

109/HD/90

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
KOLEKSI BIDANG ILMU  
TIDAK DIPINJAMKAN  
KHUSUS DIPAKAI DALAM PERPUSTAKAAN

# PERHITUNGAN PANAS PADA SISTIM PENDINGIN

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG



Oleh  
Drs. Amrizal Arief

Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan  
Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan

**PADANG**

1989

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis bersyukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmatnya penulis dapat mewujudkan Buku Perhitungan Panas Pada Sistem Pendinginan, buku ini adalah merupakan contoh aplikasi Termodinamika pada sistem pendinginan kendaraan.

Oleh karenanya pada buku ini disajikan materi/isi proses pembentukan tenaga yang menimbulkan panas, tinjauan umum Sistem Pendinginan dan Metoda Perhitungan - Perpindahan Panas, mengingat pentingnya peranan Pelumasan dalam Sistem Pendinginan pada bab terakhir juga penulis sajikan permasalahan pelumasan dan perhitungannya.

Penulis menyadari bahwa materi dalam buku ini tentu saja tidak luput dari berbagai kekurangan, oleh karenanya saran dan kritik para pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan selanjutnya.

Akhirnya harapan dari penulis, mudah-mudahan buku ini bermamfaat bagi para pembaca.

Padang, Mei 1989.

Penulis.

Des'89

HD

K1

109/HD/90 - P2 (2)

621.433 Ari P2

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
BAB I. PROSES PEMBENTUKAN TENAGA.....	1
A. Pembentukan Tenaga Motor Bensin dan Diesel .....	1
B. Siklus Motor Torak Sebagai Proses Reversible .....	4
BAB II. TINJAUAN UMUM SISTEM PENDINGINAN .....	19
A. Maksud dan Tujuan Sistem Pendinginan .....	19
B. Cara Pendinginan Mesin .....	20
C. Bagian-bagian Utama pada Sistem Pendinginan Air .....	23
BAB III. METODA PERHITUNGAN PERPINDAHAN PANAS ..	30
A. Ketentuan Perhitungan Termodinamis..	30
B. Perhitungan Perpindahan Panas .....	34
C. Pembahasan Hasil-Hasil Perhitungan .	43
D. Pelumasan dan Perhitungan .....	44
DAFTAR BACAAN .....	51

## BAB I

### PROSES PEMBENTUKAN TENAGA

Pada hukum pertama thermodinamika diisyaratkan-bahwa Panas adalah satu bentuk tenaga, pada motor motor pembakaran didalam seperti proses motor bensin dan motor diesel pembakaran terjadi adalah akibat adanya temperatur dan tekanan yang tinggi pada ruang kepala silinder dari blok silinder mesin tersebut, lebih jauh mari diperhatikan proses pembentukan tenaga mekanik pada kedua motor tersebut.

#### A. Pembentuk Tenaga Motor Bensin dan Diesel.

Proses pembentukan tenaga pada motor bensin bermula dari langkah isap, kompressi, usaha dan buang, dapat dilihat diagram indikator berikut :

- Torak bergerak dari titik mati atas ke titik mati bawah, karena didalam silinder terjadi tekanan kurang, maka campuran udara dan bahan bakar, masuk melalui katup masuk, sementara katup buang tertutup .
- Langkah kompressi yang terjadi secara adiabatik, lihat garis 1 - 2 piston dari TMB ke TMA.
- Pada garis 2 - 3 adalah terjadinya langkah pembakaran dimana saat itu volume tetap, sehingga suhu dan tekanan menjadi naik dan ini terjadi beberapa derajat sebelum piston mencapai TMA.
- Garis 3 - 4 atau sering disebut sebagai langkah kerja, dimana akibat naiknya tekanan dan temperatur pada pembakaran menyebabkan pada langkah kerja ini piston kembali ke TMB, sementara suhu turun dari  $T_3$  menjadi  $T_4$  dimana gas tersebut di -

- buang dengan suhu  $T_4$
- Garis 4 - 1 adalah langkah pembuangan.



Gambar 1  
Diagram Indikator Otto

Dari siklus motor bensin diatas, jelas bahwa proses pembakaran terjadi saat volume konstant.

Kalau dilihat siklus diesel dengan diagram indikator berikut, perbandingannya yang prinsipil dengan diagram indikator siklus otto adalah bahwa langkah kompressinya terjadi pada tekanan tetap. Sedangkan yang dihisap pada motor diesel pada langkah hisap adalah udara.

Gambar 2  
Diagram Indikator Diesel

Dari kedua proses diatas jelas, bahwa pembakaran yang terjadi menimbulkan proses. Namun perlu disadari bahwa tidak kesemua proses tersebut dirobah menjadi tenaga, tetapi ada untuk keperluan lain, hilang dan sebagainya, hal ini adalah dimaksudkan untuk menjaga keseimbangan panas yang ada pada mesin.

Diantara panas yang tidak digunakan untuk kepentingan tenaga efektif adalah :

- Panas yang hilang karena air pendinginan, gunanya antara lain untuk menjaga kestabilan mesin, dimana mesin dituntut untuk memberikan panas terus menerus, kalau tidak didinginkan dengan pendinginan maka akan terjadi kemungkinan-kemungkinan yang tidak dikehendaki seperti retak, pecah dan sebagainya. Panas yang hilang akibat pendinginan ini biasanya antara 32 - 35 % pada motor bensin dan 32 % untuk motor diesel.
- Panas yang hilang akibat gas buang seperti diketahui akibat adanya pembakaran didalam motor terjadilah langkah ekspansi, dimana piston bergerak dari TMA ke TMB, dimana gas ini pada saat langkah pembuangan, masih mempunyai tekanan dan temperatur. Kerugian panas akibat gas buang serta panas radiasi ditaksir sekitar 34 %.
- Kerugian mekanis, maksud kerugian mekanis disini adalah dimana panas dimanfaatkan untuk menggerakkan peralatan tambahan seperti pompa air, pompa oli dan kerugian akibat gesekan pada piston, katup serta bagian-bagian mesin lainnya, dimana besarnya antara 5 - 6 %.
- Pumping loss.  
Pumping loss ini terjadi adalah disebabkan torak bergerak turun, kevakuman terjadi didalam silinder untuk memasukkan udara, dan hal ini merupakan

suatu kerugian, Hal seperti ini juga terjadi pada saat langkah buang dan kompresi pada oil pan. Kerugian inilah yang disebut dengan pumping loss, dimana besarnya sekitar 3 %.

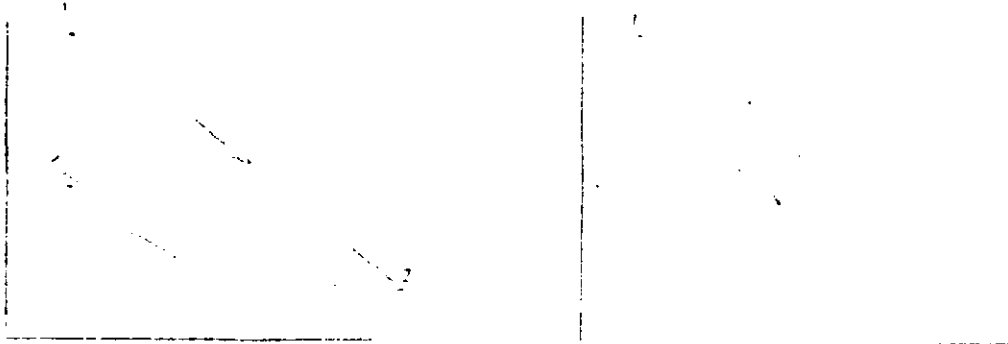
#### B. Siklus Motor Torak Sebagai Proses Reversible.

