

BAB III

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFF ROAD TIPE TOYOTA FJ40

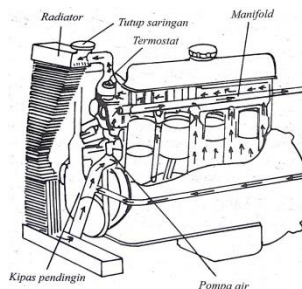
A. Spesifikasi Engine Toyota Dyna

Tabel 3.1 Data dan Spesifikasi engine Toyota Dyna 14 B

Model	:	Toyota Dyna 14B
Diameter Silinder	:	102 mm
Panjang Langkah Torak	:	112 mm
Isi Silinder	:	3.660 cc
Tenaga	:	98/3400 HP/rpm
Torsi	:	240/1800 Nm/rpm
Perbandingan Kompresi	:	18 : 1

B. Spesifikasi Sistem Pendingin Engine Toyota Dyna

Sistem pendingin pada engine Toyota 14B ini menggunakan tipe sirkulasi pompa, thermostat dengan sebuah *bypass valve* dan radiator dengan sirip yang terbuat dari aluminium untuk mengurangi beban



Gambar 3.1 Sistem Pendingin Air
(Daryanto, hal.82)

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Sistem pendingin *engine* terdiri dari radiator, *water pump*, *cooling fan* dan thermostat. Untuk mendinginkan *temperature* air *engine* secara cepat agar *engine* bisa bekerja dengan baik, air *coolant* disirkulasikan oleh *water pump* dan thermostat melalui selang *bypass* dan kembali ke *cylinder body coolant* tidak bersirkulasi melalui radiator. Jika *temperature* air mencapai angka tertentu, thermostat akan mulai membuka dan secara bertahap menambahkan jumlah *coolant* yang bersirkulasi melalui radiator untuk mendinginkan *engine* secara lebih efektif.

C. Langkah Pembongkaran Sistem Pendingin

1. Radiator

- 1) Kuras Cairan Pendingin *Engine*
- 2) Melepaskan *Inlet* Selang Radiator
 - a. Kendorkan *upper hose*
- 3) Melepaskan *Outlet* Selang Radiator
 - a. Kendorkan *lower hose*
- 4) Melepaskan Radiator Assy
 - a. Lepaskan ke 4 baut *radiator assy*
 - b. Lepaskan ke 2 baut *reservoir* radiator yang menempel pada radiator
 - c. Lepaskan *reservoir* radiator

2. Fan



Gambar 3.2 Fan

- 1) Lepas keempat baut *fan* yang menempel pada *water pump*

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

3. *Fan belt*

- 1) Kendorkan baut penyangga alternator
- 2) Lepaskan fan belt

4. *Water Pump*



Gambar 3.3 *Water Pump*

- 1) Lepas semua baut pada *water pump*

5. *Thermostat*



Gambar 3.4 *Thermostat*

- 1) Lepaskan ke 3 baut pada penutup *thermostat*
- 2) Lepaskan *thermostat*

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

**ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN
KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

D. Analisis Gangguan pada Komponen Sistem Pendingin

1. Radiator Tersumbat

Kerak di dalam pipa air radiator dapat menyumbat saluran air, sehingga kemampuan membuang panas menjadi turun. *Temperature* yang tinggi akan merusak komponen – komponen *engine* yang lainnya.

a) Mulut pipa – pipa air

Bagian mulut pipa – pipa air sering terjadi karena kerak – kerak yang menempel pada setiap bagian lubang sehingga air tidak dapat masuk melalui pipa yang tersumbat kotoran tadi. Untuk membersihkan kotoran tersebut pada bagian ujung pipa dapat dibersihkan dengan alat penggosok besi atau baja yang di bentuk seperti scrap.

b) Pipa – pipa air

Langkah untuk mengatasi gangguan pada pipa – pipa yang tersumbat oleh kotoran air atau kerak – kerak dengan menggunakan alat kerok ke dalam pipa – pipa tersebut sehingga kerak – kerak yang menempel bisa dikeluarkan. Perlu diperhatikan bahwa pipa – pipa tersebut terbuat dari bahan yang mudah rusak, maka didalam membersihkan perlu hati – hati jangan sampai terjadi kebocoran.

c) Inti radiator

Membersihkan ini radiator menggunakan udara dari kompresor dan air, kemudian keringkan radiator.

