

BAB III

ANALISIS PERHITUNGAN

SISTEM PENDINGINAN PADA ENGINE ISUZU PANTHER TBR 52

A. Spesifikasi Kendaraan Isuzu Panther TBR 52

Sebelum melaksanakan pembahasan lebih lanjut, terlebih dahulu penulis akan menguraikan spesifikasi teknis yang akan dijadikan bahan acuan, sebagai berikut :

Jumlah silinder (z) : 4 Silinder sejajar (OHV)

Diameter x langkah (DxS) : 88 x 92 mm

Perbandingan kompresi (r) : 21 :1

Daya maksimum (Ne) : 73 PS

Putaran motor (n) : 4300 rpm

Sistem pendingin : Pendinginan air

Jenis bahan bakar : Solar ($C_{16}H_{32}$)

B. Perhitungan Thermodinamika

1. Langkah Penghisapan (0-1)

Untuk menghitung besarnya volume udara pada akhir langkah *hisap* (V_1), maka perlu menghitung besarnya volume langkah (V_l) dan Volume sisa (V_2) terlebih dahulu.

Besarnya volume langkah (V_L), yaitu :

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S \times Z \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (8,8)^2 \times 9,2 \times 4 \\ &= 2236,8 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Besarnya volume sisa (V_2), yaitu :

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{V_L}{r - 1} \\ &= \frac{2236,8}{21 - 1} \\ &= 111,84 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga, besarnya volume udara pada akhir langkah hisap (V_1), yaitu :

$$\begin{aligned} V_1 &= V_L + V_2 \\ &= 2236,8 + 111,84 \\ &= 2348,64 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Besarnya tekanan udara pada akhir langkah hisap (P_1), yaitu :

$$\begin{aligned} P_1 &= 0,8 \times P_0 \\ &= 0,8 \times 10330 \\ &= 8264 \text{ kg/m}^2 \\ &= \frac{8264}{10000} \\ &\approx 0,8264 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Besarnya temperatur udara pada akhir langkah hisap (T_1), yaitu :

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{(T_0 + \Delta tw) + (Tr \times \gamma r)}{1 + \gamma r} \\
 &= \frac{(298 + 15) + (750 \times 0,03)}{1 + 0,03} \\
 &= \frac{335,5}{1,03} \\
 &= 325,73 \text{ } ^\circ K \\
 &\approx 52,73 \text{ } ^\circ C
 \end{aligned}$$

Menurut Kovakh (1976;68); Hasil perhitungan ini dianggap memenuhi persyaratan , karena besarnya panas awal pemasukan (T_1) berkisar antara 310 - 350 K.

2. Langkah Kompresi (1-2)

Besarnya tekanan pada akhir langkah kompresi (P_2), adalah :

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k \\
 &= 0,8264 \times \left(\frac{2348,64}{111,84} \right)^{1,3079} \\
 &= 0,8284 \times (21)^{1,3079} \\
 &= 44,31 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Besarnya temperatur pada akhir langkah kompresi (T_2), adalah :

$$\begin{aligned}
 T_2 &= T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \\
 &= 325,73 \times \left(\frac{2348,64}{111,84} \right)^{1,3079-1} \\
 &= 325,73 \times (21)^{0,3079} \\
 &= 832,87 \text{ } ^\circ K \\
 &\approx 559,87 \text{ } ^\circ C
 \end{aligned}$$

3. Proses Pembakaran (2-3)

Besarnya tekanan gas pada akhir proses pembakaran (P_3), yaitu :

$$\begin{aligned} P_3 &= P_2 \\ &= 44,31 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Sebelum menghitung besarnya temperatur gas campuran (udara dan bahan bakar) pada proses pembakaran (T_3), diperlukan data parameter thermodinamika berikut ini :

Nilai pemakaian bahan bakar tiap jam (G_{bb}), yaitu :

$$\begin{aligned} G_{bb} &= \frac{Ne \times 632}{\eta_m \times H_b} \\ &= \frac{73 \times 632}{0,39 \times 10100} \\ &= 11,71 \text{ kg / jam} \end{aligned}$$

Nilai pemakaian bahan bakar tiap menit (G_{bb}'), yaitu :

$$\begin{aligned} G_{bb}' &= \frac{G_{bb}}{60} \\ &= \frac{11,71}{60} \\ &= 0,195 \text{ kg / menit} \end{aligned}$$

Nilai pemakaian bahan bakar tiap putaran (G_{bb}''), yaitu :

$$\begin{aligned} G_{bb}'' &= \frac{G_{bb}'}{n} \\ &= \frac{0,195}{4300} \\ &= 4,535 \cdot 10^{-5} \text{ kg / putaran} \end{aligned}$$

