

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### A. Tinjauan Umum Motor Diesel

##### 1. Definisi Motor Diesel

Motor Diesel adalah motor sistem pembakaran dalam/*internal combustion engine (ICE)* yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Motor Diesel memiliki keunggulan dalam efisiensi termal yang tinggi jika dibandingkan dengan motor Otto dan juga sistem pembakarannya menggunakan *Compression ignition* (pembakaran tekan), yang tidak memerlukan busi seperti pada motor Otto. Pada *ICE* proses pembakaran terjadi di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja.

Motor Diesel disebut juga motor pembakaran dalam karena pengubahan energi panas menjadi energi mekanik dilaksanakan di dalam motor bakar itu sendiri. Pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen yang berasal dari udara terjadi akibat kompresi yang tinggi. Gesekan antara partikel – partikel dari bahan bakar dan udara akan mengakibatkan terjadinya pembakaran sehingga tidak perlu lagi menggunakan busi untuk memercikan bunga api seperti motor Otto. Gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran mampu menggerakkan torak yang dihubungkan dengan poros engkol oleh batang penggerak. Gerak translasi yang terjadi pada torak menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi tersebut mengakibatkan gerak naik dan turun torak

Motor Diesel menggunakan prinsip kerja hukum Charles, yaitu pada tekanan tetap, volume gas ideal bermassa tertentu berbanding lurus terhadap temperaturnya. Ketika udara dikompresi maka suhunya akan meningkat. Udara masuk ke dalam ruang bakar Motor Diesel dan dikompresi oleh piston yang perbandingan kompresi antara 15:1 sampai 22:1 sehingga menghasilkan tekanan 40-bar (4,0 MPa; 580 psi), dibandingkan dengan motor bensin yang hanya 8 to 14 bar (0,80 to 1,40 MPa; 120 to 200 psi). Tekanan tinggi ini akan menaikkan suhu udara

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

sampai 550 °C (1.022 °F). Beberapa saat sebelum piston memasuki proses kompresi, bahan bakar Diesel disemprotkan ke ruang bakar langsung dalam tekanan tinggi melalui *nozzle* dan *injektor* supaya bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Injektor memastikan bahwa bahan bakar terpecah menjadi butiran-butiran kecil dan tersebar merata. Gas bahan bakar kemudian menyala akibat udara yang terkompresi tinggi di dalam ruang bakar.

## 2. Cara Kerja Motor 4 Langkah

Pada motor Diesel 4 langkah, katup masuk dan buang digunakan untuk mengontrol proses pemasukan dan pembuangan gas dengan membuka dan menutup saluran masuk dan buang. Perbedaannya, jika pada motor Otto, udara dan bahan bakar masuk bersama sama melalui *intake manifold* dan katup hisap, sementara di motor Diesel, hanya udara saja yang masuk ke ruang bakar melalui saluran masuk dan katup hisap. Perbedaan yang kedua, jika pada motor Otto pembakaran diperoleh dari nyala bunga api pada busi, pada motor Diesel tidak demikian, melainkan dengan panas yang dihasilkan pada saat udara dikompresikan, kemudian baru *injector nozzle* menyemprotkan bahan bakar yang sudah diatomisasikan (dikabutkan) sehingga mudah terjadi pembakaran.

Pada motor Diesel, bahan bakar diinjeksikan oleh *injector nozzle* ke dalam silinder yang di dalamnya telah tersedia udara panas yang diakibatkan oleh langkah kompresi. Hal tersebut mengakibatkan bahan bakar terbakar dan terjadilah pembakaran yang menghasilkan langkah usaha. Udara yang masuk ke dalam silinder tidak diatur seperti halnya pada motor bensin. Masuknya udara hanya berdasarkan isapan dari piston. Jadi, pada motor Diesel, *out-put* motor diatur atau ditentukan oleh banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan. Untuk menentukan besarnya *out-put* motor Diesel tergantung dari dua hal, yaitu (1) Besarnya tekanan kompresi dan (2) Jumlah dan saat penginjeksian bahan bakar yang tepat.

Hal yang perlu diperhatikan adalah ada beberapa macam ruang bakar yang ada pada motor Diesel, diantaranya ada motor Diesel yang menggunakan ruang bakar utama ditambah ruang bakar tambahan, tetapi ada juga motor Diesel yang menggunakan ruang bakar utama saja atau disebut ruang bakar langsung (*direct injection*). Berikut ini merupakan

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

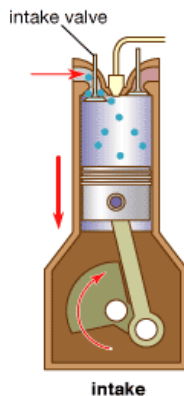
**ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN  
KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40**

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

cara kerja motor Diesel 4 langkah yang menggunakan ruang bakar langsung (*direct injection*).

## 1. Langkah Hisap

Selama Pada langkah hisap, udara dimasukkan ke dalam silinder. Piston membentuk kevakuman di dalam silinder seperti pada motor Otto, piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB). Kevakuman ini membuat udara terhisap dan masuk ke dalam silinder. Pada saat ini katup hisap membuka dan katup buang menutup.



**Gambar 2.1** Langkah Hisap

(<http://motomodif-world.blogspot.com>)

## 2. Langkah Kompresi

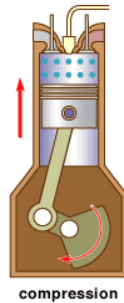
Pada langkah kompresi, piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA), udara yang sudah masuk ke dalam silinder akan ditekan oleh piston yang bergerak ke atas (TMA) hingga tekanannya naik sekitar  $30 \text{ kg/cm}^2$  (427 psi, 2.942 kpa). Perbandingan kompresi pada motor Diesel berkisar diantara 15 : 1 sampai 22 : 1. Akibat proses kompresi ini udara menjadi

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

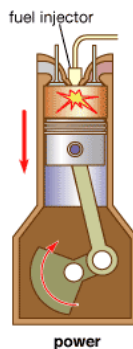
panas dan temperaturnya sekitar 500 - 800 °C. Pada langkah ini kedua katup dalam posisi menutup semua.



**Gambar 2.2** Langkah Kompresi  
(<http://motomodif-world.blogspot.com>)

### 3. Langkah Usaha

Pada akhir langkah kompresi, *injector nozzle* menyemprotkan bahan bakar dengan tekanan tinggi dalam bentuk kabut ke dalam ruang bakar dan selanjutnya bersama sama dengan udara terbakar oleh panas yang dihasilkan pada langkah kompresi tadi. Diikuti oleh pembakaran tertunda, pada awal langkah usaha akhirnya pembentukan atom bahan bakar akan terbakar sebagai hasil pembakaran langsung dan membakar hampir seluruh bahan bakar.



Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

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

Universitas Pendidikan Indonesia | [repository.upi.edu](http://repository.upi.edu) | [perpustakaan.upi.edu](http://perpustakaan.upi.edu)

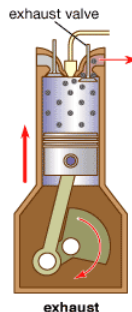
### Gambar 2.3 Langkah Usaha

(<http://motomodif-world.blogspot.com>)

Akibat dari pembakaran tersebut mengakibatkan panas silinder meningkat dan tekanan silinder yang bertambah besar. Tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran diteruskan ke piston. Piston terdorong ke bawah (TMB) dan tenaga pembakaran dirubah menjadi tenaga mekanik. Pada saat ini kedua katup juga dalam posisi tertutup.