Pada bagian atas telah dijelaskan model siklus otto maupun diesel, karena yang dibicarakan masalah panas, adabainya dilihat proses ini secara terperinci.

Sebuah benda dikatakan mengalami suatu proses reversible (yaitu dimana perubahan keadaan yang dapat dibalik) bila selama proses itu tekanan dan suhunya diseluruh bagian benda itu seimbang dan pada proses yang sebaliknya semua keadaan yang tadi dialami berturut-turut lagi.

Jika tidak demikian halnya prosesnya dikatakan tidak reversible.

Pada gambar 3.a proses 1-2 dibalik menghasilkan proses lain yaitu 2-3 dikatakan keadaan ini proses irreversible, sedangkan gambar 3.b ini contoh proses reversible.



Gambar 3

#### Proses Reversible Dan Irreversible

Sebenarnya dalam motor bakar torak gas ber-ekspansi secara cepat. Karena ekspansinya cepat maka

tekanan dan suhu diberbagai bagian gas itu tidak sama. Jadi prosesnya irreversible. Tetapi jika dianggap reversible kesalahannya tidak terlalu besar prosesnya akan reversible bila langkah ekspansi sangat lambat dimana temperatur dan tekanan diseluruh bagian selalu sama, jadi proses reversible proses yang idiel. Dapat disimpulkan bahwa proses reversible adalah proses sempurna.

Pada gas sempurna dapat terjadi perubahan keadaan seperti berikut :

1. Perubahan keadaan pada volume tetap. Istilah lainnya adalah isovolume process, dimana temperatur dan tekanan berubah sedangkan volume tetap. Contohnya adalah m kg gas berada dalam silinder dengan temperatur  $T_1$ , diberikan panas sehingga temperatur menjadi  $T_2$ . Keadaan sebaliknya dapat terjadi yaitu berupa pengambilan panas dan suatu sistem sehingga terjadi penurunan temperatur. Seperti dikatakan volume dipertahankan, berarti tidak ada pengembangan maupun penyusutan volume, dengan demikian tidak ada kerja lain yang bisa dilakukan.

Berdasarkan persamaan :

$$\begin{aligned} W &= p \, dV \\ &= p (V_2 - V_1) \end{aligned}$$

$$W = p \cdot 0 = 0.$$

Menurut R. Hunt (1979 : 82) energi panas yang diberikan adalah :

$$Q = m \cdot CV - (T_2 - T_1) \quad (1)$$

Keterangan :     m = massa gas  
                   CV = Kapasitas panas jenis pada volume tetap.



$T_2 - T_1$  = Perbedaan temperatur selama proses.

Berdasarkan persamaan energi non aliran.

$$Q - W = U_2 - U_1.$$

$$m \cdot CV (T_2 - T_1) - 0 = U_2 - U_1$$

$$\text{atau } U_2 - U_1 = m \cdot CV (T_2 - T_1) \quad (2)$$

CV = panas jenis pada volume tetap.

Menurut persamaan keadaan :

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{constan}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{-----} \quad V_1 = V_2$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \quad P_1 = \frac{T_1}{T_2} \cdot P_2.$$

Contoh soal.

Dalam sebuah selinder terdapat  $0,06 \text{ m}^3$  gas dengan tekanan  $1,38 \text{ bar}$  dan temperatur  $21^\circ\text{C}$ .

Hitunglah jumlah panas yang diberikan supaya temperaturnya naik sampai  $93^\circ\text{C}$ , jika diketahui juga  $R_0 = 8,314 \text{ kJ/kg} \cdot \text{m}^3\text{k}$ , massa molekul disign =

$32$ ,  $CV = 980 \text{ kJ/kg}^\circ\text{k}$ , proses berlangsung pada volume tetap.

Penyelesaian :

$$R = \frac{R_0}{M} = \frac{8,314}{32} = 0,26 \text{ kJ/kg}^\circ\text{k}$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{R \cdot T_1} = \frac{1,38 \cdot 10^5 \cdot 0,06}{0,26 \cdot (273 + 21)} = 0,1082 \text{ kg.}$$

Jumlah panas yang diberikan.

$$Q = m \cdot CV(T_2 - T_1)$$

$$= 0,1082 \cdot 0,986 (366 - 294)$$

$$Q = 7,69 \text{ kJ.}$$

Tekanan akhir

$$P_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot P_1 = \frac{366}{294} \cdot 1,38$$

$$P_2 = 1,72 \text{ bar}$$

## 2. Proses Isobar

Yang dikatakan proses isobar adalah suatu proses yang terjadi dimana temperatur dan valume berubah, tetapi dalam keadaan tekanan tetap.

Contohnya dalah pada silinder m kg gas dengan temperatur  $T_1$  dan valume berada dalam keadaan tekanan konstan, kemudian diberi energi panas sehingga temperatur naik sampai  $T_2$ , dengan demikian akan terjadi pula ekspansi yang mengakibatkan pistonpun bergerak, hal demikianpun terjadi pula pada valume. Dapat disimpulkan bahwa energi kerja luar yang terbukti dengan gerak piston mencapai  $V_2$ , dan besar kerja ini adalah :

$$W = P (V_2 - V_1) \quad (3)$$

Jumlah panas yang diberikan adalah :

$$Q = m \cdot CP (T_2 - T_1) \quad (4)$$

CP = Panas jenis pada tekanan tetap.

Menurut persamaan

$$U_2 - U_1 = m \cdot CV (T_2 - T_1)$$

Substitusikan harga  $Q$ ,  $W$  serta  $U_2 - U_1$  pada persamaan energi non aliran seperti berikut :

$$Q - W = U_2 - U_1$$

$$m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) - P(V_2 - V_1) = m \cdot C_v(T_2 - T_1) \quad (5)$$

Persamaan gas idial adalah :

$$PV = mRT$$

$$P \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$P \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2$$

$$P \cdot V_2 - P \cdot V_1 = P(V_2 - V_1) = m R(T_2 - T_1) \quad (6)$$

Masukan persamaan (6) kepersamaan (5) sehingga :

$$mC_p \cdot (T_2 - T_1) - mR(T_2 - T_1) = m \cdot C_v(T_2 - T_1)$$

$$C_p - R = C_v$$

$$C_p - C_v = R$$

Kalau  $R$  berharga positif, berarti  $C_p - C_v$  juga positif, maka  $C_p > C_v$

Entalpy

$$H_1 = U_1 + P_1 \cdot V_1 \text{ dan } H_2 = U_2 + P_2 \cdot V_2$$

$$\text{Maka } H_2 - H_1 = (U_2 - U_1) + (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1)$$

$$= m \cdot C_v (T_2 - T_1) + mR(T_2 - T_1)$$

$$= m \cdot C_v(T_2 - T_1) + m(C_p - C_v)(T_2 - T_1)$$

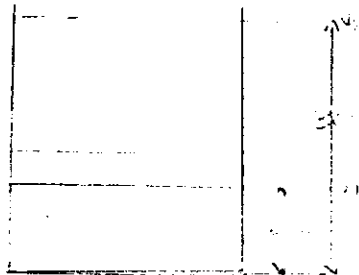
$$= m \cdot C_v(T_2 - T_1)(C_p + C_p - C_v)$$

$$= m \cdot C_p (T_2 - T_1) \quad (7)$$

Kalau persamaan (7) disubstitusikan pada persamaan (4), maka  $H_2 - H_1 = Q$

Contoh soal.

