dots\dots^{21}$$

Dimana :

N_i = Daya indikator (HP)

P_i = Tekanan rata-rata indikator (kg/cm^2)

D = Diameter silinder (m)

L = Langkah torak (m)

N = Putaran mesin

i = Jumlah silinder

z = Jumlah pembakaran tiap langkah, untuk motor 4 langkah = 2

3) Daya Efektif

Daya Efektif adalah daya indikator dikurangi dengan kerugian-kerugian gesekan, di mana besar kecilnya kerugian akan mempengaruhi rendemen mekanik. Daya efektif ini merupakan tenaga yang menggerakkan poros engkol.

$$N_e = N_i \cdot \eta_m \dots\dots\dots^{22}$$

4) Pemakaian Bahan Bakar

a) Pemakaian Bahan Bakar Indikator

Pemakaian bahan bakar indikator adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan tekanan indikator.

²¹ Ibid, hal 58

²² Ibid, hal 61

$$F_i = \frac{318,4 \cdot \eta_{ch} \cdot P_o}{P_i \cdot \alpha \cdot L_o \cdot T_o} \dots\dots\dots 23$$

b) Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (F)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan kerja efektif.

$$F = \frac{F_i}{\eta_m} \dots\dots\dots 24$$

c) Pemakaian Bahan Bakar Tiap Jam

$$F_h = F_e \cdot N_e \dots\dots\dots 25$$

²³ Ibid, hal 64

²⁴ Ibid, hal 63

²⁵ Ibid, hal 63