d) Bak air atas

Bak bagian atas berfungsi sebagai penampung air panas yang masuk dari *hose*, bak penampung atas ini dilengkapi dengan tutup radiator. Kotoran yang menempel pada dinding bak penampung atas dapat dihilangkan dengan cara menguras radiator. *Engine* dihidupkan, pipa bagian bawah dibuka dan dialirkan dari tutup radiator. Setelah bersih radiator dipasang kembali, diisi air pendingin dan bila perlu ditambah zat anti karat.

e) Bak air bawah

Bak ini berfungsi untuk menampung air yang telah didinginkan oleh sirip sirip yang menyerupai pipa – pipa kecil sebagai alat pendingin. Penampung bahwa ini dilengkapi kran pembuangan air.

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Saluran pipa – pipa kecil pada sistem pendingin harus selalu baik dan tidak ada endapan kotoran yang dapat menyebabkan terjadi kerusakan pada bagian lainnya.

2. *Thermostat*

Thermostat berfungsi mengatur sirkulasi air agar kerja *engine* maksimal pada temperature yang ideal. Untuk mengetahui kondisi dari *thermostat* maka perlu dilakukan pengujian. Yaitu dengan cara :

- a. Rendam *thermostat* dalam air
- b. Panaskan air, biarkan panas air konstan, dan hindari pemanasan langsung terhadap *thermostat*
- c. Periksa temperature awal terbukanya *thermostat* 80 °C (176°F)
- d. Periksa temperature *thermostat* terbuka penuh 90 °C (194°F)
- e. Posisi *valve* terangkat penuh 9,5 mm (0,37 in)

3. *Water Pump*

Tipe *water pump* yang dipergunakan tidak bisa dibongkar pasang, pada saat pemeriksaan kondisi pompa air masih dalam keadaan baik. Adapun yang harus diperhatikan ketika pemeriksaan *water pump* pada saat *fan center* oblok atau sangat berisik ketika diputar oleh tangan dan ada kebocoran *coolant* dari *seal* unit ataupun *pump body* retak. Maka keseluruhan *water pump assembly* harus diganti.

4. Tutup Radiator

Salah satu cara untuk mengetahui tutup radiator masih baik atau tidak adalah dengan cara memeriksa tutup radiator dengan alat “ *radiator cap tester*”, selain untuk memeriksa tutup radiator, alat analiser sistem pendingin ini juga bisa digunakan untuk memeriksa kebocoran eksternal sistem pendingin.

Salah satu fungsi tutup radiator adalah untuk mengurangi tekanan apabila tekanan didalam sistem berlebihan sehingga dapat mencegah kerusakan bagian – bagian sistem. Kebocoran yang tidak ditemukan didalam sistem pendingin dan radiator tidak terganggu, tetapi

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

engine mengalami gejala *over heating*, maka dapat juga disebabkan karena tutup radiator yang kurang baik sehingga tekanan di dalam sistem terlalu dingin. Pemeriksaan tutup radiator dilakukan untuk mengetahui keadaan katup tekan dan katup hisapnya dengan menggunakan analiser.

Pemeriksaan dengan alat tersebut dapat diketahui tekanan pembukaan katup tekan dan katup vakumnya, serta diketahui apakah ada kebocoran pada tutup radiator atau tidak. Apabila tutup radiator rusak maka harus diganti.

5. *Fan clutch dan cooling fan*

Putar *fan clutch* dengan tangan pada saat temperature kondisi dingin sebelum *engine* di stater, kemudian start *engine* untuk memanaskannya sampai temperature di titik *fan clutch* mencapai 80°C. kemudian matikan *engine* dan pastikan bahwa *fan clutch* dapat diputar dengan sedikit tenaga ketika diputar oleh tangan. Jika *fan clutch* dapat diputar lebih ringan artinya ada kebocoran *silicone grease*. Ganti *fan clutch* dengan yang baru

E. Langkah Pemasangan Sistem Pendingin

1) *Water Pump*

- a. Pasang kembali *water pump* dan kencangkan semua baut pada *water pump*

2) *Fan*

- a. Pasang kembali *fan* dan kencangkan ke 4 baut *fan* pada *water pump*

3) *Fan belt*

- a. Pasang *fan belt* pada puli *water pump* sehingga terhubung dengan puli poros engkol dan alternator
- b. Kencangkan baut penyangga alternator