#### 4. Langkah Buang

Dalam langkah ini piston akan bergerak naik dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) dan mendorong gas buang sisa pembakaran keluar melalui katup buang yang sudah terbuka, pada akhir langkah buang udara segar masuk dan ikut mendorong sisa gas bekas keluar dan proses kerja selanjutnya akan mulai. Pada langkah ini katup buang terbuka dan katup masuk tertutup.



### Gambar 2.4 Langkah Buang

(<http://motomodif-world.blogspot.com>)

#### B. Dasar Teori Sistem Pendingin

Panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran di dalam *engine* diubah menjadi tenaga gerak. Namun kenyataannya hanya sebagian dari panas tersebut yang dimanfaatkan secara efektif. Panas yang diserap *engine* harus dengan segera dibuang ke udara luar, sebab jika tidak maka

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

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

Universitas Pendidikan Indonesia | [repository.upi.edu](http://repository.upi.edu) | [perpustakaan.upi.edu](http://perpustakaan.upi.edu)

*engine* akan terlalu panas dan komponen *engine* akan cepat aus. Untuk itu pada *engine* dilengkapi dengan sistem pendingin yang berfungsi untuk mencegah panas yang berlebihan.

Gas pembakaran didalam silinder dapat mencapai *temperature* kurang lebih 2500°C. karena proses itu terjadi berulang ulang maka dinding silinder, kepala silinder, torak, katup dan beberapa bagian yang lain menjadi panas. Sebagian dari minyak pelumas, terutama yang membasahi dinding silinder, akan menguap dan akhirnya akan terbakar bersama bahan bakar. Karena itu bagian tersebut perlu mendapat pendinginan agar temperaturnya tetap berada dalam batas yang diperbolehkan, yaitu sesuai dengan kekuatan material dan operasi yang baik. Kekuatan material akan menurun sejalan dengan naiknya *temperature*. Proses pendinginan memerlukan fluida pendingin yang dialirkan ke bagian *engine* diluar silinder. (Wiranto. A, 1988:56)

Sistem pendingin mempunyai fungsi untuk mengatur dan menstabilkan *temperature* kerja *engine* agar temperaturnya tetap. Apabila *engine* terlalu dingin justru akan mengakibatkan pemakaian bahan bakar menjadi boros. Berdasarkan fluida pendingin, pendingin pada *engine* kendaraan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendingin udara dan sistem pendingin air.

### 1. Sistem Pendingin Udara

Sistem pendingin udara ini memanfaatkan udara luar untuk melakukan proses pendinginan. Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara didalam silinder sebagian dirambatkan keluar melalui sirip sirip pendingin yang dipasang diluar silinder. Kemudian panas akan diserap oleh hembusan udara luar yang temperaturnya jauh lebih rendah. Konstruksi dan jumlah sirip pendingin tergantung besar kecilnya *engine* dan kecepatan perpindahan kalor dari sirip sirip pendingin ke udara. Sirip sirip ini dipasangkan disekeliling silinder dan kepala silinder. Udara yang menyerap panas dari sirip sirip pendingin harus bersirkulasi agar udara disekitar sirip sirip pendingin temperaturnya tetap rendah.



### Gambar 2.5 Sistem Pendingin udara

(<http://anistkr.blogspot.co.id/2012/04/macam-sistem-pendingin>)

Pada pendingin udara ini, hembusan udara akan menjadi lebih cepat pada saat kendaraan berjalan atau dilakukan oleh sebuah kipas. Konstruksi *engine* dengan pendinginan udara dibanding pendingin air mempunyai keuntungan antara lain:

- a) Konstruksi lebih sederhana
- b) Harga relatif lebih murah
- c) Perawatan relatif tidak ada

Namun diantara itu mempunyai kerugian yaitu :

- a) Pendingin tidak merata
- b) Suara *engine* keras karena adanya geetaran dari sirip sirip pendingin.

Pendingin ini banyak digunakan pada sepeda motor. Untuk mengefektifkan pendingin udara, ada juga yang menggunakan komponen tambahan kipas yang digerakan langsung oleh poros engkol. Jika *engine* dihidupkan, maka kipas akan ikut berputar, sehingga udara menuju sudu sudu hantar ke sirip sirip kepala silinder dan blok silinder. Dengan menggunakan kipas ini maka pendinginan akan lebih merata dibanding yang tidak memakai kipas, cara ini digunakan pada sepeda motor. Seperti : Vespa, Yamaha Force 1 dan beberapa jenis mobil, yaitu : Volks Wagen

## 2.Sistem Pendingin Air

Sistem pendingin air ini memanfaatkan air sebagai media untuk menurunkan panas yang berlebih pada *engine*. Air digunakan sebagai media pendingin karena air memiliki titik didih hanya mencapai 100 derajat Celcius. Sistem pendingin air ini memiliki beberapa kompenen, yakni : Radiator, Selang bagian bawah (*lower hose*), pompa air (*water pump*), mantel pendingin (*water jacket*), thermostat, selang bagian atas (*upper hose*), reservoir tank, tutup radiator, kipas (*fan*), tali kipas (*fan belt*).

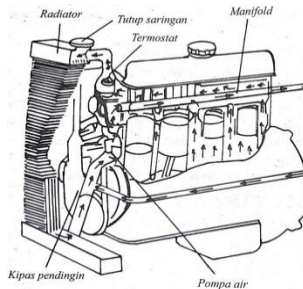
Cara kerja sistem pendingin air yakni saat suhu air dalam *water jacket* sudah panas, air tersebut akan dialirkan ke radiator untuk

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

didinginkan. Pendinginan air pada radiator dilakukan dengan udara yang mengalir melalui kisi kisi radiator, sedangkan aliran udara dilakukan dengan kipas yang diputar oleh *engine*.



**Gambar 2.6** Sistem Pendingin Air  
(Daryanto, hal.82)

Keuntungan:

- 1) Pendingin dapat merata dan efektif.
- 2) Radiator dapat diperkecil, karena aliran air lebih kecil
- 3) Mengurangi kebisingan suara *engine*
- 4) Mengendalikan panas dengan baik

Kerugian

- 1) Perawatan lebih rumit.
- 2) Bobot *engine* bertambah
- 3) Sering terjadi kebocoran

Sistem pendingin air dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

**a. Sistem pendingin air sirkulasi alam (*thermosyphon*)**

Berat jenis air akan turun bila suhunya bertambah dan apabila suhunya turun berat jenis akan naik, sirkulasi alam bekerja atas dasar adanya perbedaan berat jenis. Air yang telah panas didalam *engine* akan

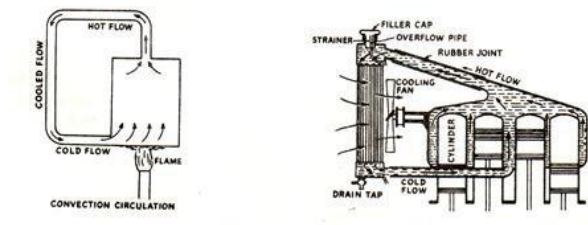
Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

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

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



naik ke bagian atas radiator dan setelah suhunya turun akan mengalir ke bagian bawah radiator untuk seterusnya kembali ke *engine*. Pendingin *engine* yang menggunakan sirkulasi alam, hanya dipakai pada *engine stasioner* dengan beban ringan. Karena jumlah panas persatuan waktu yang dapat diserap dalam sistem pendingin yang memakai sirkulasi alam relatif kecil.