Sebuah silinder dan piston berdiameter 100 mm, seperti gambar berikut :



Berat piston 15 N, temperatur awal 1515°C. Tinggi piston dari dasar silinder 150 mm, diberikan energi panas sehingga piston berpindah 150 mm dari posisi semula, tekanan udara luar 1,013 bar.

Hitunglah jumlah energi panas yang diberikan kepada udara serta perubahan internal energi, bila CP udara = 1,00 kJ/kg<sup>o</sup>k dan R = 0,287 kJ/kg<sup>o</sup>k.

Penyelesaian :

$$\text{Luas silinder} = \pi/4 \times (0,1)^2 = 0,007854 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume gas awal} = 0,007854 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 0,00118 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume akhir} = 0,007854 \text{ m}^2 \times 0,13 \text{ m} = 0,0236 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan absolut} &= 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 + \frac{15}{0,007854} \text{ N/m}^2 \\ &= (1,013 \times 10^5 + 1910) \text{ N/m}^2 \\ &= 1,032 \text{ bar.} \end{aligned}$$

Dari persamaan (4), energi yang disuplay

$$Q = m \times CP (T_2 - T_1)$$

dimana

$$m = P_1 V_1 / RT_1$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1,032 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0,00118 \text{ m}^3}{0,287 \text{ (kJ/kgk)} \times (273+15,5)\text{k}} \\ &= 0,00147 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2 &= \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \times T_1 \\
 &= V_2/V_1 \times T_1 \quad P_1 = P_2 \\
 &= \frac{0,00236 \text{ m}^3}{0,00118 \text{ m}^3} \times (273+15,5)\text{k} \\
 &= 577 \text{ k} \\
 Q &= m \times C_p \times (T_2 - T_1) \\
 &= 0,00147 \text{ kg} \times 1,00 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (5,77 - (273+15,5))\text{k} \\
 &= 0,424 \text{ kJ}.
 \end{aligned}$$

Dari persamaan energi non aliran

$$Q = (U_2 - U_1) + W$$

dimana  $W = P(V_2 - V_1)$

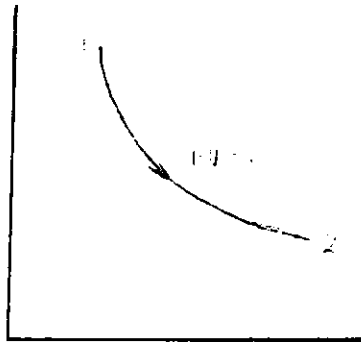
$$\begin{aligned}
 &= 1,032 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times (0,00236 - 0,00118) \text{ m}^3 \\
 &= 0,001219 \times 10^5 \text{ Nm} = 0,1219 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Maka perubahan tenaga dalam silinder

$$\begin{aligned}
 U_2 - U_1 &= Q - W \\
 &= 0,424 - 0,1219 \\
 &= 0,3021 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

### 3. Isothermal proses

Adalah suatu proses dimana tekanan dan volume berubah tetapi tekanan tetap. Proses ini bisa terjadi dengan adanya pemberian tenaga dari luar.



Dari gambar diatas dengan  $T$  konstan diperoleh  $PV =$  konstan, atau  $P_1V_1 = P_2V_2$ .

Misalkan pada sebuah silinder berisi  $m$  kg massa gas yang bertekanan  $P_1$ , volume, dan temperatur  $T_1$ . Dengan pemberian kerja mekanik dari luar, maka volume akhir menjadi  $V_2$ , dan tekanan akhir menjadi  $P_2$ .

Dari keadaan diatas, maka kerja yang diberikan adalah :

$$W = P_1V_1 \ln(V_2/V_1)$$

Pada persamaan non aliran diketahui :

$$Q - W = U_2 - U_1$$

$$Q - W = 0$$

$$Q = W$$

Jadi  $Q = W = P_1V_1 \ln(V_2/V_1)$

Contoh soal :

$0,056 \text{ m}^3$  udara pada tekanan  $1,38 \text{ bar}$ , udara ini dikompresikan secara isothermal sehingga volume  $0,014 \text{ m}^3$ . Berapa tekanan akhir yang timbul serta tentukanlah energi yang dibutuhkan untuk kompresi tersebut.  $R = 0,287 \text{ kJ/kg k}$  dan  $\gamma = 1,4$ .

Penyelesaian :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\begin{aligned} W &= P V_1 C_n (V_2/V_1) \\ &= 0,38 \text{ bar} \times 10^5 \frac{\text{N/m}^2}{\text{bar}} \times 0,056 \text{ m}^3 C_n \left( \frac{0,014 \text{ m}^3}{0,056 \text{ m}^3} \right) \\ &= 7,72 \times -1,388 \text{ kJ} \\ &= -10,7 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

Sedangkan tekanan akhir yang terjadi adalah =

$$\begin{aligned} P_1 V_1^Y &= P_2 V_2^Y \\ P_2 &= P_1 (V_1/V_2)^Y \\ &= 1,38 \text{ bar} \times \left( \frac{0,056 \text{ m}^3}{0,014 \text{ m}^3} \right)^{1,4} \\ &= 1,38 \text{ bar} \times 6,98 = 9,64 \text{ bar.} \end{aligned}$$

#### 4. Politropic Process

Proses ini juga dikenal dengan perubahan pada panas jenis tetap. Misalnya pada sebuah silinder terdapat  $m$  kg massa gas, dengan keadaan  $P_1$ ,  $V_1$  dan  $T_1$  diproses secara politropis sehingga keadaannya berubah menjadi  $P_2$ ,  $V_2$  dan  $T_2$ , dimana proses ini akan mengikuti persamaan.

$$P, V^n = \text{konstan}$$

$$\text{Berarti } P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad (9)$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (10)$$

Bila persamaan (9) dibagi dengan persamaan (10) maka didapat :

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Oleh karena =  $\frac{T_1 V_1^n}{V_1} = \frac{T_2 V_2^n}{V_2}$

$$T_1 V_1^{n-1} = T_2 V_2^{n-1}$$

$$T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{n-1} \quad (11)$$

Atau  $(V_1/V_2) = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/n-1} \quad (12)$