4) *Thermostat*

- a. Pasangkan kembali *thermostat*
- b. Kencangkan ke 3 baut penutup *thermostat*

5) **Radiator**

- 1) Memasangkan radiator *assy*
 - a. Pasangkan radiator dengan ke 4 baut
 - b. Pasangkan *reservoir* radiator dengan ke 2 baut.
- 2) Hubungkan *inlet* selang radiator dengan *upper hose*
 - a. Kencangkan *clamp ring* pada *upper hose*
- 3) Hubungkan *outlet* selang radiator dengan *lower hose*
 - a. Kencangkan *clamp ring* pada *lower hose*
- 4) Tambahkan cairan pendingin *engine*
- 5) Periksa terhadap adanya kebocoran cairan pendingin
- 6) Pemasangan radiator

F. Cara Perawatan dan Perbaikan Sistem Pendingin

1. Cek Ketegangan *Fan Belt*

Tegangan *fan belt* udara diatur dengan cara sebagai berikut, pertama tama kendorkan baut pengikat dan sekerup pengatur tegangan *fan belt* yang terdapat pada alternator, dengan mempergunakan kayu gerakkanlah alternator menjauhi blok *engine*, sementara itu aturlah tegangan *fan belt*. Pada saat itu hendaknya *fan belt* dapat melentur antara 5-10 mm, Sesudah itu kencangi sekrup pengatur dan baut-baut pengikatnya.

Akibat apabila *fan belt* terlalu kendor :

- Turunnya putaran alternator menyebabkan berkurangnya arus listrik yang mengalir ke baterai.
- Sirkulasi air pendingin kurang sempurna, sehingga mengganggu proses pendinginan yang sedang berlangsung.
- Oleh karena (pada umumnya) pompa dan kipas udara digerakan oleh puli yang sama, maka *fan belt* udara yang kendor akan mengakibatkan kapasitas udara pendingin yang

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

mengalir melalui radiator menjadi berkurang. Dengan demikian, pendinginan air di dalam radiator tidak dapat berlangsung dengan baik.

2. Cek Air Radiator

Menambah air saat motor panas. Pada kondisi darurat, dengan kondisi motor panas, kita dapat memeriksa dan menambah air radiator dengan cara berikut, ini:

- Biarkan motor dalam keadaan hidup
- Buka tutup cap motor
- Ambil kain atau lap dan basahkan dengan air, kemudian putar tutup radiator perlahan-lahan hingga udara panas dalam radiator mengalir keluar.
- Biarkan air keluar dari tekanan radiator keluar hingga terhenti.
- Buka tutup radiator
- Tambahkan air kedalam radiator sampai penuh
- Injak pedal gas
- Tambahkan air kembali kedalam radiator
- Tutupkan kembali tutup radiator

Akibat apabila Radiator kekurangan air:

- Motor akan mudah panas
- Akan terjadi over heating

3. Cek *Thermostat*

- Lepaskan baut-baut pengikat dari pipa air pendingin ke luar dari blok motor
- Keluarkan *Thermostat* dari rumahnya
- Celupkan *Thermostat* kedalam bak berisi air dan panaskan air tersebut

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

- Apabila *temperature* air mencapai 80°C, katup *Thermostat* akan mulai membuka
- Apabila *temperature* air mencapai 90°C katup tersebut akan terbuka penuh
- Apabila *Thermostat* tidak pernah dapat terbuka, maka *Thermostat* sudah rusak.

Akibat apabila *Thermostat* rusak yakni air dalam motor tidak dapat sirkulasi sehingga akan terjadi *over heating*

4. Cek kebersihan Inti Radiator

Apabila aliran udara pendingin tersumbat,bersihkan kotoran-kotoran tersebut dengan menggunakan udara yang bertekanan tinggi.

Akibat apabila Inti Radiator tersumbat:

Saluran udara pendingin akan tersumbat sehingga pendinginan tidak akan bekerja dengan baik.

5. Cek kebocoran *Water Pump*

Periksa apakah terdapat kebocoran melalui poros pompa,karena poros pompa longgar/terlepas dari bantalan. Jika demikian, sebaiknya pompa air dilepas untuk diperiksa / diperbaiki.

Akibat apabila *Water Pump* bocor yakni *water pump* tidak dapat menekan / menghisap air pendingin sehingga pendinginan akan berhenti dan akan terjadi *over heating*.