**Gambar 2.7** Sistem Sirkulasi pada *Engine*

(<http://sistem-pendingin.blogspot.co.id/2012/09/sistem-pendingin-air>)

Cara kerja sistem pendingin air sirkulasi alam.

*Engine* dihidupkan maka:

1. Air dalam motor menjadi panas
2. Volume air menjadi mengembang
3. Berat jenis air mengecil
4. Air panas naik ke radiator

Dalam radiator air panas didinginkan maka:

1. Volume air menyusut
2. Berat jenis air membesar
3. Air turun ke motor dan seterusnya

#### **b. Sistem pendingin air sirkulasi pompa**

Peredaran air pendingin dalam sistem sirkulasi pompa pada dasarnya sama dengan sirkulasi alam. Untuk memperbesar jumlah panas yang dapat diserap tiap satuan waktu, sirkulasi air pendingin dipercepat dengan cara memakai pompa.

Pompa ditempatkan diantara radiator dengan *engine*. Air pendingin mengalir dalam blok silinder dengan cara disirkulasikan oleh

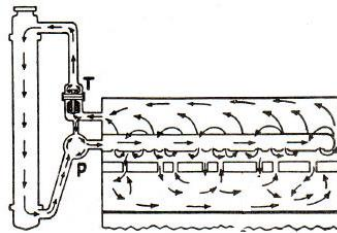
Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

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

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

pompa. Air pendingin mengalir dari radiator ke blok silinder oleh pompa yang diteruskan kembali ke radiator. Agar *temperature* kerja lebih cepat tercapai, maka pada sistem pendingin dengan sirkulasi pompa/tipe tekan dipasang *thermostat*. Pada saat *engine* masih dingin, *thermostat* masih menutup sirkulasi air pendingin melalui saluran *bypass*. Sirkulasi air pendingin pada saat *thermostat* masih menutup akan melalui pompa, blok silinder, kepala silinder, saluran *bypass* dan ke pompa kembali. Selama *engine* dihidupkan dengan *temperature* kerja yang normal, *thermostat* terus membuka. Setelah *engine* dimatikan dan *temperature* sudah dingin (kurang dari 80<sup>0</sup>), *thermostat* menutup kembali.

Kondisi pendinginan menurut sistem ini lebih baik daripada sistem sirkulasi alam. Sehingga banyak digunakan pada kebanyakan mobil, truk dan *engine stationer* besar. *Temperature* kerja mencapai 70<sup>0</sup> – 100<sup>0</sup>C. selain itu sistem ini juga lebih rumit dikarenakan konstruksinya.



**Gambar 2.8** Sirkulasi dengan Tekanan atau Sirkulasi Pompa.

(<http://sistem-pendingin.blogspot.co.id/2012/09/sistem-pendingin-air>)

## 1) Komponen Komponen Sistem Pendingin Air Sirkulasi Pompa

Komponen komponen sistem pendingin air yang penting dan perlu dipelihara atau diservice adalah radiator, tutup radiator, *reservoir tank*, *belt*, *upper hose*, *lower hose*, kipas pendingin, *thermostat*, dan *water pump*.

### a. Radiator

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

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

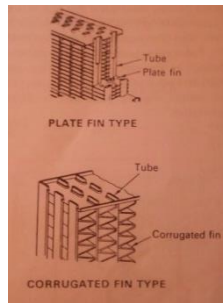
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Radiator adalah alat penukar panas yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu medium ke medium lainnya. Fungsi utama dari radiator ini adalah untuk memindahkan udara panas ke udara luar. Radiator terdiri dari dua buah tangki air yang terletak dibagian atas dan dibagian bawah atau bagian samping kiri dan samping kanan. Kedua tangki tersebut dihubungkan oleh inti radiator atau kisi kisi pendingin.



**Gambar 2.9** Radiator.

Tangki air yang terletak pada bagian atas radiator berfungsi untuk menampung air panas yang datang dari *engine block*. Tangki atas dilengkapi lubang tutup radiator dan lubang pemasukan air pendingin yang datang dari *engine block*. Tangki air yang terletak pada bagian bawah radiator berfungsi untuk menampung air yang sudah dingin untuk disalurkan kembali ke *engine* melalui *water jacket*. Tangki bawah dilengkapi dengan keran pembuangan air dan pipa untuk menghubungkan radiator dengan *engine block*. Radiator dibedakan menjadi 2 macam berdasarkan tipe inti radiator (*radiator core*), yang perbedaannya tergantung model pada sirip-sirip pendinginnya. Tipe *Plate (flat fin type)* dan tipe lekukan (*currogated fin type*). Tipe yang digunakan adalah tipe lekukan (*currogated fin type*).

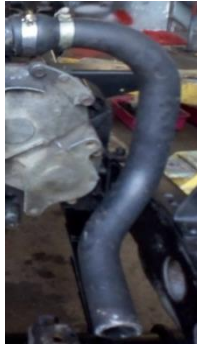


**Gambar 2.10** Tipe Radiator  
(Sumber : New Step 1 Toyota (2002) : 3-32)

Radiator terletak dibagian depan mobil. Meletakkan radiator dibagian depan mobil dimaksudkan agar waktu berjalan bagian ini dapat udara yang cukup dan udara bisa mengalir lancar untuk mendinginkan air yang didalamnya. Air yang sudah dingin akan dialirkan kembali ke *engine* yang temperaturnya tinggi.

#### **b. Lower Hose**

*Hose* berfungsi sabagai saluran untuk menyalurkan air dari radiator ke *engine* maupun sebaliknya. *Hose* dirancang fleksibel namun harus kuat menahan suhu air yang mendidih, oleh sebab itu *hose* terbuat dari karet khusus yang didesain untuk bertahan pada suhu tinggi. *Lower hose* berfungsi untuk menyalurkan air yang sudah didinginkan oleh radiator untuk kembali ke *engine* melalui *water pump*. *Lower hose* berada dibagian bawah radiator.



**Gambar 2.11** *Lower Hose*

**c. Pompa Air (Water Pump)**

Pompa air letaknya dibagian depan *engine*, untuk menggerakkanpompa air digunakan putaran poros engkol dengan perantara tali kipas. Dengan pompa ini air bisa disirkulasikan dari radiator ke *engine* dan sebaliknya. Pompa air berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin, yaitu menghisap dari radiator dan menekannya ke dalam mantel air yang ada pada *engine block*. Pompa air yang biasa digunakan pada sistem pendingin *engine* yaitu pompa *sentrifugal*. Pompa air terdiri dari poros, *impeller*, *water seal*. Jenis pompa yang digunakan yaitu jenis pompa konvensional karena digerakkan oleh *pulley* dan *belt*.