Juga  $(V_1/V_2)^n = P_2/P_1$

$$V_1/V_2 = (P_2/P_1)^{1/n}$$

$$(V_1/V_2)^{n-1} = T_2/T_1 = \left((P_2/P_1)^{1/n}\right)^{n-1} =$$

$$= (P_2/P_1)^{(n-1)/n}$$

Atau  $P_2/P_1 = (T_2/T_1)^{n/(n-1)} \quad (13)$

Perubahan tenaga dalam selama proses berlangsung,

$$U_2 - U_1 = n \cdot CV(T_2 - T_1) \quad (14)$$

Sedangkan jumlah energi yang ditransfer selama proses politropis menurut R. Hunt, T.H. Thomas: (1979 : 89) adalah :

$$W = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{(n-1)}$$



$$P_1 V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \quad \text{dan} \quad P_2 V_2 = m \cdot R \cdot T_2$$

$$W = \frac{m \cdot R T_1 - m \cdot R T_2}{(n-1)} = \frac{mR (T_1 - T_2)}{(n-1)}$$

Pada persamaan energi non aliran diketahui :

$$Q - W = U_2 - U_1$$

Subsitusikan persamaan (14), (15) kedalam persamaan energi non aliran =

$$Q = \frac{mR(T_1 - T_2)}{(n-1)} = m \cdot CV(T_2 - T_1)$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m \cdot R(T_1 - T_2)}{(n-1)} + m \cdot CV(T_2 - T_1) \\ &= m (T_1 - T_2) \left( \frac{R}{(n-1)} - CV \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Diketahui  $R = CP - CV$

$$\begin{aligned} Q &= m(T_1 - T_2) \left( \frac{CP - CV}{n-1} - CV \right) \\ &= m (T_1 - T_2) \left( \frac{CP - CV - nCV + CV}{n-1} \right) \\ &= m (T_1 - T_2) \left( \frac{CP - nCV}{n-1} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

Contoh Soal :

Dalam sebuah silinder terdapat 0,085 gas dengan tekanan 1,032 bar dan temperatur 38°C. Gas ini dikompresi dengan persamaan  $PV^{1,3} = \text{Constant}$ , sehingga tekanan mencapai 5,5 bar. Berapa energi panas yang

diberikan atau dikeluarkan selama proses, bila  $CV = 0,715 \text{ kJ/kg}^\circ\text{k}$  dan  $R = 0,287 \text{ kJ/kg}^\circ\text{k}$ .

Penyelesaian :

Dari persamaan (13) di ketahui :

$$T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(n-1)/n}$$

$$\frac{T_2}{(273 + 38) \text{ k}} = \left( \frac{5,5 \text{ bar}}{1,032 \text{ bar}} \right)^{(1,3 - 1)/1,3}$$

$$T_2 = 5,33^{0,231} = 1,472$$

$$T_2 = 1,472 \times 311 \text{ k} = 458 \text{ k}$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{1,035 \text{ bar} \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0,085 \text{ m}^3}{0,287 \text{ kJ/kg k} \times (273 + 38) \text{ k}}$$

$$= 0,0985 \text{ kg.}$$

$$U_2 - U_1 = m \times CV \times (T_2 - T_1)$$

$$= 0,0985 \text{ kg} \times 0,715 \text{ kJ/kg k} \times (458 - 311) \text{ k}$$

$$= 10,35 \text{ kJ.}$$

$$W = \frac{mR}{(n-1)} (T_1 - T_2)$$

$$= \frac{0,0985 \text{ kg} \times 0,287 \text{ kJ/kg k} \times (311 - 458) \text{ k}}{(1,3 - 1)}$$

$$= - 13,85 \text{ kJ}$$

$$Q = (U_2 - U_1) + W$$

$$= 10,35 \text{ kJ} + (-13,85) \text{ kJ}$$

$$= -3,50 \text{ kJ}$$

### 5. Adiabatic Process.

Adalah perubahan keadaan pada perpindahan panas sama dengan nol ( $Q = 0$ ). Proses ini mengikuti persamaan keadaan.

$$\begin{aligned} P \cdot V^\gamma &= \text{konstant} \\ &= \frac{CP}{CV} \end{aligned} \quad (18)$$

Kerja yang dilakukan selama proses adalah :

$$W = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{(\gamma - 1)} = \frac{m \cdot R (T_1 - T_2)}{(\gamma - 1)}$$

Persamaan keadaan adalah sama dengan proses politropic.

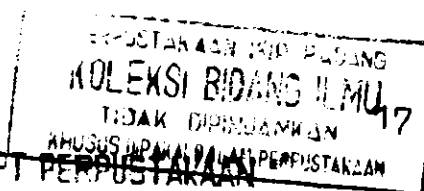
$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \quad \text{atau} \quad \frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{1/(\gamma-1)} \quad (19)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad \text{atau} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (20)$$

### Contoh Soal.

0,225 kg udara dengan tekanan 8,3 bar pada temperatur  $538^\circ\text{C}$  berexpansi secara adiabatik sampai temperatur  $149^\circ\text{C}$ . Tentukanlah tekanan akhir, volume akhir dan kerja yang ditransfer selama proses bila,

$$CP = 1,005 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}, \quad R = 0,287 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}.$$



MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} CV &= CP - R \\ &= 1,005 - 0,287 \\ &= 0,718 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{k.} \end{aligned}$$

$$Y = \frac{CP}{CV} = \frac{1,005 \text{ kJ/kg k}}{0,718 \text{ kg/kg k}} = 1,4$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{Y/(Y-1)}$$

$$\frac{P_2}{8,3 \text{ bar}} = \frac{(273 + 149) \text{ k}}{(273 + 538) \text{ k}}^{Y/(Y-1)} = \left( \frac{422}{811} \right)^{Y/(Y-1)}$$

$$P_2 = 8,3 \text{ bar} \times \frac{(273 + 149) \text{ k}}{(273 + 538) \text{ k}}^{\frac{1,4}{1,4 - 1}}$$

$$P_2 = 0,839 \text{ bar.}$$

$$V_1 = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,225 \times 0,287 \times (273 + 538)}{8,3 \cdot 10^5}$$

$$V_1 = 0,0631 \text{ m}^3$$

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

$$V_2 = V_1 \times \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{1/(Y-1)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,063 \times \left( \frac{811}{422} \right)^{1/(1,4 - 1)} \\
 &= 0,063 \times 5,14 = 0,324 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kerja yang ditransper.

$$Q = (U_2 - U_1) + W$$

$$0 = (U_2 - U_1) + W$$

$$W = - (U_2 - U_1)$$

$$= - m \times CV \times (T_2 - T_1)$$

$$= - 0,225 \text{ kg} \times 0,718 \text{ kJ/kg k} (422 - 811) \text{ k}$$

$$= 62,9 \text{ kJ.}$$

## BAB II

### TINJAUAN UMUM SISTEM PENDINGINAN

#### A. Maksud dan Tujuan Sistem Pendinginan

Maksud dari pendinginan motor disini ialah usaha untuk menghindarkan kenaikan temperatur motor yang tinggi yang disebabkan oleh adanya pembakaran di dalam silinder.