Nilai pemakaian bahan bakar tiap siklus (G_{bb}'''), yaitu :

$$\begin{aligned}
 Gbb''' &= 2 \times Gbb'' \\
 &= 2 \times (4,535 \cdot 10^{-5}) \\
 &= 0,907 \cdot 10^{-4} \text{ kg / siklus}
 \end{aligned}$$

Besarnya pemasukan panas dari hasil pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder (Qm), yaitu :

$$\begin{aligned}
 Qm &= Gbb''' \times Hb \\
 &= 0,907 \cdot 10^{-4} \times 10100 \\
 &= 0,916 \text{ kkal / siklus}
 \end{aligned}$$

Berat molekul udara yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara teoritis (L_0), yaitu :

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \frac{1}{0,21} \times \left(\frac{c}{12} + \frac{H}{4} \right) \\
 &= \frac{1}{0,21} \times \left(\frac{0,865}{12} + \frac{0,135}{4} \right) \\
 &= 4,762 \times (0,072 + 0,033) \\
 &= 0,504 \text{ mole / kgbb}
 \end{aligned}$$

Berat udara yang diperlukan untuk membakar 1 kg bahan bakar yang sebenarnya (L_0'), yaitu :

$$\begin{aligned}
 L_0' &= \alpha \cdot L_0 \\
 &= 1,3 \times 0,504 \\
 &= 0,6552 \text{ mole / kgbb}
 \end{aligned}$$

Berat udara yang diperlukan untuk membakar bahan bakar tiap siklus (L_0''), yaitu :

$$\begin{aligned}
 L_0'' &= L_0' \times Gbb''' \\
 &= 0,6552 \times 0,907 \cdot 10^{-4} \\
 &= 0,594 \cdot 10^{-4} \text{ mole / siklus}
 \end{aligned}$$

Berat udara tiap siklus (Gu), yaitu :

$$\begin{aligned}
 G_u &= 28,95 \times L_0'' \\
 &= 28,95 \times (0,594 \cdot 10^{-4}) \\
 &= 1,721 \cdot 10^{-3} \text{ kg udara}
 \end{aligned}$$

Berat gas campuran tiap siklus (G), adalah :

$$\begin{aligned}
 G &= G_u + G_{bb} \\
 &= 1,721 \cdot 10^{-3} + 0,907 \cdot 10^{-4} \\
 &= 2,628 \cdot 10^{-3} \text{ kg / siklus}
 \end{aligned}$$

Menghitung panas jenis tekanan konstan gas campuran (C_{pm}), adalah :

$$C_{pm} = \frac{G_u}{G} \times C_{pu} + \frac{G_{bb}}{G} \times C_{pb} + \dots$$

$$C_{pm} = \left(\frac{1,721 \cdot 10^{-3}}{2,628 \cdot 10^{-3}} \right) \times 0,2404 + \left(\frac{0,907 \cdot 10^{-3}}{2,2245 \cdot 10^{-3}} \right) \times 1,2050$$

$$C_{pm} = 0,2918 \text{ kkal / kg}^\circ K$$

Sehingga ;

Besarnya temperatur gas campuran (udara dan bahan bakar) pada proses pembakaran (T_3), yaitu :

$$\begin{aligned}
 T_3 &= \frac{Q_m}{G \times C_{pm}} + T_2 \\
 &= \frac{0,916}{2,628 \cdot 10^{-3} \times 0,2918} + 832,87 \\
 &= \frac{0,916}{7,67 \cdot 10^{-4}} + 832,87 \\
 &= 2028,69^\circ K \\
 &\approx 1755,69^\circ C
 \end{aligned}$$

Besarnya volume gas campuran pada akhir proses pembakaran (V_3), yaitu :

$$\begin{aligned}
 V_3 &= V_2 \times \frac{T_3}{T_2} \\
 &= 111,84 \times \frac{2028,69}{832,87} \\
 &= 111,84 \times 2,436 \\
 &= 272,42 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

4. Langkah Kerja / Usaha (3-4)

Besarnya tekanan gas pada akhir langkah ekspansi (P_4), yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_4 &= P_2 \times \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^k \\
 &= 44,31 \times \left(\frac{272,42}{2348,64} \right)^{1,3079} \\
 &= 44,31 \times (0,116)^{1,3079} \\
 &= 2,65 \text{ kg / cm}^2
 \end{aligned}$$

Besarnya volume gas pada akhir langkah pembakaran (V_4), yaitu :

$$\begin{aligned}
 V_4 &= V_1 \\
 &= 2348,64 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Besarnya temperatur pada akhir langkah ekspansi/kerja (T_3), yaitu :

$$\begin{aligned}
 T_4 &= T_3 \times \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \\
 &= 2028,69 \times \left(\frac{272,42}{2348,64} \right)^{1,3079-1} \\
 &= 2028,69 \times (0,116)^{0,3079} \\
 &= 1044,20^0 \text{ K} \\
 &\approx 771,20^0 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