**Gambar 2.12** Pompa air (*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

#### d. Mantel Pendingin (*Water Jacket*)

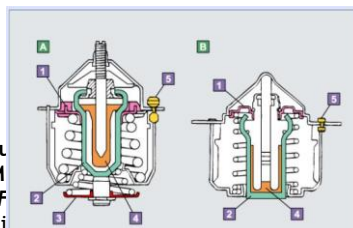
Mantel pendingin mengelilingi silinder dan ruang bakar. Mantel pendingin berfungsi untuk mendinginkan silinder dan ruang bakar secara efektif, karena bagian ini merupakan bagian yang banyak menerima panas. Mantel pendingin pada blok silinder dan kepala silinder dibuat sedemikian rupa, sehingga satu dengan yang lainnya saling berhubungan. Air di dalam mantel pendingin akan menyerap panas dari *engine* pada saat *engine* panas. Air yang panas tersebut kemudian akan disalurkan ke radiator untuk didinginkan melewati *upper hose*. Setelah didinginkan oleh radiator, air akan kembali ke mantel pendingin untuk mendinginkan *engine*.

#### e. *Thermostat*

*Thermostat* adalah bagian dari sistem pendingin *engine* pada mobil. Biasanya terletak berdekatan dengan pompa air dan radiator dipasang pada bagian depan saluran pendingin yang menuju radiator. Untuk menjaga kinerja *engine* agar tetap baik, maka *temperature engine* pun harus tetap pada suhu yang ideal. Air yang bersirkulasi didalam *engine* harus didinginkan agar *temperature* tidak terlalu tinggi, dan pada saat *temperature* rendah air tidak perlu didinginkan lagi karena *temperature* yang selalu rendah dapat mengganggu kinerja pada *engine*.

*Thermostat* dapat berfungsi sebagai katup yang mengatur sirkulasi air menuju radiator, dan menjaga agar *temperature* tetap pada suhu yang ideal. Pada saat *temperature* air belum mencapai 80 – 90°C, *thermostat* belum membuka untuk mengalirkan air ke radiator. *Thermostat* bekerja berdasarkan *temperature* air pendingin. Pada saat *temperature* tinggi tekanan pun menjadi besar, sehingga dapat menekan pegas *thermostat* dan mengakibatkan *thermostat* terbuka, air pun akan mengalir menuju radiator untuk didinginkan.

*Thermostat* dapat juga berfungsi sebagai *valve* yang mengatur *temperature* air. Maka apabila *thermostat* rusak, pendinginan terhadap air akan menjadi terganggu dan dapat pula menyebabkan terjadinya *over heat*.



Thermostat dengan katub by pass  
Komponennya  
1. Valve  
2. Cylinder  
3. Bypass Valve  
4. Wax  
5. Joggle Valve

Thermostat tanpa katub by pass  
Komponennya  
1. Valve  
2. Cylinder  
4. Wax  
5. Joggle Valve

### Gambar 2.13 *Thermostat*

(<https://tryotomotif.wordpress.com/2011/07/16/sistem-pendingin>)

#### f. *Bypass valve*

*Bypass valve* adalah katup *bypass* yang terdapat pada *thermostat* yang berfungsi sebagai katup untuk mengembalikan air kembali ke *water pump* melalui saluran *bypass* untuk bersirkulasi kembali. *Bypass valve* ini akan membuka atau menutup berdasarkan temperatur air pada *thermostat*. Pada saat temperatur dingin katup *thermostat* akan tertutup dan *bypass valve* akan terbuka sehingga air akan kembali bersirkulasi melalui saluran *bypass* menuju *water pump*. Kemudian pada saat temperatur panas (80 – 90 derajat Celcius) maka katup *thermostat* akan terbuka dan *bypass valve* akan tertutup sehingga air akan melewati *upper hose* menuju radiator untuk didinginkan sebelum kembali ke *water pump* melalui *lower hose*.

#### g. *Saluran Bypass*

Saluran *bypass* berfungsi untuk menghubungkan antara *thermostat* ke *water pump* dan menyediakan sirkulasi ke *water pump* ketika *thermostat* tertutup sehingga air yang akan menuju *upper hose* melalui *thermostat* akan kembali ke *water pump* untuk kembali bersirkulasi.

#### h. *Upper Hose*

*Hose* berfungsi sebagai saluran untuk menyalurkan air dari radiator ke *engine* maupun sebaliknya. *Hose* dirancang fleksibel namun harus kuat menahan suhu air yang mendidih, oleh sebab itu *hose* terbuat dari karet khusus yang didesain untuk bertahan pada suhu tinggi. *Upper hose* berfungsi untuk menyalurkan air yang panas dari *engine* ke radiator untuk didinginkan oleh radiator melalui *thermostat*. *Upper hose* berada dibagian atas radiator.



**Gambar 2.14** *Upper Hose*

**i. Reservoir Tank**

*Reservoir tank* berfungsi untuk menampung kelebihan air pendingin atau uap air pada saat *engine* sedang beroperasi. Apabila air didalam radiator berkurang, air dari *reservoir tank* akan mengalir ke radiator, hal ini untuk mencegah terbuangnya air pendingin dan menambah air pendingin saat diperlukan. *Reservoir tank* dihubungkan ke radiator oleh selang.



**Gambar 2.15** *Reservoir Tank*

**j. Tutup Radiator ( Radiator Cap)**

Tutup radiator berfungsi untuk menutup radiator sehingga tidak ada hubungan antara radiator bagian dalam dengan tekanan udara luar. Seperti kita ketahui bahwa air mendidih pada temperature  $100^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan 1 atmosfer. Apabila tekanannya lebih dari 1 atmosfer, maka titik didihnya juga lebih dari  $100^{\circ}\text{C}$ . dengan demikian air didalam radiator tidak akan mendidih, karena tekanannya lebih dari 1 atmosfer dan





temperaturnya hanya sampai 80 – 90 °C.

### **Gambar 2.16** Tutup Radiator

Tutup radiator mempunyai dua katup, yaitu katup tekan (*relief valve*) dan katup vakum (*vacuum valve*). Jika terjadi tekanan berlebih akibat dari tingginya *temperature* air, maka katup tekan (*relief valve*) akan membuka dan melepaskan uap air ke *reservoir tank*. Pada saat *engine* dihidupkan, *temperature* air yang rendah akan naik, meskipun temperaturnya tidak mencapai titik didih, air didalam radiator akan menguap.

Tekanan dalam radiator akan naik dan apabila tekanannya mencapai tekanan udara luar (1 atmosfer) di tambah 0,9 kg/cm<sup>2</sup>, katup tekan (*relief valve*) akan terbuka. Uap air dari radiator akan masuk ke *reservoir*, karena berkondensasi dengan dinding selang yang dingin maka uap air yang sampai ke *reservoir* sudah menjadi air kembali. Selama tekanannya melebihi spesifikasi dan mengalahkan pegas maka katup tekan (*relief valve*) akan terbuka terus dan uap air dalam radiator mengalir ke *reservoir*.

Pada saat *engine* dingin, air didalam *engine block* menjadi dingin, apabila distarter, *thermostat* masih tertutup, pompa air bekerja, maka radiator akan menjadi vakum sehingga katup vakum membuka. Air dari *reservoir* mengalir ke dalam radiator.

#### **k. Kipas dan Tali Kipas (*Fan and Fan Belt*)**

Kipas berfungsi untuk menyempurnakan sistem pendingin pada radiator dengan jalan mempercepat aliran udara pada inti radiator ketika *engine* hidup sehingga memaksa suhu panas ke luar ke udara bebas. Aliran udara dari kipas ada yang menekan dan ada yang menghisap, sedangkan untuk *engine stasioner* bisa dipakai jenis kipas menghisap dan bisa juga jenis kipas yang menekan. Berdasarkan penggerakannya, kipas pendingin dibagi menjadi dua jenis, yakni kipas pendingin yang digerakkan oleh *belt* dan kipas pendingin yang digerakkan oleh motor listrik. Jenis kipas pendingin yang digunakan adalah kipas pendingin yang digerakkan oleh *belt*.