Gas pembakaran di dalam silinder dapat mencapai temperatur antara  $500^{\circ}\text{R}$  -  $5000^{\circ}\text{R}$ , V.L. Maleev hal 248, karena proses pembakaran itu terjadi berulang-ulang, maka efek sampingan akan dapat merusak bagian-bagian berikut :

- Kerusakan material disekitar ruang bakar, seperti retak-retak, kemungkinan titik lebur dilampaui dan sebagainya.
- Minyak pelumas terbakar atau menjadi lebih encer, sehingga proses pelumasan tidak sempurna.
- Pre ignition dalam ruang bakar, sehingga terjadi pembakaran yang tidak sempurna.

Jadi jelas bahwa tujuan utama dari sistem pendinginan adalah untuk mencegah hal-hal yang disebutkan di atas.

Pada umumnya temperatur dinding silinder harus dipertahankan antara  $700^{\circ}\text{R}$  -  $800^{\circ}\text{R}$  lihat Wiranto Arismunandar (1983 : 68) untuk mencegah terbakarnya minyak pelumas. Sebab bila temperatur minyak pelumas terlalu tinggi kesanggupan lumasnya akan menurun. Selain itu temperatur ruang bakar yang terlalu tinggi akan mempercepat keausan katup buang.

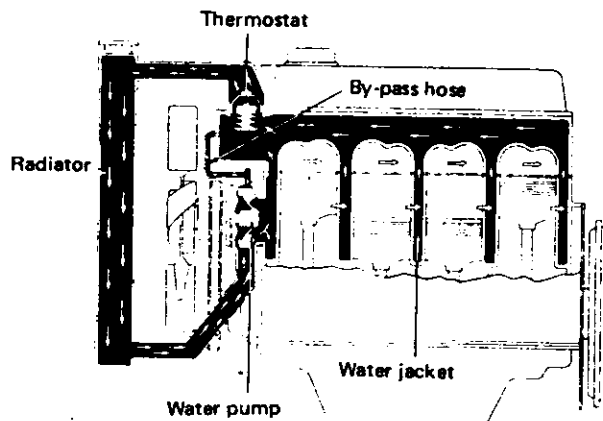
Pada motor-motor besar, kepala piston, batang katup buang dan saluran buang juga didinginkan Pendinginan katup buang dimaksudkan untuk menurun -

kan tekanan gas buang. Namun BM. Surbhakty (1977 : 159) menegaskan temperatur gas buang tidak boleh rendah dari  $96^{\circ}$  R, agar uap air di dalam gas buang tidak dapat mengembun. Pengembunan ini dapat menimbulkan korosi pada logam saluran gas, terlebih-lebih kalau dalam saluran gas buang itu mengandung  $\text{CO}_2$ .

## B. Cara Pendinginan Mesin

Jika diperhatikan dari bahan pendinginan, maka pendinginan motor dapat dibedakan atas dua macam yaitu ; pendinginan air dan pendinginan udara.

### 1. Pendinginan air (water cooling).



Gambar 4

### Sirkulasi Pendinginan Air

Jika diperhatikan gambar di atas, maka dalam sistem pendinginan air ini terdapat mantel pendingin (water jacket) yang menyelubungi silinder-silinder motor dalam blok silinder dan kepala silinder. Mantel pendingin berhubungan dengan radiator yang dipasangkan dibagian depan mesin. Air yang telah panas di dalam mantel dialirkan -

ke radiator untuk didinginkan. Pendinginan air ini dilakukan oleh udara yang mengalir melalui kisi-kisi radiator, sedangkan tarikan udara dilakukan oleh kipas yang digerakan oleh mesin.

Dibandingkan dengan pendinginan udara, maka pendinginan dengan air adalah lebih baik, sebab pengontrolan suhu dalam sistem pendinginan ini ternyata lebih mudah. Selain itu dapat pula diperoleh hasil pendinginan yang merata.

Untuk menjaga agar suhu mesin tetap stabil, maka pada sistem pendinginan ini dipasang termostat yang akan bekerja pada temperatur tinggi  $80^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ .

Sistem pendinginan air dapat dibedakan atas dua cara, yaitu :

a. Sirkulasi alam (natural circulation)

Berat jenis air akan turun apabila suhunya bertambah, dan apabila suhunya turun berat jenisnya akan naik.

Sirkulasi alam bekerja atas dasar perbedaan berat jenis. Air yang telah panas didalam mesin akan naik kebagian atas radiator, dan setelah suhunya turun akan mengalir kebagian bawah radiator dan seterusnya kembali masuk ke dalam mesin.

Jumlah panas persatuan waktu yang dapat diambil oleh sistem pendinginan ini relatif kecil. Oleh karena itu hanya dapat digunakan oleh mesin-mesin dengan beban ringan saja.



b. Sirkulasi tekanan (forced circulation)

Peredaran air dalam sistem ini pada dasarnya sama dengan yang terjadi pada sirkulasi alam, tetapi untuk memperbesar jumlah panas yang dapat diambil tiap satuan waktu maka peredarannya menggunakan pompa.

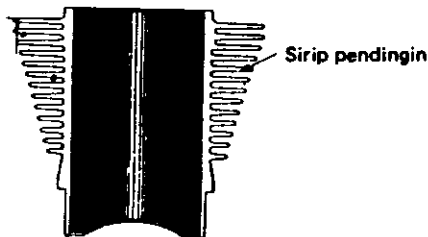
Biasanya pompa ini dipasang dibagian bawah mesin, diputarakan melalui tali-tali kipas (fanbelt).

Air mengalir dari mesin melalui thermostat untuk diteruskan menuju radiator. Dan setelah didinginkan selama melalui radiator, air ini akan kembali lagi masuk ke mesin.

Kondisi pendinginan menurut sistem ini lebih baik dari pada sistem sirkulasi alam, oleh karenanya dewasa ini banyak digunakan.

2. Pendinginan Udara (Air Cooling).

Pada mesin yang menggunakan sistem pendinginan udara (air cooled engine), panas diambil langsung oleh udara melalui sirip-sirip ini dipasang disekeliling silinder dan kepala silinder.



Gambar 5

Sirip-Sirip Pada Mesin Pendinginan Udara

Hembusan udara dilakukan oleh kipas atau dapat juga terjadi pada saat kendaraan berjalan.

Pada motor 4 langkah (4 tak) biasanya digunakan udara tekan yang berarti harus menggunakan kipas. Untuk menyempurnakan arus udara yang terjadi, maka disekeliling sirip-sirip dipasangkan pula sejenis selubung agar udara bisa mengalir lebih cepat.

Konstruksi mesin dengan pendinginan udara lebih sederhana dari pada konstruksi mesin yang menggunakan pendinginan air dan pemanasan mesin dapat berlangsung lebih cepat.

Dengan digunakannya udara maka tak perlu diadakan zat pendingin, tak perlu pula di sangsikan adanya kebocoran zat pendingin.

Akan tetapi pada mesin dengan pendinginan udara ini terjadi suara berisik karena tidak seperti halnya air, maka udara tidak dapat meredam suara mesin.