6. Periksa Tutup Radiator

Dalam pemeriksaan tutup radiator dapat memakai alat pengetes sederhana yang terdiri dari sebuah pompa tangan yang dilengkapi alat pengukur tekanan, guna menguji berapa batas tekanan yang dibebaskan oleh tutup tersebut. Yaitu:

- Pasangkan alat uji kap radiator (*Radiator Cap Tester*)
- Beri tekanan, Tekanan pada suhu standar = 1,2 kg/cm²

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

- Periksa kekuatan tekanan dan kerja dari katup pembebas volume, Tekanan standar 0.75 – 1.05 kg/cm².

Akibat apabila Tutup Radiator rusak yakni apabila air pendingin terlalu panas sehingga air tersebut akan menghasilkan tekanan uap dan uap tersebut tidak dapat diredam dikarenakan radiator cap rusak sehingga akan terjadi ledakan dan dapat merusak sistem pendingin.

7. Periksa Selang Radiator

Periksa semua selang radiator dan ganti jika sekiranya kurang baik / rusak

Akibat apabila Selang Radiator bocor yakni apabila selang terdapat kebocoran, maka radiator akan selalu kekurangan air yang akan mengakibatkan *over heating*.

- Sebab –Sebab Utama Dari Kerusakan Sistem Pendingin
 1. Kekurangan air
 2. Pipa radiator buntu
 3. Pipa (karet) radiator kempis
 4. Terdapat kotoran pada sirip2 radiator
 5. *Thermostat* rusak
 6. *Water pump* rusak
 7. Terdapat kotoran – kotoran pada sirip radiator

G. Tinjauan Perhitungan Thermodinamika

1. Perhitungan Perpindahan Panas pada Setiap Langkah

Torak

a. Langkah hisap

Untuk menghitung besarnya volume udara pada akhir langkah kompresi (V_1), perlu menghitung besarnya volume langkah (V_L) dan volume sisa (V_2) terlebih dahulu.

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Besarnya volume langkah (V_L), yaitu :

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S \times Z \\ &= \frac{3,14}{4} \times (102)^2 \times 112 \times 4 \\ &= 0,785 \times 10404 \times 112 \times 4 \\ &= 3658878,72 \text{ mm}^3 \\ &= 3658,878 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Besar Volume sisa (V_2), yaitu :

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{V_L}{r-1} \\ &= \frac{3658,878}{18-1} \\ &= 215,228 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_1 &= V_L + V_2 \\ &= 3658,878 + 215,228 \\ &= 3874,106 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

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

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

Keterangan :

$$\begin{aligned} P_0 &= \text{tekanan udara luar (kg/m}^2\text{)} \\ &= 1 \text{ atm} = 10330 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Wiranto Arismunandar,} \\ &1994 : 106) \end{aligned}$$

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

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

**ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN
KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{(T_0 + \Delta t) + (T_r \times Y_r)}{1 + Y_r} \\
 &= \frac{(298 + 15) + (750 \times 0,03)}{1 + 0,03} \\
 &= \frac{335,5}{1,03} \\
 &= 325,728 \text{ } ^\circ\text{K} \\
 &= 52,578 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

T_0 = Temperatur atmosfer atau udara luar ($^\circ\text{K}$)
 $= 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 298 \text{ } ^\circ\text{K}$ (Wiranto Arismunandar,
 194: 106)

Δt_w = Pengaruh suhu akibat perseteruan dengan silinder
 $= (15 - 20 \text{ } ^\circ\text{K})$, diambil $15 \text{ } ^\circ\text{K}$
 (Kovakh, 1976: 95)

T_r = Temperatur gas buang
 $= (700 - 800 \text{ } ^\circ\text{K})$, diambil $750 \text{ } ^\circ\text{K}$
 (Petrovsky, 1968: 32)

Y_r = Koefisien gas bekas
 $= (0,03 - 0,04)$, diambil $0,03$
 (Petrovsky, 1968: 29)

Menurut Kovakh (1976 : 68) hasil dari perhitungan ini dianggap memenuhi persyaratan, karena besarnya panas awal pemasukan (T_1) berkisar antara $310 - 350 \text{ } ^\circ\text{K}$.