### Gambar 2.17 *Fan and Fan Belt*

#### 1. Media Air Pendingin

Media air pendingin dapat menggunakan air biasa atau bisa juga dengan menggunakan cairan pendingin (*coolant*). Keuntungan menggunakan *coolant* dibanding dengan menggunakan air biasa yaitu pada *coolant* terdapat zat-zat additive sehingga *coolant* memiliki sifat-sifat:

- Cairan pendingin mengkondisikan air dengan mengurangi resiko air menjadi asam. Air murni bereaksi dengan logam blok *engine* dan kepala silinder, dan air menjadi asam. Apabila hal ini terjadi, timbul karat dan elektrolisa. Korosi dan karat pada sistem memberikan efek yang besar pada sistem pendingin dapat mengurangi efisiensi pendingin karena pemindahan panas terhambat dapat juga mengurangi umur dari *engine*.
- Cairan pendingin juga menghambat elektrolisa. Elektrolisa adalah reaksi kimia dari air yang bergerak dan bersinggungan dengan logam, yang menghasilkan sebuah arus listrik kecil dalam arus pendingin. Listrik ini membantu terjadinya korosi dan melunakan logam-logam yang digunakan dalam konstruksi dari sebuah *engine*. Kebanyakan *engine* sekarang memiliki kepala aluminium. Elektrolisa dicegah pada aluminium untuk meyakinkan komponen-komponen *engine* dapat digunakan pada waktu yang lama.
- Cairan pendingin juga memiliki titik didih lebih tinggi dari air, sehingga resiko kerusakan *engine* akibat panas berlebihan (*over heating*) akan dikurangi. Cairan pendingin juga memiliki titik beku rendah dari air. Dengan rendahnya titik beku kemungkinan kerusakan *engine* terhambat.

#### C. Metode Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor digunakan untuk meramalkan perpindahan *energy* dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Didalam proses perpindahan *energy* tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai

Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

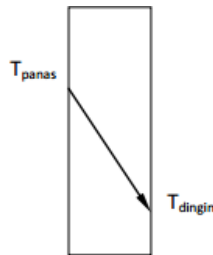
**ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN  
KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40**

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

suatu proses berpindahnya suatu *energy* (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan *temperature* pada daerah tersebut. Ada 3 bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 1. Perpindahan Kalor secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium – medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energy dan momentum.



**Gambar 2.18** Perpindahan Panas Konduksi pada dinding  
(J.P Holman, hal.33)

### 2. Perpindahan Kalor secara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran atau pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin, contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil pendinginan dan lainnya. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklarifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*force convection*). Bila gerakan fluida disebabkan

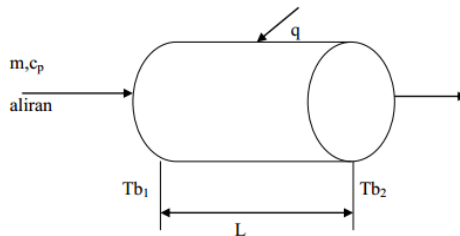
Rusdi Shaleh Fauzi, 2013

**ANALISIS SISTEM PENDINGIN ENGINE TIPE 14B PADA RANCANG BANGUN**

**KENDARAAN OFFROAD TIPE TOYOTA FJ40**

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

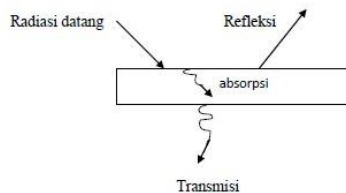
adanya perbedaan dan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free/natural convection*). Bila digereakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa/eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir diatas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).



**Gambar 2.19** Perpindahan Panas Konveksi  
(J.P Holman, hal.252)

### 3. Perpindahan Kalor secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah bila benda benda itu terpisah didalam ruang bahkan jika terdapat ruang hampa diantara benda benda tersebut.



**Gambar 2.20** Perpindahan Panas Radiasi  
(J.P Holman, hal.343)

## D. Teori Dasar Perhitungan Thermodinamika

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

## 1. Perhitungan Perpindahan Kalor pada Setiap Langkah Torak

Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendinginan motor Diesel *engine* Toyota tipe 14B dapat dianalisis, untuk itu diperlukan parameter parameter termodinamika dasar yang sesuai dengan siklus objek yang diteliti. Pada penganalisa ini, siklus yang digunakan untuk menganalisis tentu saja siklus motor empat langkah.

Analisa perhitungan termodinamika dari setiap siklusnya, dijelaskan berikut ini:

### I. Langkah Hisap

Pada langkah ini terjadi proses dihisap nya udara ke dalam silinder besar volumenya udara pada akhir langkah hisap, dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\circ V_1 = V_L + V_2 \quad (\text{Wiranto Arismunandar, 1994:28})$$

Keterangan :

$V_1$  = Volume udara pada akhir langkah hisap ( $\text{cm}^3$ )

$V_2$  = Volume Sisa ( $\text{cm}^3$ )

$V_L$  = Volume Langkah ( $\text{cm}^3$ )

$$\circ V_L = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times Z$$

Keterangan :

$D$  = Diameter Silinder (cm)

$S$  = Panjang Langkah Torak

$Z$  = Jumlah Silinder

$$\circ V_2 = \frac{VL}{r-1}$$

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

r = Perbandingan Kompresi

Kendaraan sebenarnya, besarnya tekanan udara pada akhir langkah hisap yaitu :

$$\circ P_1 = (0,8 - 0,9) \times P_0 \quad (\text{Kovakh, 1976:92})$$

Keterangan

$P_1$  = Tekanan udara pada akhir langkah hisap ( $\text{kg/cm}^2$ )

$P_0$  = Tekanan udara luar ( $\text{kg/cm}^2$ )

= 1 atm = 10330  $\text{kg/m}^2$  (Wiranto Arismunandar, 1994:106)

Selama proses penghisapan, udara yang masuk ke dalam menyerap kalor dari katup hisap, dinding silinder dan beberapa bagian *engine* lain yang panas sehingga terjadi temperatur. Karena itu temperatur udara menjadi lebih tinggi dari temperatur yang dihisap, digunakan rumus :

$$\circ T_1 = \frac{T_0 + \Delta t_w + T_r \times y_r}{1 + y_r} \quad (\text{Petrovsky, 1968:29})$$

Keterangan :

$T_1$  = Temperatur akhir udara yang dihisap (K)

$T_0$  = Temperatur atmosfer udara luar (K)

= 25<sup>0</sup>C = 298 K (Wiranto Arismunandar, 1994:106)

$\Delta t_w$  = Pengaruh suhu akibat persentuhan = (15 – 20 K), yang diambil 15 K (Kovakh, 1976:95)

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

- $T_r$  = Temperatur gas buang  
 = (700 – 800 K), yang diambil 750 K  
 (Pertovsky, 1968:32)
- $\gamma$  = koefisien gas bekas  
 = (0,03 – 0,04), yang diambil 0,03  
 (Pertovsky, 1968:29)

## II. Langkah Kompresi

Pada langkah ini, yang dihisap kemudian dikompresikan atau di mampatkan, sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Nilai tekanan dan temperaturnya, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