Metode pendinginan ini sangat sulit dilaksanakan pada motor berselinder banyak. Oleh sebab itu biasanya cara pendinginan ini hanya digunakan pada motor-motor kecil saja. Agar supaya sistem pelumasannya dapat bekerja baik, maka kerenggangan-kerenggangan di dalam mesin dibuat lebih besar sehubungan dengan suhu kerjanya yang lebih tinggi dari pada mesin dengan pendinginan air.

### C. Bagian-Bagian Utama Pada Sistem Pendinginan Air.

Pada sirkulasi tekanan, bagian-bagian yang penting antara lain, meliputi mantel pendingin, ra-

diator, termostat, pompa air, kipas dan slang.

#### 1. Mantel pendingin (Water jacket).

Mantel pendingin mengelilingi silinder-silinder dan kepala silinder yang merupakan bagian kombinasi blok silinder dan kepala silinder. Mantel pendingin berfungsi untuk mendinginkan bagian-bagian silinder dan ruang bakar secara efektif karena bagian-bagian ini cepat sekali menjadi panas.

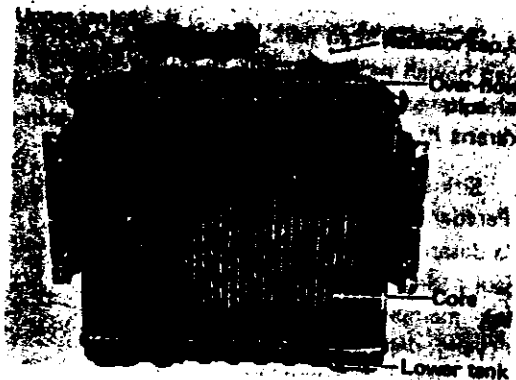
Mantel pendingin pada kepala silinder dan blok silinder dibuat sedemikian rupa sehingga dapat berhubungan satu dengan yang lainnya. Mantel pendingin kepala silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian atas, dan mantel pendingin blok silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian bawah.

Dibagian bawah blok silinder dilengkapi dengan kran pembuang (drain cock) untuk membuang air pendingin.

#### 2. Radiator.

Radiator berfungsi mendinginkan air yang menjadi panas setelah beredar dalam mantel air pendingin pada mesin. Umumnya radiator dipasangkan dibagian depan kendaraan.

Radiator terdiri dari dua buah tabung air yang terletak dibagian atas dan bawah. Kedua tabung ini dihubungkan oleh kisi-kisi pendingin, konstruksi radiator dapat diperhatikan pada gambar berikut :



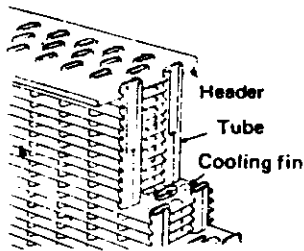
Gambar 6  
R a d i a t o r

Pada tabung air yang terletak dibagian atas radiator terdapat lobang pengisian air, pipa pemasukan air dari mantel dan pipa pembuangan. Sedangkan pada tabung lainnya yang terletak dibagian bawah terdapat kran pembuang air dan pipa air yang menghubungkan bagian ini dengan mantel air pada mesin.

Kisi-kisi pada radiator terdiri dari beberapa saluran air yang biasanya berbentuk pipa yang pipih. Air dari tabung atas mengalir melalui saluran ini menuju tabung bawah. Agar supaya dapat terambil jumlah panas yang lebih banyak, maka pada kisi-kisi ini dipasangkan sirip-sirip pendingin, sehingga luas permukaan yang didinginkan menjadi lebih besar.

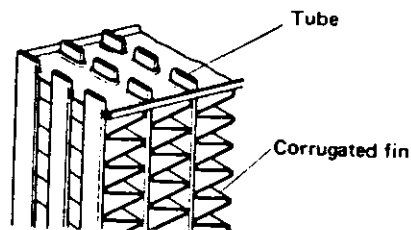
Bentuk sirip-sirip pendingin dapat dibedakan dalam dua jenis yaitu berbentuk plat dan berbentuk zig zag, sebagaimana dapat dilihat pada gambar, sedangkan kisi pendingin biasanya berbentuk sarang lebah.

Konstruksi radiator yang memakai kisi sa-  
rang lebah dengan sirip berbentuk zig zag adalah  
jenis yang paling banyak dipakai dewasa ini, ka-  
rena konstruksi semacam ini dapat menghasilkan  
efek pendinginan yang lebih baik.



Gambar 7

Sirip Berbentuk Plat



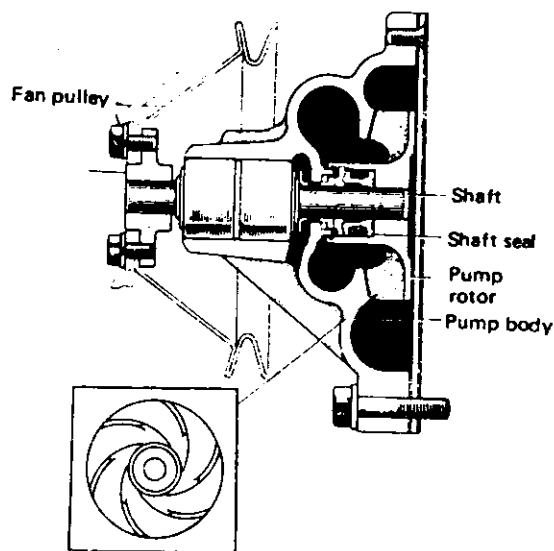
Gambar 8

Sirip Berbentuk Zig Zag

Udara yang diisap kipas mengalir melalui  
sirip-sirip tadi dan mengambil panas sebanding  
dengan jumlah udara yang mengalir persatuan wak-  
tu serta perbedaan suhu antara udara tersebut de-  
ngan sirip-sirip itu sendiri. Pada saat kendara-  
an berjalan jumlah aliran udara yang melalui si-  
rip-sirip tadi bertambah.

### 3. Pompa Air (Water pump).

Pompa air berfungsi memberikan tenaga pa-  
da air untuk dapat melakukan peredarannya. Untuk  
itu biasanya digunakan pompa centrifugal yang di-  
pasangkan dibagian depan blok silinder. Gerak pu-  
tar pompa diperoleh dari putaran poros engkol me-  
lalui tali kipas (fanbelt).



Gambar 9  
Pompa Centrifugal

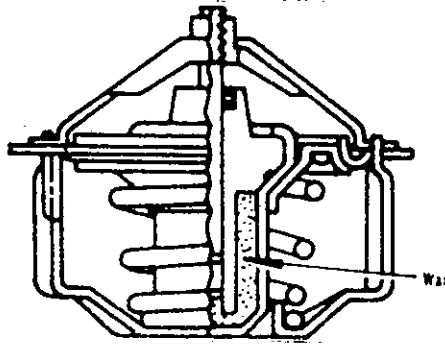
#### 4. Termostat

Termostat berarti alat pengontrol suhu. Alat ini merupakan bagian yang sangat penting dari suatu sistem pendinginan motor.

