

BAB III
ANALISIS SISTEM BAHAN BAKAR
PADA KENDARAAN ENGINE 14B TOYATA OFF ROAD FJ40

A. Spesifikasi Engine Toyota Dyna

Tabel 3.1 Data dan Spesifikasi engine Toyota Dyna

Model	Toyota Dyna 14B
Diameter Silinder	72 mm
Panjang Langkah Torak	91,8 mm
Volume Silinder	3660 cc
Daya Maksimum	98 PS/3400 rpm
Torsi	240/180 Nm rpm
Tipe injection nozzle	Berlubang banyak (<i>multiple hole</i>)
Tekanan injection nozzle	170 kg/cm ²
Kapasitas Oli	6 liter
Kapasitas Tangki Bahan Bakar	60 liter
<i>Fuel injection order</i>	1-3-4-2
Kecepatan idle	750-800 rpm
Tipe Pompa injeksi	Bosch distributor VE tipe

B. Pemeriksaan Dan Perbaikan Komponen

1. Injektor
 - a. Melepaskan pipa tekanan tinggi dari injektor menggunakan kunci pas 17
 - b. Melepaskan pipa saluran balik dari injector menggunakan kunci ring 12
 - c. Melepaskan injektor beserta pipa saluran balik
2. Mengukur tekanan injektor
 - a. Mempersiapkan *nozzle tester*
 - b. Memasang injektor pada nozzle tester
 - c. Mengukur tekanan injektor



Gambar 3.1 Pengukuran injektor menggunakan *nozzle tester*
(Sumber: Pemeliharaan Servis Bahan Bakar Disedi: 71)

Tabel 3.2 Data hasil pengukuran tekanan injektor

NO	Injektor	Tekanan (kg/cm ²)
1	Injektor 1	170
2	Injektor 2	170
3	Injektor 3	170
4	Injektor 4	170

3. Memeriksa injektor

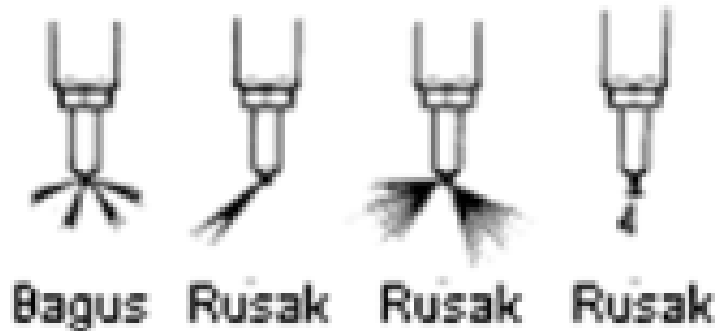
- a. Memeriksa kondisi penyemprotan injektor, injektor baik terlihat dari bentuk bahan bakar yang di semprotkan seperti gambar di bawah ini;



Gambar 3.2 Bentuk penyemprotan injektor pada *engine 14B Toyota off road tipe*

FJ40

- b. Memeriksa injektor dari kemungkinan bocor, injektor baik dengan tidak menetesnya bahan bakar sesudah penginjeksian bahan bakar.



Gambar 3.3 Bentuk penyemprotan injektor

(Sumber: <https://otomotifproduk.blogspot.com/2015/07/menentukan-kerusakan-injektor.html>)

1. Memasang injektor
 - a. Memasang injektor beserta pipa saluran balik kencangkan baut-baut menggunakan ring 12
 - b. Memasang pipa tekanan tinggi pada setiap injektor lalu kencangkan menggunakan kunci pas 17
 - c. Selesai injektor kembali terpasang

Tabel 3.3 Data Hasil Pemeriksaan Komponen Sistem Bahan Bakar

engine 14B Toyota off road tipe FJ40

No.	Nama Komponen	Keterangan
1	Tangki Bahan Bakar	Diperbaiki
2	Saluran Bahan Bakar	Bagus
3	Priming Pump	Diganti
4	Saringan Bahan Bakar	Bagus
5	Pompa Injeksi	Bagus
6	Injektor	Bagus
7	Selang Bahan Bakar	Diganti
8	Pipa Tekanan Tinggi	Bagus

C. Perhitungan Termodinamika

Perhitungan termodinamika dapat menggunakan rumus:

(Petrovsky, 1986:29)

$$T_1 = \frac{T_0 + \Delta t_w + T_r \cdot \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{298 + 17 + 800 \cdot 0,04}{1 + 0,04} \\ &= \frac{347}{1,04} \end{aligned}$$

$$T_1 = 333,6 \text{ } ^\circ\text{K} = 334 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Perhitungan V_1 ini perlu dicari terlebih dahulu berat udara (G), berdasarkan perhitungan pemakaian bahan bakar (Wiranto A, 1988:26)

$$\eta_{te} = \frac{N_e \cdot 632}{G_{bb} \cdot 632}$$

$$\begin{aligned} G_{bb} &= \frac{N_e \cdot 632}{\eta_{te} \cdot 632} \\ &= \frac{98 \cdot 632}{0,44 \cdot 10170} \\ &= \frac{61936}{4474,8} \end{aligned}$$

$$G_{bb}/G_f = 13,84 \text{ kg/jam}$$

Pemakaian bahan bakar tiap menit:

$$\begin{aligned} G_{bb} &= \frac{13,84}{98} \\ &= 0,1412 \text{ kg/menit} \end{aligned}$$

Pemakaian bahan bakar tiap putaran:

$$\begin{aligned} G_{bb} &= \frac{13,41}{n} \\ &= \frac{13,84}{3400} \\ &= 4,07058 \cdot 10^3 \text{ kg/putaran} \end{aligned}$$

Pemakaian bahan bakar tiap siklus:

$$\begin{aligned} G_{bb} &= 2 \cdot (4,07058 \cdot 10^3) \\ &= 8,81411 \cdot 10^3 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah udara yang diperlukan membakar 1kg bahan bakar secara teoritis

(Petrovsky, 1968: 37)

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right)$$

Bahan bakar solar yang digunakan adalah $C_{16}H_{34}$, maka untuk mencari kandungan carbon, dan *hydrogen* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C &= \frac{12.16}{(12.16)+(1.34)} \\ &= \frac{192}{192+34} \\ &= 0,8496 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{1.34}{(12.16)+(1.34)} \\ &= \frac{34}{192+34} \\ &= 0,1504 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } L_o &= \frac{1}{0,21} \left(\frac{0,8496}{12} + \frac{0,1504}{4} \right) \\ &= \frac{1}{0,21} (0,0708 + 0,0376) \\ &= \frac{1}{0,21} (0,1084) \\ &= 0,5162 \text{ mol/kg bahan bakar} \end{aligned}$$

Udara yang diperlukan untuk membakar 1kg yang sebenarnya:

$$\begin{aligned} L'o &= a. L_o \\ L'o &= 1,5.0,5162 \\ &= 0,7743 \text{ mol/kg bahan bakar} \end{aligned}$$

Udara yang diperlukan untuk membakar bahan bakar tiap siklus:

$$\begin{aligned} L'o &= L'o. G_{bb} \\ &= 0,7743. 8.81411.10^{-3} \\ &= 6,8247.10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

Karena berat molekul udara 29 kg/mol, maka berat udara yang diperlukan tiap siklus adalah:

$$\begin{aligned} G_u &= 29 \cdot L' \cdot \rho \\ &= 29 \cdot 6,8247 \cdot 10^{-3} \\ G_u &= 0,9791 \text{ kg udara} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan V_1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 \cdot P_1 &= G_u \cdot R \cdot T_1 \\ V_1 &= \frac{G_u \cdot R \cdot T_1}{P_1} \\ &= \frac{0,9791 \cdot 29,3 \cdot 334}{1,0336} \\ &= \frac{9581,6684}{1,0336} \end{aligned}$$

$$V_1 = 9270,19 \text{ cm}^3$$

2. Langkah kompresi (1-2) pada diagram P-V Diesel, P bertambah, $Q = C$ (adiabatic)

Saat langkah kompresi, berlaku persamaan sebagai berikut:

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

(Wiranto A, 1988: 19)