- $P \cdot V = \text{Konstan}$
- $P_1 \times V_1^k = P_2 \times V_2^k$   
 (Aine K. R, 2013: 83)
- $P_2 = P_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$

Keterangan :

- $P_2$  = Tekanan pada akhir langkah kompresi (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $P_1$  = Tekanan pada akhir langkah hisap (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $K$  = Nilai perbandingan kalor spesifik  
 = 1,3079  
 $V_1$  = Volume udara pada posisi torak di TMB (cm<sup>3</sup>)  
 $V_2$  = Volume sisa (cm<sup>3</sup>)

Untuk mencari besar temperatur udara pada akhir langkah kompresi ( $T_2$ ), digunakan sebagai berikut ini :

- $T_1 \times V_1^{k-1} = T_2 \times V_2^{k-1}$
- $T_2 = T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$  (Aine K. R, 2013: 83)

Keterangan :

- $T_2$  = Temperatur udara pada akhir langkah kompresi (K)  
 $T_1$  = Temperatur udara pada akhir langkah hisap (K)  
 $k$  = Nilai perbandingan kalor spesifik (1,3079)  
 $V_1$  = Volume pada akhir langkah hisap (cm<sup>3</sup>)  
 $V_2$  = Volume udara pada akhir langkah kompresi (cm<sup>3</sup>)

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

### III. Proses Pembakaran

Pada proses ini terjadi pembakaran dalam keadaan tekanan konstan. Tekanan ini besarnya adalah :

$$\circ P_3 = P_2$$

Keterangan :

$P_3$  = Tekanan gas campuran pada akhir proses pembakaran (kg/cm<sup>3</sup>)

$P_2$  = Tekanan udara pada akhir langkah kompresi (kg/cm<sup>3</sup>)

Sebelum menghitung temperatur gas (udara dan bahan bakar) pada proses pembakaran ( $T_3$ ), maka perlu menghitung parameter termodinamika berikut ini :

$$\circ Gbb = \frac{ne \times 632}{nth \times Hb}$$

(Sunarto H. U: 29)

Keterangan :

Gbb = Berat bahan bakar tiap jam (kg/jam)

$n_e$  = Daya Efektif (PS)  
(Kovakh, 1976: 27)

$n_{th}$  = Efisiensi termal (0,35 – 0,40) diambil 0,39 (Kovakh, 1976: 27)

(pengambilan ini berdasarkan pustaka Wiranto Arismunandar, 1994 : 27 disesuaikan dengan nilai bahan bakar dan efisiensi mekanik)

Hb = Nilai bahan bakar  
= 10100 Kkal/kg  
(Petrovsky, 1968:43)

Menghitung nilai pemakaian bahan bakar tiap menit ( $Gbb'$ ), yaitu :

$$\circ Gbb' = \frac{Gbb}{60}$$

Keterangan

$Gbb'$  = Nilai pemakaian bahan bakar tiap menit (kg/menit)

Gbb = Nilai pemakaian bahan bakar tiap jam (kg/jam)

$$\circ Gbb'' = \frac{Gbb'}{n}$$

Keterangan :

$Gbb''$  = Nilai pemakaian bahan bakar tiap putaran (kg/put)

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



$G_{bb}'$  = Nilai pemakaian bahan bakar tiap menit ( kg/menit)  
 $n$  = Jumlah putaran engine tiap menit (rpm)

Menghitung nilai pemakaian bahan bakar tiap siklus ( $G_{bb}'''$ ), adalah

$$\circ \quad G_{bb}''' = 2 \times G_{bb}''$$

(Sunarto H. U : 29)

Keterangan:

$G_{bb}'''$  = Nilai pemakaian bahan bakar tiap siklus (kg/siklus)

$G_{bb}''$  = Nilai pemakaian bahan bakar tiap putaran (kg/putaran)

Menghitung besarnya pemasukan panas dari hasil pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder ( $Q_m$ ), adalah :

$$\circ \quad Q_m = G_{bb}''' \times H_b$$

(Sunarto H. U : 29)

Keterangan :

$Q_m$  = Jumlah Panas masuk tiap siklus (Kkal/siklus)

$G_{bb}'''$  = Nilai pemakaian bahan bakar tiap siklus (kg/siklus)

$H_b$  = Nilai bahan bakar 10100 Kkal/kg

(Petrovsky, 1968 : 43)

Menghitung kandungan Carbon (C) dan Hidrogen (H) pada bahan bakar adalah :

$$\circ \quad C = \frac{12 \times 16}{(12 \times 16) + (36 \times 1,008)}$$

$$= 0,841 \text{ mole}$$

$$\circ \quad H = \frac{36 \times 1,008}{(12 \times 16) + (36 \times 1,008)}$$

$$= 0,159 \text{ mole}$$

(Sunarto H. U : 29)

Menghitung jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara teoritis ( $L_0$ ) yaitu :

$$\circ \quad L_0 = \frac{1}{0,21} \times \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right) \quad (\text{Ainie K. R, 2013 : 253})$$

Keterangan :

$L_0$  = berat udara untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sebenarnya ( mole/kgbb)

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

$$\circ L_0 = \alpha \cdot L_0 \quad (\text{Sunarto H. U : 29})$$

Keterangan :

$L_0$  = Berat udara untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sebenarnya (mole/kgbb)

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{koefisien kelebihan udara} \\ &= (1,3 - 1,7), \text{ diambil } 1,3 \\ &(\text{Petrovsky, 1968 : 38}) \end{aligned}$$

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

$$\circ L_0'' = L_0' \times G_{bb}''' \quad (\text{Sunarto H. U : 29})$$

Keterangan :

$L_0''$  = Berat udara yang diperlukan untuk membakar bahan bakar tiap siklus (mole/siklus)

$L_0'$  = Berat udara untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sebenarnya (mole/kgbb)

$G_{bb}'''$  = Berat bahan bakar tiap siklus (mole/siklus)

Menghitung berat udara tiap siklus ( $G_u$ ), yaitu :

$$\circ G_u = 28,95 \times L_0'' \quad (\text{Petrovsky, 1968 : 38})$$

Keterangan :

$G_u$  = Berat udara tiap siklus (mole/siklus)

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

$$\circ C_{pm} = \frac{G_u}{G} \times C_{pa} + \frac{G_{bb}''''}{G} \times C_{pb}$$

Keterangan :

$C_{pa}$  = Panas jenis tekanan constan untuk udara

**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

$= 0,2402 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{K}$  (Obert Edward F, 1968: 72)

$C_{pb}$  = Panas jenis tekanan konstan untuk bahan bakar

$= 1,2050 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{K}$  (V. L. Maleev, 1945: 27)

Sehingga, nilai campuran akhir pembakaran ( $T_3$ ), dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$\circ T_3 = \frac{Q_m}{G \times c_{pm}} + T_2 \quad (\text{Wiranto}$$

Arismunandar, 1994 : 8)

Keterangan :

$T_3$  = Temperatur Akhir Pembakaran (K)

$Q_m$  = Kalor masuk ( kkal/siklus)

$G$  = Berat campuran udara bahan bakar (kg/siklus)

$C_{pm}$  = Panas jenis tekanan konstan gas campuran (kkal/kg K)

Setelah mendapatkan nilai temperatur akhir proses pembakaran ( $T_3$ ), kita dapat memperoleh nilai volume gas pada akhir proses pembakaran, dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\circ \frac{p}{T} = \text{Konstan}$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

$$\circ V_3 = V_2 \times \frac{T_3}{T_2}$$

Keterangan :