5. Proses Pengeluaran Kalor (4 – 1)

Besarnya panas jenis volume konstan gas campuran (C_{vm}), yaitu :

$$\begin{aligned} C_{vm} &= \frac{Gu}{G} \times C_{vu} + \frac{Gbb}{G} \times C_{vb} \\ &= \left(\frac{1,721 \cdot 10^{-3}}{2,628 \cdot 10^{-3}} \right) \times 0,1718 + \left(\frac{0,907 \cdot 10^{-4}}{2,628 \cdot 10^{-3}} \right) \times 1,196 \\ &= 0,1538 \text{ kkal} / \text{kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Jumlah kalor yang harus dikeluarkan, yaitu :

$$\begin{aligned} Q_k &= G \cdot C_{vm} \cdot (T_4 - T_1) \\ &= 2,628 \cdot 10^{-3} \times 0,1538 \times (1044,20 - 325,73) \\ &= 0,2903 \text{ kkal} / \text{jam} \\ &\approx 0,2903 \times 3,969 \\ &\approx 1,152 \text{ BTU} / \text{jam} \end{aligned}$$

C. Perhitungan Perpindahan Panas

1. Perpindahan Panas pada Blok silinder

Sebelum dapat menghitung besarnya perpindahan panas pada blok silinder (bagian dalam dan bagian luar), maka terlebih dahulu diperlukan data parameter termodinamika berikut ini :

Mengkonversi daya efektif motor (Q_s) :

$$\begin{aligned} Q_s &= Ne \times 632,4 \\ &= 73 \times 632,4 \\ &= 46165,2 \text{ kkal} \\ &\approx 183229,7 \text{ BTU} \end{aligned}$$

Menghitung nilai panas yang terjadi pada tiap silinder (Q'), adalah :

$$\begin{aligned}
 Q' &= \frac{Q_s}{4} \\
 &= \frac{46165,2}{4} \\
 &= 11541,3 \text{ kkal} \\
 &\approx 183229,7 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Sehingga, besarnya perpindahan panas yang melalui dinding silinder (Q_{ds}), adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{ds} &= 19\% \times Q' \\
 &= 19\% \times 11541,3 \\
 &= 2192,85 \text{ kkal} \\
 &\approx 8703,41 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai temperatur pada dinding blok silinder (bagian dalam maupun bagian luar), diperoleh dengan urutan sebagai berikut :

Menghitung besar temperatur rata-rata gas pada proses pembakaran (t_1), adalah :

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{T_2 + T_3}{2} \\
 &= \frac{832,87 + 2028,69}{2} \\
 &= 1430,78^\circ K \\
 &= 1157,78^\circ C \\
 &= (1,8 \times 1157,78) + 32 \\
 &= 2116,004^\circ F
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal dinding dalam blok silinder (L), adalah ;

$$\begin{aligned}
 L &= (0,045 \times D) + 1,588 \\
 &= (0,045 \times 88) + 1,588 \\
 &= 5,548 \text{ mm} \\
 &\approx \frac{5,548}{304,8} \\
 &\approx 0,0182 \text{ ft} \\
 &\approx 0,5548 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal dinding luar blok silinder (x), sebagai berikut :

$$\begin{aligned} x &= L \\ &= 0,0182 \text{ ft} \\ &= 0,5548 \text{ cm} \end{aligned}$$

Menghitung diameter dinding luar silinder (D_0), adalah ;

$$\begin{aligned} D_0 &= D + (2L) \\ &= 0,289 + (2 \times 0,0182) \\ &= 0,325 \text{ ft} \\ &= 9,906 \text{ cm} \end{aligned}$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas pada bagian dalam silinder (A_i), adalah :

$$\begin{aligned} A_i &= (\pi \times D \times S \times 0,5) + \left(\pi \times D \times \frac{S}{r-1} \right) + \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 2 \right) \\ &= (3,14 \times 0,289 \times 0,302 \times 0,5) + \left(3,14 \times 0,289 \times \frac{0,302}{21-1} \right) + (0,25 \times 3,14 \times (0,289^2) \times 2) \\ &= 0,137 + 0,0137 + 0,131 \\ &= 0,2817 \text{ ft}^2 \\ &= 0,2817 \times 928,94 \\ &= 261,68 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas bagian luar (A_0), adalah :

$$\begin{aligned} A_0 &= (\pi \times D_0 \times S \times 0,5) + \left(\pi \times D_0 \times \frac{S}{r-1} \right) + \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D_0^2 \times 2 \right) \\ &= (3,14 \times 0,325 \times 0,302 \times 0,5) + \left(3,14 \times 0,325 \times \frac{0,302}{21-1} \right) + (0,25 \times 3,14 \times (0,325^2) \times 2) \\ &= 0,154 + 0,0154 + 0,166 \\ &= 0,335 \text{ ft}^2 \\ &\approx 311,19 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas rata-rata (A), adalah :

$$\begin{aligned} A &= \frac{A_1 + A_0}{2} \\ &= \frac{0,2817 + 0,335}{2} \\ &= 0,308 \text{ ft}^2 \\ &\approx 286,11 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien perpindahan panas total (U), adalah :