Untuk mencari T_2 :

$$\frac{T_2}{T_1} = (r)^{k-1}$$

$$T_2 = (r)^{k-1} \cdot T_1$$

$$= (18,4)^{1,399-1} \cdot 334$$

$$= 3,1964 \cdot 334$$

$$T_2 = 1067,60^\circ\text{K} = 1068^\circ\text{K} = 61^\circ\text{C}$$

Untuk menghitung V_2 dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

$$r = \frac{V_1}{r}$$

$$= \frac{9270,19}{18,4} \quad V_2 = 50,38 \text{ cm}^3$$

Untuk menghitung P_2 dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_2 = P_1 \cdot (r)^k$$

$$= 1,0336 \cdot (18,4)^{1,399}$$

$$= 1,0336 \cdot 58,8139$$

$$P_2 = 60,79 \text{ kg/cm}^2$$

Kerja yang dilakukan adalah:

$$W_{1-2} = -c_v (T_2 - T_1)$$

$$= -0,1715 (1068 - 334)$$

$$= -0,1715 \cdot (734)$$

$$= -125,88 \text{ kkal/kg (tanda negative fluida dikenai kerja)}$$

3. Langkah pembakaran/proses pemasukan kalor (2-3) pada diagram P-V Diesel, tekanan tetap (isobaric)

Saat proses ini berlaku persamaan sebagai berikut:

$$Q_m = G \cdot c_{pm} (T_3 - T_2)$$

(Wiranto A, 1988: 19)

Berat gas campuran isap tiap siklus adalah:

$$G = G_u + G_{bb}$$

$$= 0,9791 + 8,81411 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,9879 \text{ kg/siklus}$$

(Wiranto A, (1988: 17)

$$c_p \text{ udara} = 0,24 \text{ kkal/kg}^\circ\text{K}$$

$$c_v \text{ udara} = 0,1715 \text{ kkal/kg}^\circ\text{K}$$

(Maleev, 1945: 27)

$$c_p \text{ bahan bakar} = 1,2050 \text{ kkal/kg}^\circ\text{K}$$

$$c_v \text{ bahan bakar} = 1,1961 \text{ kkal/kg}^\circ\text{K}$$

Dimana:

$$\gamma_a = \frac{G_u}{G} = \text{Perbandingan berat udara dan berat gas campuran}$$

$$\gamma_b = \frac{G}{G_{bb}} = \text{Perbandingan berat bahan bakar dan berat gas campuran}$$

C_{Pa} = Panas jenis tekanan konstan untuk udara

C_{Pb} = Panas jenis tekanan konstan untuk bahan bakar

C_{Va} = Panas jenis volume konstan untuk udara

C_{Vb} = Panas jenis volume konstan untuk bahan bakar

Untuk mencari c_{Pm} dan c_{Vm} adalah sebagai berikut:

$$c_{Pm} = \frac{0,9791}{0,9879} \cdot 0,24 + \frac{4,07058 \cdot 10^{-3}}{0,9879} \cdot 1,2050$$

$$= 0,2378 + 0,0287$$

$$= 0,2665 \text{ kkal/kg}^\circ\text{K}$$

$$c_{Vm} = \frac{0,9791}{0,9879} \cdot 0,1715 + \frac{4,07058 \cdot 10^{-3}}{0,9879} \cdot 1,1961$$

$$= 0,1700 + 0,0492$$

$$= 0,2192 \text{ kkal/kg}^\circ\text{K}$$

Jumlah panas yang masuk tiap siklus adalah:

$$Q_m = G_{bb} \cdot H_b$$

$$= 8,81411 \cdot 10^{-3} \cdot 10170$$

$$= 89,6394 \text{ kkal/siklus}$$

Jadi:

$$Q_m = G \cdot c_{Pm} (T_3 - T_2)$$

$$89,6394 = 0,9879 \cdot 0,2554 (T_3 - 1068)$$

$$89,6394 = 0,2523 (T_3 - 1068)$$

$$89,6394 = 0,2523 T_3 - 269,4564$$

$$89,6394 + 269,4564 = 0,2523 T_3$$

$$359,0958 = 0,2523 T_3$$

$$T_3 = \frac{359,0958}{0,2523}$$

$$T_3 = 1423,28^\circ\text{K} = 1423^\circ\text{K}$$

Saat proses ini berlaku hubungan sebagai berikut:

$$\frac{V}{T} = C, \text{ maka } \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$$

$$V_3 = \frac{T_3}{T_2} \cdot V_2$$

$$= \frac{1423}{1068} \cdot 50,38$$

$$= \frac{6712616,61}{1068} \cdot V_3 = 628,52 \text{ cm}^3$$

4. Langkah kerja atau ekspansi (3-4) pada diagram P-V Diesel, P bertambah V = C

Proses ekspansi berlangsung secara isentropic, pada langkah ini torak bergerak dari TMA menuju TMB. Sehingga berlaku hubungan sebagai berikut:

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

(Wiranto A, 1988: 20)

$$V_4 = V_1 = \text{Volume total (cm}^2\text{)}$$

$$= 9270,19 \text{ cm}^3$$

$$P_3 = P_2 = 80,80 \text{ kg/cm}^2$$

Temperatur dan tekanan pada akhir langkah kerja atau ekspansi

$$\begin{aligned}
 T_4 &= T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\
 &= 1423 \left(\frac{628,52}{9270,19} \right)^{1,399-1} \\
 &= 1423(0,0678)^{1,399-1} \\
 &= 1423 (0,9647)
 \end{aligned}$$

$$T_4 = 1372,76^\circ\text{K} = 1372^\circ\text{K}$$

$$\begin{aligned}
 P_4 = P_3 &= \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^k \\
 &= 80,80 \left(\frac{628,52}{9270,19} \right)^{1,399} \\
 &= 80,80 (0,0678)^{1,399} \\
 &= 80,80 \cdot 0,0339 \quad P_4 = 2,73 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

5. Langkah pengeluaran kalor (4-1) pada diagram P-V Diesel, $V = C$ (isobarik) Setelah torak mencapai TMB sejumlah kalor dikeluarkan dari dalam silinder sehingga temperature fluida kerja akan turun dari T_4 menjadi T_1 . Proses ini berlangsung pada volume konstan ($V_4=V_1$) Sehingga $W=0$. Jumlah kalor yang harus dikeluarkan adalah sebanyak:

$$\begin{aligned}
 Q_{k(4-1)} &= G \cdot C_v (T_1 - T_4) \\
 &= 0,1709 \cdot 0,1715 (334 - 1270) \\
 &= 0,0293 (-936) \\
 &= -27,42 \text{ kkal (negatif, menyatakan kalor keluar dari silinder)}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.4 Rekapitulasi hasil perhitungan termodinamika

No.	Suhu ($^\circ\text{K}$)	Tekanan (kg/cm^2) ²	Volume (cm^3)
1	$T_1 = 334$	$P_1 = 1,0336$	$V_1 = 9270,19$
2	$T_2 = 1068$	$P_2 = 80,89$	$V_2 = 50,38$
3	$T_3 = 1423$	$P_3 = 80,80$	$V_3 = 628,52$

4	$T_4 = 1372$	$P_4 = 2,73$	$V_4 = 9270,190$
---	--------------	--------------	------------------

D. Pemakaian Bahan Bakar Efektif

Perhitungan pemakaian bahan bakar efektif

Perhitungan pemakaian bahan bakar dapat menggunakan rumus:

(Wiranto A, 1988:26)

$$\eta_{te} = \frac{N_e \cdot 632}{G_{bb} \cdot 632}$$

$$G_{bb} = \frac{N_e \cdot 632}{\eta_{te} \cdot 632}$$

$$= \frac{98 \cdot 632}{0,44 \cdot 10170}$$

$$= \frac{61936}{4474,8}$$

$$G_{bb}/G_f = 13,84 \text{ kg/jam}$$

Jadi:

$$B_e = \frac{G_f}{N_e} \quad (\text{Wiranto A, 1988:34})$$

$$B_e = \frac{13,84}{98}$$

$$B_e = 0,141 \text{ kg/jam PS}$$

Tabel 3.5 Rekapitulasi hasil perhitungan pemakaian bahan bakar setiap putaran

No.	Putaran (Rpm)	Pemakaian bahan bakar (kg/putaran)
1	3400	$3,64286 \cdot 10^{-3}$
2	3000	$4,25 \cdot 10^{-3}$
3	2500	$5,1 \cdot 10^{-3}$
4	2000	$6,375 \cdot 10^{-3}$
5	1500	0.0085
6	1000	0,01275
7	750	0,17