$V_3$  = Volume gas pada akhir proses pembakaran ( $\text{cm}^3$ )

$V_2$  = Volume udara pada akhir langkah kompresi ( $\text{cm}^3$ )

$T_3$  = Temperatur udara pada akhir proses pembakaran (K)

$T_2$  = Temperatur udara pada akhir langkah kompresi (K)

#### IV. Langkah Kerja

Meningkatnya tekanan dari temperatur yang tinggi pada proses pembakaran mengakibatkan tertekannya torak sehingga bergerak dari

TMA ke TMB. Besarnya tekanan dan temperatur pada akhir langkah kerja dihitung dengan menggunakan persamaan ini :

$$\begin{aligned} \circ P \cdot V^k &= \text{Konstan} \\ \circ P_3 \times V_3^k &= P_4 \times V_4^k \\ P_4 &= P_3 \times \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k \end{aligned}$$

$$P_3 = P_2 \qquad V_4 = V_1$$

$$P_4 = P_2 \times \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^k$$

Keterangan :

- $P_4$  = Tekanan pada akhir langkah kerja (kg/cm<sup>2</sup>)
- $P_3$  = Tekanan pada akhir proses pembakaran (kg/cm<sup>2</sup>)
- $P_2$  = Tekanan akhir langkah kompresi
- $V_3$  = Volume gas pada akhir langkah pembakaran (cm<sup>3</sup>)
- $V_4$  = Volume gas pada akhir langkah kerja (cm<sup>3</sup>)
- $V_1$  = Volume udara pada proses torak di TMB
- $k$  = Nilai perbandingan kalor spesifik (1,3079)

Sedangkan untuk menghitung temperatur akhir langkah kerja ( $T_4$ ), dapat menggunakan persamaan berikut :

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

$$\circ T_4 = T_3 \times \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} \qquad (\text{Wiranto \quad Arismunandar, 1994: 20})$$

Keterangan :

- $T_4$  = Temperatur akhir langkah kerja (K)
- $T_3$  = Temperatur akhir proses pembakaran (K)
- $V_3$  = Volume gas pada akhir proses pembakaran (cm<sup>3</sup>)
- $V_4$  = Volume gas pada akhir langkah kerja (cm<sup>3</sup>)
- $V_1$  = Volume udara pada posisi torak di TMB =  $V_4$
- $k$  = Nilai perbandingan kalor spesifik (1,3079)

## V. Proses Pengeluaran Kalor

Torak mencapai TMB, temperatur akan turun dari  $T_4$  menjadi  $T_1$  dan proses ini akan berlangsung pada volume konstan ( $V_4 = V_1$ ). Untuk menghitung panas atau kalor yang dikeluarkan, maka menggunakan rumus berikut :

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

$$Q_k = G \times C_{vm} \times (T_4 - T_1) \quad (\text{Wiranto Arismunandar, 1994 : 20})$$

Keterangan :

$Q_k$  = Panas yang keluar (kkal/siklus)

$G$  = Berat campuran udara dan bahan bakar (kg/siklus)

$C_{vm}$  = Panas jenis volume konstan gas campuran (kkal/kg K)

$$= \frac{Gu}{G} \times C_{va} + \frac{Gbb}{G} \times C_{vb} \quad (\text{Obert Edward F, 1968 : 721})$$

1968 : 721)

$T_1$  = Temperatur akhir udara yang dihisap (K)

$T_4$  = Temperatur akhir langkah kerja (K)

## 2. Teori Dasar Perhitungan Perpindahan Panas

### I. Perpindahan panas pada blok silinder

Perpindahan panas pada blok silinder (bagian dalam dan bagian luar), maka terlebih dahulu diperlukan data parameter termodinamika berikut :

$$Q_s = n_e \times 632,4 \quad (\text{Wiranto Arismunandar, 1994 : 152})$$

Keterangan :

$Q_s$  = Jumlah panas atau kalor dalam silinder seluruhnya (kkal)

$n_e$  = Daya efektif *engine* (PS)

Menghitung jumlah *energy* panas yang terjadi pada setiap silinder ( $Q'$ ), dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$Q' = \frac{Q_s}{z}$$

Keterangan :

$Q'$  = Jumlah panas atau kalor pada setiap silinder (kkal)

$Q_s$  = Jumlah kalor didalam silinder seluruh (kkal)

$z$  = Banyaknya jumlah silinder

Setelah diketahui jumlah panas yang terjadi pada setiap silinder, maka besar perpindahan panas yang melalui dinding blok silinder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{ds} = \frac{Q_s}{Q'} \quad (\text{Holman J.P, 1986 : 295})$$

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

Keterangan :

$Q_{ds}$  = Jumlah panas yang diberikan dinding silinder (kkal)

$Q_s$  = Jumlah panas atau kalor didalam silinder seluruhnya

$Q'$  = Jumlah panas setiap silinder

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

Menghitung besar temperature rata rata gas pada proses pembakaran ( $t_1$ ), dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$t_1 = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

Keterangan :

$t_1$  = Temperatur rata rata ( $^{\circ}F$ )

$T_2$  = Temperatur akhir kompresi ( $^{\circ}F$ )

$T_3$  = Temperatur akhir pembakaran ( $^{\circ}F$ )

Menghitung luas dinding silinder (L), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L = (0,045 \times D) + 1,588 \quad (\text{V.L. Meleev, 1945: 375})$$

Keterangan :

D = dinding silinder (ft)

Menghitung tebal dinding luar blok silinder (x), dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$X = L \quad (\text{ft}) \quad (\text{V.L. Meleev, 1945: 375})$$

Menghitung diameter dinding luar blok silinder ( $D_0$ ), dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$D_0 = D + (2L) \quad (\text{ft})$$

Menghitung luas bidang perpindahan panas pada dinding dalam blok silinder ( $A_1$ ), dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$A_1 = (\pi \times D \times S \times 0,5) + (\pi \times D \times \frac{S}{r-1}) + (\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 2) \quad (\text{V.L. Meleev, 1945: 377})$$

**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

Keterangan :

- $A_1$  = Luas bidang perpindahan bagian dalam ( $ft_2$ )  
 $D$  = Diameter Silinder (ft)  
 $S$  = Langkah torak (ft)  
 $r$  = Perbandingan kompresi

Menghitung luas bidang perpindahan panas pada dinding luar blok silinder ( $A_0$ ), dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\circ A_0 = (\pi \times D_0 \times S \times 0,5) + (\pi \times D_0 \times \frac{S}{r-1}) + (\frac{1}{4} \times \pi \times D_0^2 \times 2) \quad (\text{V.L. Meleev, 1945: 377})$$

Keterangan :

- $A_0$  = Luas bidang perpindahan panas dalam ( $ft^2$ )  
 $S$  = Langkah torak (ft)  
 $r$  = Perbandingan kompresi  
 $D_0$  =  $D + 2L$   
 $D$  = Diameter silinder (ft)  
 $L$  = Tebal dinding silinder (ft)

Menghitung luas dinding perpindahan panas rata rata ( $A$ ), menggunakan persamaan berikut :

$$\circ A = \frac{A_1 + A_0}{2} \quad (\text{V.L. Meleev, 1945: 377})$$

Keterangan :