b. Langkah Kompresi

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

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_1 \times \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \\
 &= 0,8264 \times \left(\frac{3874,106}{215,228}\right)^{1,3079} \\
 &= 0,8264 \times 18^{1,3079} \\
 &= 36,221 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
 k &= \text{Nilai perbandingan kalor spesifik} \\
 &= C_{pm}/C_{vm} \\
 &= 1,3079 \text{ (Untuk bahan bakar diesel)} \quad (\text{Sunarto}) \\
 \text{H.Untung: 31)}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_2 &= T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \\
 &= 325,728 \times \left(\frac{3874,106}{215,228}\right)^{1,3079-1} \\
 &= 325,728 \times 18^{0,3079} \\
 &= 793,146 \text{ }^\circ\text{K} \\
 &= 519,996 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 k &= \text{Nilai perbandingan kalor spesifikasi (1,3079)} \quad (\text{Sunarto}) \\
 \text{H.Untung: 31)}
 \end{aligned}$$

c. Proses Pembakaran

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

$$\begin{aligned}
 P_3 &= P_2 \\
 &= 36,221 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 G_{bb} &= \frac{ne \times 632}{nth \times Hb} \\
 n_e &= 98 \text{ HP} \\
 1 \text{ HP} &= 1,08012 \text{ PS} \\
 &= 105,851 \text{ PS} \\
 G_{bb} &= \frac{105,851 \times 632}{0,39 \times 10100} \\
 &= \frac{67532,938}{3939} \\
 &= 17,144 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

η_{th} = Efisiensi *thermal* (0,35 – 0,40), diambil 0,39 (Kovakh, 1976: 1730)

η_e = Daya Efektif (PS)
(Kovakh, 1976: 27)

H_b = Nilai bahan bakar (10100 kkal/kg)
(Petrovsky, 1968: 43)

Nilai pemakaian bahan bakar setiap menit (Gbb), yaitu :

$$\begin{aligned} Gbb' &= \frac{Gbb}{60} \\ &= \frac{17,144}{60} \\ &= 0,285 \text{ kg/menit} \end{aligned}$$

Nilai pemakaian bahan bakar setiap putaran (Gbb''), yaitu :

$$\begin{aligned} Gbb'' &= \frac{Gbb'}{n} \\ &= \frac{0,285}{3400} \\ &= 8,382 \times 10^{-5} \text{ kg/putaran} \end{aligned}$$

Nilai pemakaian bahan bakar tiap siklus (Gbb'''), yaitu :

$$\begin{aligned} Gbb''' &= 2 \times Gbb'' \\ &= 2 \times 8,382 \times 10^{-5} \\ &= 16,764 \times 10^{-5} \text{ kg/siklus} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_m &= Gbb''' \times H_b \\ &= (16,764 \times 10^{-5}) \times 10100 \\ &= 1,693 \text{ kkal/siklus} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{1}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right) \\ &= \frac{1}{0,21} \times \left(\frac{0,841}{12} + \frac{0,159}{4} \right) \\ &= 0,523 \text{ mole /kgbb} \end{aligned}$$

Keterangan :

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{12 \times 16}{(12 \times 16) + (36 \times 1,008)} \\
 &= \frac{192}{192 + 36,288} \\
 &= 0,841 \text{ mole} \\
 H &= \frac{36 \times 1,008}{(12 \times 16) + (36 \times 1,008)} \\
 &= \frac{36,288}{192 + 36,288} \\
 &= 0,159 \text{ mole}
 \end{aligned}$$

(Sunarto H. Untung: 29)

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

$$\begin{aligned}
 L_0' &= \alpha \times L_0 \\
 &= 1,3 \times 0,523 \\
 &= 0,68 \text{ mole/kgbb}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \text{Koefisien kelebihan udara} \\
 &= (1,3 - 1,7), \text{ yang diambil } 1,3 \\
 &= (\text{Petrovsky, 1968: 43})
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 L_0'' &= L_0' \times G_{bb}''' \\
 &= 0,68 \times (16,764 \times 10^{-5}) \\
 &= 1,139 \times 10^{-4} \text{ mole /putaran}
 \end{aligned}$$

Berat udara tiap siklus (G_u), yaitu :

$$\begin{aligned}
 G_u &= 28,95 \times L_0'' \\
 &= 28,95 \times (1,139 \times 10^{-4}) \\
 &= 3,3001 \times 10^{-3} \text{ mole /putaran}
 \end{aligned}$$