Sesuai dengan namanya, maka termostat betul-betul berfungsi untuk memelihara temperatur kerja dari motor. Pada waktu motor dihidupkan dalam keadaan dingin, termostat menghalangi air masuk melalui radiator. Dengan demikian temperatur motor yang belum mencapai temperatur kerja tidak mengalami pendinginan.

Suhu kerja mesin yang terbaik terjadi manakala air pendingin mencapai suhu  $80^{\circ}\text{C}$  -  $90^{\circ}\text{C}$ .  
Lihat Toyota hal 47.

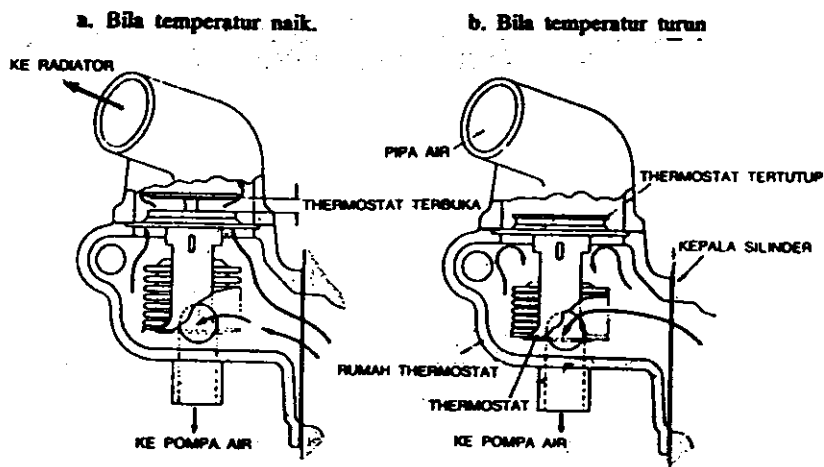
Bagian utama dari sebuah termostat adalah sebuah katup yang membuka dan menutup pada suatu temperatur tertentu. Jika temperatur mencapai suhu kerja di atas, maka katup pada termostat akan



Gambar 10

## Penampang Termostat

terbuka. Gambar 11 a, menunjukkan sebuah termostat dengan katup dalam keadaan terbuka, dan gambar 11 b, menunjukkan termostat dengan katup dalam keadaan tertutup.



Gambar 11

## T e r m o s t a t

## 5. K i p a s

Kipas berfungsi menyempurnakan sistem pendinginan pada radiator dengan jalan mempercepat aliran udara pada saat mesin hidup.

Gerak putar kipas diperoleh dari poros engkol melalui fanbelt bersamaan dengan berputarnya poros pompa.

Namun dewasa ini pada kendaraan-kendaraan tertentu gerak putar kipas ini diperoleh tidak melalui fanbelt yang digerakan poros engkol, tetapi dengan menggunakan peralatan peralatan khusus.

#### 6. Pipa-Pipa Pada Sistem Pendinginan.

Pipa-pipa yang menghubungkan komponen komponen pada sistem pendinginan terbuat dari karet agar dapat menyerap getaran dan mudah memasang atau melepaskannya.

Pipa-pipa dibagian atas disebut outlet hose, dan dibagian bawah disebut inlet hose.

#### 7. Water temperatur indicator

Water temperatur indicator (indicator suhu-air) dipasangkan pada instrumen panel untuk menunjukkan keadaan suhu air pendingin didalam mesin. Seperti telah diterangkan diatas, suhu pendingin air yang terbaik adalah  $80^{\circ}\text{C}$  -  $90^{\circ}\text{C}$ . Bila suhunya terlalu tinggi, lapisan minyak (oil film) akan pecah dan proses pembakaran akan terganggu.



### BAB III

#### METODA PERHITUNGAN PERPINDAHAN PANAS

Di dalam bab III ini akan penulis kemukakan metoda-metoda perhitungan serta rumus-rumus yang akan dipergunakan dalam perhitungan perpindahan panas.

##### A. Ketentuan Perhitungan Termodinamis

- Bahan bakar dipilih  $C_8 H_{18}$  ( gasoline ).
- Kondisi campuran bahan bakar kaya (83,3 % teori - tis atau  $Q = 1,2$ ).
- $Q =$  Perbandingan ekivalen bahan bakar dan udara.  
$$= \frac{\text{masa bahan bakar sebenarnya}}{\text{masa bahan bakar untuk pembakaran sempurna.}}$$
- Tekanan udara luar diperkirakan 14,7 psi.
- Temperatur udara luar  $T_1 = 540^{\circ}R$ .

Valume spesifik pada waktu akan memulai proses komproses kompresi bisa dicari dengan mempergunakan hukum poisson :

$$1. P_1 \cdot V_1^K = P_2 \cdot V_2^K$$

$$2. T_1 \cdot V_1^{K-1} = T_2 \cdot V_2^{K-1}$$

dimana :

$K =$  Perbandingan panas jenis = eksponen garis (cp/cv).

cp= Panas jenis pada tekanan tetap.

cv= Panas jenis pada volume tetap.

/ Jumlah panas yang dihasilkan pada pembakaran dapat

dihitung dengan mempergunakan rumus :

$$Q = Ne \cdot be \cdot Q_{bb} \dots\dots$$

Lihat Wiranto Arlismunandar (1983 : 35 ).

Keterangan rumus.

Q = Besarnya panas yang terjadi di dalam silinder

be = Pemakaian bahan bakar spesifik, menurut Wiranto Arlismunandar, halaman 49 adalah 0,440 - 0,780 kita ambil be = 0,440 lb/hr.hp.

Q<sub>bb</sub> = Nilai kalor bahan bakar, untuk C<sub>8</sub> H<sub>18</sub>, menurut Obert.E.F (1966 : 235) adalah : 19289 Btu/lb hr

## 2. Perpindahan panas.

a. Panas yang diberikan gas pada dinding silinder dapat dihitung dengan mempergunakan rumus :

$$Q_s = U \cdot A ( t_1 - t_2 ) \dots\dots\dots$$

Keterangan rumus.

Q<sub>s</sub> = panas yang diberikan gas pada dinding silinder, menurut maleev halaman 375 adalah 13 % untuk s/d = 0,98.

U = Koefisien perpindahan panas, adalah :  
= 180-300 Btu/ft<sup>2</sup> °F. hr. Maleev hal 238.  
Kita ambil 180 Btu/ft<sup>2</sup> °F.

A = Luas dinding silinder dalam

t<sub>1</sub> = Temperatur rata-rata dari gas.

t<sub>2</sub> = Tempertaur dinding silinder dalam.

- b. Perpindahan panas pada dinding silinder dalam ke dinding silinder luar, dapat dihitung dengan mempergunakan Lichy hal 426.

$$Q_s = \frac{h'}{x} \cdot A (T_2 - t_3) \dots\dots\dots$$

Keterangan rumus

x = Tebal dinding silinder, untuk Colt T-120, tebalnya 5 mm = 0,0164 ft

Qs = Panas yang diberikan gas pada dinding silinder.

h' = Konduktifitas bahan, dalam perhitungan ini dipergunakan besi tuang, konduktifitasnya adalah ,  $\frac{27 \text{ Btu.ft}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F.hr}} \dots\dots\dots$

t<sub>2</sub> = Temperatur dinding silinder dalam

t<sub>3</sub> = Temperatur pada dinding silinder luar.