- $A$  = Luas bidang perpindahan panas rata rata ( $ft^2$ )  
 $A_1$  = Luas bidang perpindahan panas dalam ( $ft^2$ )  
 $A_0$  = Luas bidang perpindahan bagian luar ( $ft^2$ )

Menghitung koefisien perpindahan panas total ( $U$ ), menggunakan persamaan berikut ini :

$$\circ U = \frac{1}{\left(\frac{A}{A_1}\right) + \left(\frac{L}{K}\right) + \left(\frac{A}{A_0 - h_2}\right)} \quad (\text{V.L. Meleev, 1945: 377})$$

Keterangan :

- $U$  = Koefisien perpindahan panas total ( $BTU/ft^0f. hr$ )  
 $A$  = Luas bidang perpindahan panas rata rata ( $ft^2$ )  
 $A^1$  = Luas bidang perpindahan bagian dalam ( $ft^2$ )  
 $h_1$  = koefisien permukaan bagian dalam

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

- $= 62 \text{ BTU/ft}^0\text{f. hr}$  (V.L. Meleev, 1945: 376)
- L = Tebal dinding silinder (ft)
- K = Konduktifitas panas besi tuang  
 $= 130 \text{ BTU/ft}^2 \text{ } ^0\text{F. hr}$  (V.L. Meleev, 1945: 377)
- $h_2$  = Koefisien permukaan bagian luar  
 $= 130 \text{ BTU/ft}^2 \text{ } ^0\text{F. hr}$  (V.L. Meleev, 1945: 377)

Setelah  $Q_{ds}$ ,  $U$ ,  $A$ ,  $t_1$ , maka temperatur dinding dalam blok silinder ( $t_{2ds}$ ), dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\circ T_{2ds} = t_1 - \frac{Q_{ds}}{U \cdot A} \quad (\text{L.C. Litchy, 1951: 425})$$

Keterangan :

- $Q_{ds}$  = Jumlah panas yang diberikan pada dinding silinder (BTU)
- $U$  = Koefisien Perpindahan panas total ( $\text{BTU/ft}^2 \text{ } ^0\text{F. hr}$ )
- $A$  = Luas Bidang perpindahan panas total ( $\text{ft}^2$ )
- $t_1$  = temperatur rata rata ( $^0\text{F}$ )
- $t_{2ds}$  = temperatur dinding silinder bagian dalam ( $^0\text{F}$ )

Besarnya temperatur dinding luar blok silinder ( $t_{3ds}$ ), dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\circ t_{3ds} = \frac{\left(\frac{h}{x} A_0 \times t_{2ds}\right)}{\frac{h_2}{x} \times A_0} \quad (\text{L.C. Litchy, 1951: 426})$$

Litchy, 1951: 426)

Keterangan :

- $t_{ds}$  = Temperatur dinding silinder bagian luar (F)
- $h$  = Konduktivitas bahan silinder  
 $= 27 \text{ BTU/ft}^0\text{F .hr}$  (L.C. Litchy, 1951: 426)
- $A_0$  = Luas bidang perpindahan panas rata rata (ft)
- $t_{2ds}$  = Temperatur dinding silinder bagian dalam ( $^0\text{F}$ )
- $Q_{ds}$  = Jumlah panas yang diberikan pada dinding silinder (BTU)

## II. Perpindahan panas pada kepala silinder

Besar perpindahan panas pada kepala silinder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 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



$$\circ \quad Q_{ks} = 13\% \times Q' \quad (\text{V. L. Maleev, 1945: 375})$$

Keterangan :

$Q_{ks}$  = Jumlah panas yang diberikan pada kepala silinder (BTU)

$Q'$  = jumlah panas setiap silinder (BTU)

Temperatur dinding dalam kepala silinder ( $t_{2ks}$ ), dapat dihitung dengan persamaan :

$$\circ \quad t_{2ks} = t_1 - \frac{Q_{ks}}{U \cdot A} \quad (\text{V. L. Maleev, 1945: 375})$$

Keterangan :

$t_{2ks}$  = Temperatur dinding bagian dalam kepala silinder ( $^{\circ}\text{F}$ )

$t_1$  = Temperatur rata rata ( $^{\circ}\text{F}$ )

$Q_{ks}$  = Jumlah panas yang diberikan kepada kepala silinder bagian dalam (BTU)

$U$  = Koefisien perpindahan panas total (BTU/ft<sup>2</sup>  $^{\circ}\text{F}$ . hr)

$A$  = Luas bidang perpindahan panas rata rata (ft<sup>2</sup>)

Temperatur dinding luar kepala silinder ( $t_{3ks}$ ), dapat dihitung dengan persamaan :

$$\circ \quad t_{3ks} = \frac{\left(\frac{h}{x} \times A_0 \times t_{2ks} - Q_{ks}\right)}{\frac{h_1}{x} \times A_0} \quad (\text{V.L. Maleev, 1945: 375})$$

Keterangan :

$t_{2ks}$  = Temperatur dinding bagian dalam kepala silinder ( $^{\circ}\text{F}$ )

$h$  = Konduktivitas bahan silinder

= 27 BTU/ft<sup>2</sup>  $^{\circ}\text{F}$ . hr (besi tuang) (L.C. Litchy,

1951: 426)

$x$  = Tebal dinding silinder (ft)

= L

$A_0$  = Luas bidang perpindahan panas rata rata (ft<sup>2</sup>)

$Q_{2ks}$  = Jumlah panas yang diberikan kepala silinder bagian luar (BTU)

Besarnya temperature rata rata ( $t_4$ ), adalah:

$$\circ \quad t_r = \frac{t_{3ds} + t_{3ks}}{2} \quad (\text{V.L. Maleev, 1945: 375})$$

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

Keterangan :

$t_r$  = Temperatur rata rata ( $^{\circ}\text{F}$ )

$t_{3ks}$  = Temperatur dinding kepala silinder bagian luar ( $^{\circ}\text{F}$ )

$t_{3ds}$  = Temperatur dinding silinder bagian luar ( $^{\circ}\text{F}$ )

### III. Perhitungan jumlah kalor yang diserap oleh air pendingin

Untuk mengetahui jumlah kalor yang diserap oleh air pendingin pada setiap silinder, dihitung melalui persamaan berikut :

$$Q_a = h_m \times A \times (t_r - t_5) \times \gamma$$

(V.L.Maleev, 1945: 238)

Keterangan :

$Q_a$  = Jumlah kalor yang diserap oleh air pendingin (BTU/jam)

$h_m$  = Koefisien perpindahan pada motor putaran tinggi  
= 180 – 300 BTU/ft<sup>2</sup>( $^{\circ}\text{F}$ ). hr, yang diambil 180 BTU/ft<sup>2</sup> ( $^{\circ}\text{F}$ ). hr  
(V.

L.Maleev, 1945:238)

$A$  = Luas bidang perpindahan panas rata rata (ft<sup>2</sup>)

$t_r$  = Temperatur rata rata dinding luar silinder blok dengan  
dinding luar kepala silinder ( $^{\circ}\text{F}$ )

$t_5$  = Temperatur air masuk  
= 120 – 130  $^{\circ}\text{F}$  (yang diambil 125  $^{\circ}\text{F}$ ) (V.L.Maleev,  
1945: 238)

$\gamma$  = Presentasi jumlah panas yang diserap air pendingin  
= 25% = 0,25 (Wiranto

Arismunandar, 1994: 235)