Panas jenis tekanan konstan gas campuran (C_{pm}), yaitu :

$$\begin{aligned}
 C_{pm} &= \frac{G_u}{G} \times C_{pa} + \frac{G_{bb}'}{G} \times C_{pb} \\
 &= \left(\frac{0,0033}{0,241} \right) \times 0,2402 + \left(\frac{0,285}{0,241} \right) \times 1,2050
 \end{aligned}$$

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$= 0,984 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{K}$$

Keterangan :

$$C_{pa} = \text{Panas jenis tekanan constan untuk udara} \\ = 0,2402 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{K} \quad (\text{Obert}$$

Edward F, 1968: 72)

$$C_{pb} = \text{Panas jenis tekanan konstan untuk bahan bakar} \\ = 1,2050 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{K} \quad (\text{V.}$$

L . Maleev, 1945: 27)

Sehingga besarnya temperature gas campuran (udara dan bahan bakar) pada proses pembakaran (T_3), yaitu :

$$T_3 = \frac{Qm}{G \times Cpm} + T_2 \\ = \frac{1,693}{0,241 \times 0,984} + 793,146 \\ = 800,289 \text{ } ^\circ\text{K} \\ = 527,139 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$V_3 = V_2 \times \frac{T_3}{T_2} \\ = 215,228 \times \frac{800,289}{793,146} \\ = 217,166 \text{ cm}^3$$

d. Langkah Kerja

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

$$P_4 = P_2 \times \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^k \\ = 36,221 \times \left(\frac{217,166}{3874,106}\right)^{1,3079} \\ = 0,835 \text{ kg/cm}^2$$

Keterangan :

$$k = \text{nilai perbandingan kalor spesifikasi (1,3079)}$$

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

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

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
 &= 800,289 \times \left(\frac{217,166}{3874,106}\right)^{0,3079} \\
 &= 329,468 \text{ }^\circ\text{K} \\
 &= 56,318 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

k = Nilai perbandingan kalor spesifikasi (1,3079) (Sunarto H. Untung: 31)

e. Proses Pengeluaran Kalor

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

yaitu :

$$\begin{aligned}
 C_{vm} &= \frac{Gu}{G} \times C_{va} + \frac{Gbb'}{G} \times C_{vb} \\
 &= \left(\frac{0,003}{0,241}\right) \times 0,1718 + \left(\frac{0,285}{0,241}\right) \times 1,1961 \\
 &= 1,416 \text{ kkal/kg }^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

C_{va} = Panas jenis volume konstan untuk udara
 = 0,1718 kkal/kg $^\circ\text{K}$ (Obert Edward F, 1968: 722)

C_{vb} = Panas jenis volume konstan untuk bahan bakar
 = 1,1961 kkal/kg $^\circ\text{K}$ (V. L. Maleev, 1945: 27)

Jumlah kalor yang dikeluarkan yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_k &= G \times C_{vm} \times (T_4 - T_1) \\
 &= 0,241 \times 1,416 \times (329,468 - 325,728) \\
 &= 0,241 \times 1,416 \times 3,74 \\
 &= 1,276 \text{ BTU/ hr}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Perpindahan Panas

a. 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 :

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Menghitung nilai panas yang terjadi (Q_s) yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_s &= n_e \times 632,4 \\
 &= 105,851 \times 632,4 \\
 &= 66940,172 \text{ kkal} \\
 &= 66940,172 \times 3,969 \\
 &= 265685,544 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai panas yang terjadi pada setiap silinder (Q'),
yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q' &= \frac{Q_s}{4} \\
 &= \frac{66940,172}{4} \\
 &= 16735,043 \text{ kkal} \\
 &= 66421,385 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Menghitung besar perpindahan panas yang melalui dinding blok silinder (Q_{ds}), yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_{ds} &= \frac{Q_s}{Q'} \\
 &= \frac{265685,544}{66421,385} \\
 &= 4 \text{ kkal} \\
 &= 15,876 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

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

Mengetahui besar temperatur rata – rata gas pada proses pembakaran (t_1), yaitu :