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{\left(\frac{A}{A_1 \cdot h_1}\right) + \left(\frac{L}{k}\right) + \left(\frac{A}{A_0 \cdot h_2}\right)} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{0,308}{0,2817 \cdot 62}\right) + \left(\frac{0,0182}{320}\right) + \left(\frac{0,308}{0,335 \cdot 130}\right)} \\ &= \frac{1}{0,017635 + 0,0000569 + 0,007072} \\ &= \frac{1}{0,024} \\ &= 41,73 \text{ BTU} / \text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \cdot \text{hr} \\ &\approx 10,52 \text{ kkal} / \text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \cdot \text{hr} \end{aligned}$$

Sehingga :

Besarnya temperatur dinding dalam silinder (t_{2ds}), adalah ;

$$\begin{aligned} t_{2ds} &= t_1 - \frac{Q_{ds}}{U \cdot A} \\ &= 2116,004 - \frac{8703,41}{41,73 \times 0,308} \\ &= 1483,99 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &\approx \frac{1483,99 - 32}{1,8} \\ &\approx 806,66 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &\approx 1079,66 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Besarnya temperatur dinding luar silinder (t_{3ds}), adalah ;

$$\begin{aligned}
 t_{3ds} &= \frac{\left(\frac{h'}{x} \times A_0 \times t_{2ds} \right) - Q_{ds}}{\frac{h'}{x} \times A_0} \\
 &= \frac{\left(\frac{27}{0,0182} \times 0,335 \times 1483,99 \right) - 8703,41}{\frac{27}{0,0182} \times 0,335} \\
 &= \frac{737510,415 - 8703,41}{496,978} \\
 &= 1466,47 \text{ } ^\circ F \\
 &\approx 796,92 \text{ } ^\circ C \\
 &\approx 1070,07 \text{ } ^\circ K
 \end{aligned}$$

2. Perpindahan Panas pada Kepala Silinder

Besarnya perpindahan panas yang melalui kepala silinder (Q_{ks}), adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{ks} &= 13\% \times Q' \\
 &= 0,13 \times 11541,3 \\
 &= 1500,37 \text{ kkal} \\
 &\approx 5953,85 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Nilai temperatur pada dinding dalam kepala silinder (t_{2ks}), adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{2ks} &= t_1 - \frac{Q_{ks}}{U \times A} \\
 &= 2116,004 - \frac{5953,85}{41,73 \times 0,308} \\
 &= 1652,67 \text{ } ^\circ F \\
 &\approx 900,37 \text{ } ^\circ C \\
 &\approx 1173,52 \text{ } ^\circ K
 \end{aligned}$$

Nilai temperatur dinding luar kepala silinder (t_{3ks}), adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{3ks} &= \frac{\frac{h'}{x} \times A_0 \times t_{2ks} - Q_{ks}}{\frac{h'}{x} \times A_0} \\
 &= \frac{\left(\frac{27}{0,0182} \times 0,335 \times 1652,67 \right) - 5953,85}{\frac{27}{0,0182} \times 0,335} \\
 &= 1640,68 \text{ } ^\circ F \\
 &\approx 893,71 \text{ } ^\circ C \\
 &\approx 1166,86 \text{ } ^\circ K
 \end{aligned}$$

Besarnya temperatur rata – rata (t_4), adalah ;

$$\begin{aligned}
 t_4 &= \frac{T_{3ks} + T_{3ds}}{2} \\
 &= \frac{1640,68 + 1466,47}{2} \\
 &= 1553,57 \text{ } ^\circ F \\
 &\approx 845,32 \text{ } ^\circ C \\
 &\approx 1118,47 \text{ } ^\circ K
 \end{aligned}$$

3. Perpindahan Panas yang Diserap Air Pendingin.

Besarnya perpindahan panas yang diserap air pendingin tiap silinder :

$$\begin{aligned}
 Q_a &= h_m \times A \times (t_4 - t_5) \times \lambda \\
 &= 180 \times 0,308 \times (1553,57 - 125) \times 0,25 \\
 &= 19800,05 \text{ BTU/jam} \\
 &\approx 4988,67 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$