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{T_2 + T_3}{2} \\
 &= \frac{793,146 + 800,289}{2} \\
 &= 796,717 \text{ } ^\circ\text{K} \\
 &= 523,567 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= (1,8 \times 523,567) + 32 \\
 &= 974,421 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Menghitung tebal dinding dalam blok silinder (L), yaitu :

$$\begin{aligned}
 L &= (0,045 \times D) + 1,588 \\
 &= (0,045 \times 102) + 1,588 \\
 &= 6,178 \text{ mm} \\
 &= 0,021 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal dinding luar blok silinder (x), yaitu :

$$\begin{aligned}
 X &= L \\
 &= 0,021 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung diameter dinding luar silinder (D₀), yaitu :

$$\begin{aligned}
 D_0 &= D + 2L \\
 &= 0,334 + (2 \times 0,021) \\
 &= 0,376 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas pada bagian dalam silinder (A₁), yaitu :

$$\begin{aligned}
 A_1 &= (\pi \times D \times S \times 0,5) + (\pi \times D \times \frac{S}{r-1}) + (\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 2) \\
 &= (3,14 \times 0,334 \times 0,367 \times 0,5) + (3,14 \times 0,334 \times \frac{0,367}{18-1}) + (\frac{1}{4} \times \\
 &3,14 \times 0,334^2 \times 2) \\
 &= 0,192 + 0,022 + 0,175 \\
 &= 0,389 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas bagian luar silinder (A₀), yaitu :

$$\begin{aligned}
 A_0 &= (\pi \times D_0 \times S \times 0,5) + (\pi \times D_0 \times \frac{S}{r-1}) + (\frac{1}{4} \times \pi \times D_0^2 \times 2) \\
 &= (3,14 \times 0,376 \times 0,334 \times 0,5) + (3,14 \times 0,376 \times \frac{0,367}{18-1}) + (\frac{1}{4} \times \\
 &3,14 \times 0,376^2 \times 2) \\
 &= 0,197 + 0,025 + 0,221 \\
 &= 0,443 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas rata – rata pada silinder (A), yaitu :

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{A_0 + A_1}{2} \\
 &= \frac{0,443 + 0,389}{2} \\
 &= 0,416 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga besar temperatur dinding silinder bagian dalam (t_{2ds}) yaitu :

$$\begin{aligned}
 t_{2ds} &= t_1 - \frac{Qds}{U \cdot A} \\
 &= 974,421 - \frac{15,876}{40,48 \times 0,416} \\
 &= 974,421 - 0,942 \\
 &= 973,479 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 523,043 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

U = Koefisien perpindahan panas total
 = 40,48 BTU / ft² °F.hr

Besarnya temperatur dinding silinder bagian luar (t_{3ds}), yaitu :

$$\begin{aligned}
 t_{3ds} &= \frac{\left(\frac{h}{x} \times A_0 \times t_{2ds}\right)}{\frac{h}{x} \times A_0} \\
 &= \frac{0,021 \times 0,443 \times 973,479}{0,021 \times 0,443} \\
 &= \frac{554465,824}{569,571} \\
 &= 973,479 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 523,043 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

h_1 = konduktifitas bahan silinder
 = 27 BTU / ft² °F.hr

(V.L.

Maleev, 1945: 426)

b. Perpindahan panas pada kepala silinder

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

$$Q_{ks} = 13\% \times Q'$$

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
 &= 0,13 \times 16735,043 \\
 &= 2175,555 \text{ kkal} \\
 &= 8634,777 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 t_{2ks} &= t_1 - \frac{Q_{ks}}{U \cdot A} \\
 &= 974,421 - \frac{8634,777}{40,48 \times 0,416} \\
 &= 974,421 - 512,784 \\
 &= 461,637 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 238,687 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 t_{3ks} &= \frac{\left(\frac{h}{x} \times A_0 \times t_{2ks} - Q_{ks}\right)}{\frac{h}{x} \times A_0} \\
 &= \frac{\left(\frac{27}{0,021} \times 0,443 \times 461,637 - 8634,777\right)}{\frac{27}{0,021} \times 0,443} \\
 &= \frac{254300,468}{569,571} \\
 &= 446,477 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 230,265 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Besarnya temperatur rata – rata kepala silinder (t_r), yaitu :

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{t_{3ds} + t_{3ks}}{2} \\
 &= \frac{973,479 + 446,477}{2} \\
 &= 709,978 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 376,654 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

c. Perpindahan panas yang diserap oleh air pendingin

Besarnya panas yang diserap air pendingin (Q_α), yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_\alpha &= h_m \times A \times (t_r - t_5) \times y \\
 &= 180 \times 0,229 \times (709,978 - 125) \times 25\% \\
 &= 180 \times 0,416 \times (248,747) \times 0,25 \\
 &= 6028,199 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

**ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN
KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Tabel 3.2 Data Hasil Perhitungan Analisis Sistem Pendingin Air *Engine* tipe 14B

Volume langkah (V_L)	:	3658,878 cm ³
Volume sisa (V_2)	:	215,228 cm ³
Volume udara pada akhir langkah hisap (V_1)	:	3874,106 cm ³
Tekanan udara pada akhir langkah hisap (P_1)	:	0,8264 kg/cm ²
Temperatur udara pada akhir langkah hisap (T_1)	:	325,728 °K
Tekanan pada akhir langkah kompresi (P_2)	:	36,221 kg/cm ²
Temperatur pada akhir langkah kompresi (T_2)	:	793,146 °K
Nilai pemakaian bahan bakar tiap jam (G_{bb})	:	17,144 kg/jam
Nilai pemakaian bahan bakar tiap menit (G_{bb}')	:	0,285 kg/menit
Nilai pemakaian bahan bakar tiap putaran (G_{bb}'')	:	8,382 x 10 ⁻⁵ kg/putaran
Nilai pemakaian bahan bakar tiap siklus (G_{bb}''')	:	16,764 x 10 ⁻⁵ kg/siklus
Panas yang masuk dari hasil	:	1,693 kkal/siklus

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

pembakaran (Q_m)		
Jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara teoritis (L_0)	:	0,523 mole /kgbb
Jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran 1kg bahan bakar yang sebenarnya (L_0')	:	0,68 mole/kgbb
Jumlah udara yang diperlukan untuk membakar bahan bakar tiap siklus (L_0'')	:	$1,139 \times 10^{-4}$ mole /putaran
Berat udara tiaps siklus (G_u)	:	$3,3001 \times 10^{-3}$ mole /putaran
Panas jenis tekanan konstan gas campuran (C_{pm})	:	0,984 kkal/kg °K
Temperatur gas pada akhir proses pembakaran (T_3)	:	800,289 °K
Volume gas pada akhir proses pembakaran (V_3)	:	217,166 cm ³
Tekanan pada akhir langkah kerja (P_4)	:	0,835 kg/cm ²
Temperatur akhir langkah kerja (T_4)	:	329,468 °K
Panas jenis volume konstan untuk gas campuran (C_{vm})	:	1,416 kkal/kg °K
Jumlah kalor yang dikeluarkan (Q_k)	:	1,276 BTU/ hr

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Panas yang terjadi pada semua silinder (Q_s)	:	265685,544 BTU
Panas yang terjadi pada setiap silinder (Q')	:	66421,385 BTU
Jumlah panas yang diberikan pada dinding silinder (Q_{ds})	:	15,876 BTU
Temperatur rata – rata dari gas (t_1)	:	974,421 °F
Tebal dinding silinder (L)	:	0,021 ft
Diameter dinding silinder bagian luar (D_0)	:	0,376 ft
Luas perpindahan bagian dalam (A_1)	:	0,389 ft ²
Luas perpindahan bagian luar (A_0)	:	0,443 ft ²
Luas bidang perpindahan panas rata – rata (A)	:	0,416 ft ²
Temperatur dinding silinder bagian dalam (t_{2ds})	:	0,416 ft ²
Temperatur dinding silinder bagian luar (t_{3ds})	:	973,479 °F
Jumlah panas pada kepala silinder bagian dalam (Q_{ks})	:	8634,777 BTU
Temperatur dinding kepala silinder bagian dalam (t_{2ks})	:	461,637 °F

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Temperatur dinding kepala silinder bagian luar (t_{3ks})	:	446,477 °F
Temperatur rata-rata kepala silinder (t_r)	:	709,978 °F
Jumlah kalor yang diserap air pendingin (Q_a)	:	6028,199 BTU

Berdasarkan hasil perhitungan analisis di atas, dapat diketahui bahwa jumlah kalor yang diserap oleh air pendingin (Q_a) sebesar 6028,199 BTU dari jumlah panas yang terjadi sebesar 265685,544 BTU sehingga untuk mengetahui persentasi jumlah panas yang diserap adalah :

$$100\% \times \frac{6028,199}{265685,544} = 2,268\%$$

Panas yang diserap oleh air pendingin hanya sekitar 2,268%, sisanya terbawa ke luar bersama gas buang, komponen – komponen *engine*, untuk menggerakkan mekanisme *engine* dan hanya 29% - 38% dari panas tersebut yang diubah menjadi *energy* mekanik.