- c. Panas yang mengalir kekepala silinder dalam, dapat dihitung dengan mempergunakan rumus :

$$Q_k = U \cdot A_k (t_1 - t_{2k})$$

Keterangan rumus

Qk = Panas yang diberikan gas pada kepala silinder dalam, menurut Maleev halaman 378 adalah 4 % - 7 % dari panas, kita ambil Qk = 7 %.

U = Koefisien perpindahan panas

Ak = Luas permukaan kepala silinder

t<sub>2k</sub> = Temperatur kepala silinder dalam.

- d. Panas yang mengalir dari dinding kepala silinder dalam ke dinding kepala silinder luar, bisa ditentukan dengan rumus Licthy hal 420.

$$Q_k = \frac{h'}{x} \cdot A_k (t_{2k} - t_{3k})$$

Keterangan rumus

$Q_k$  = Besar panas pada kepala silinder dalam

$h'$  = Konduktifitas untuk bahan

$x$  = Tebal antara kepala silinder dalam dan kepala silinder luar.

$t_{2k}$  = Temperatur kepala silinder dalam

$t_{3k}$  = Temperatur kepala silinder luar

3. Koefisien perpindahan panas dari dinding luar ke air pendingin.

Koefisien perpindahan panas dari dinding luar ke air pendingin ini dapat dihitung dengan mempergunakan rumus Licthy hal 421.

$$Q_{tot} = K \cdot A (t_3' - t_{air}) \dots\dots$$

Keterangan rumus

$Q_{tot}$  = Panas yang keluar permukaan silinder dan silinder kepala.

$K$  = Koefisienperpindahan panas.

$A$  = Luas permukaan yang kena air pendingin

$t_3'$  = Temperatur rata-rata dinding silinder luar dengan kepala silinder luar.

#### 4. Pompa air pendingin

- a. Kapasitas pompa air pendingin dapat dicari dengan mempergunakan rumus Petrovsky hal 482.

$$Q = c \cdot q \cdot \Delta t$$

Keterangan rumus

Q = Jumlah panas kcal/jam

c = Kapasitas pompa lb/jam

q = Panas jenis air 1 kcal/kg<sup>o</sup>C

$\Delta t$  = Perbedaan temperatur air masuk dan keluar.

- b. Daya dari pompa pendingin dapat ditentukan dengan rumus Petrovsky hal 482.

$$N_p = \frac{10 \times c' \times P_{del}}{3600 \times 75 \times n_p} = \frac{c \times P_{del}}{27 \times 10^5 \times n_p}$$

Keterangan rumus

c' = Kapasitas pompa liter/jam

$P_{del} = 1 - 2 \text{ kg/cm}^2$  = tekanan hantar untuk pendinginan silinder dan silinder head, kita ambil  $P_{del} = 2 \text{ kg/cm}^2$ .

$n_p = 0,5 - 0,7$  (pompa centrifugal).  
Kita ambil 0,7.

#### B. Perhitungan Perpindahan Panas.

Sebelum menghitung perpindahan panas, maka perlu dilakukan perhitungan termodinamis, sebab sangat erat kaitannya dengan perhitungan selanjutnya, dan dalam perhitungan ini akan dihitung adalah kendaraan Colt T-120.

Sebelum dilakukan perhitungan dapat dikemukakan disini bahwa menurut misalnya Colt T-120, volume langkah total adalah  $1378 \text{ cm}^3$ , dengan demikian

dapat dikemukakan hal-hal berikut :

Volume langkah :

$$\begin{aligned} VL &= \pi/4 \cdot D^2 \cdot S \\ &= 0,785 \cdot 7,65 \cdot 7,5 \\ &= 344,5 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Dimana S = 7,5 cm, dan D 7,65 cm

Volume awal isap =

$$\begin{aligned} V_0 &= 1/9 \cdot VL \\ &= 1/9 \cdot 344,5 \\ &= 38,2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$V_L = VL + V_0 = 344,5 + 38,2 = 382,7 \text{ cm}^3.$$

$$P_L = P_0 = 1,033 \text{ kg/cm}^2.$$

$$T_1 = 540^\circ\text{R}$$

$$K = 0,24/0,171 = 1,4$$

$$V_2 = V_0 = 38,2 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = P_1 (V_1/V_2)^K = 1,033 (10)^{1,4} = 35,71 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_2 = T_1 (V_1/V_2)^{K-1}$$

$$= 540 (10)^{0,4}$$

$$= 1427^\circ\text{R}$$

Jadi temperatur akhir langkah kompresi

$$= 1427^\circ\text{R}.$$

1. Jumlah panas yang dihasilkan pada pembakaran.

Jumlah panas yang dihasilkan pada pembakaran :

$$Q = Ne \cdot be \cdot Q_{bb}$$

$$\begin{aligned}
 &= 60 \cdot 0,440 \cdot 19289 \\
 &= 509229,6 \text{ Btu/jam.}
 \end{aligned}$$

Jadi panas yang dihasilkan tiap silinder adalah:

$$\frac{509229,6}{4} = 127307 \text{ Btu/jam.}$$

2. Perpindahan panas dari gas ke dinding silinder dan ke dinding kepala silinder.

a. Panas yang diberikan gas pada dinding silinder dalam adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 13 \% \times Q \\
 &= 0,13 \times 127307 \\
 &= 16550 \text{ Btu/jam.}
 \end{aligned}$$

Sebelum dihitung temperatur pada dinding silinder dalam, maka terlebih dahulu dicari luas dinding silinder dalam.

Dimana tinggi silinder Colt T-120 adalah, 100 mm = 3,93 in, dan diameternya 76,5 mm = 3,01 in.

Maka luas dinding silinder dalam adalah :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{11}{4} D^2 t \\
 A &= \frac{0,785 \cdot 3,01^2 \cdot 3,93}{144} \\
 A &= 0,194 \text{ ft}^2.
 \end{aligned}$$

Dengan demikian temperatur pada dinding silinder dalam dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_s = U \cdot A (t_1 - t_2)$$

dimana :

$$T_2 = t_1 + 460$$

$$t_1 = T_2 - 460$$

$$t_1 = 1427 - 460 = 967 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Maka  $Q_s = U \cdot A (t_1 - t_2)$

$$16550 = 300 \cdot 0,194 (740 - t_2)$$

$$967 - t_2 = \frac{16550}{180 \cdot 0,194} = \frac{16550}{34,92} = 474 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 967 - 474 = 493 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Jadi temperatur pada dinding silinder dalam adalah = 493  $^\circ\text{F}$ .

- b. Perpindahan panas dari dinding silinder dalam ke dinding silinder luar.

Terlebih dahulu dicari luas permukaan rata-rata dinding silinder, dimana tinggi blok 7,68 in, diameter silinder luar 3,4 in, maka luasnya :

$$\begin{aligned} A &= (11/4 D^2 t) + (11/4 \cdot d^2 \cdot t) \\ &= \frac{(0,785 \cdot 3,4^2 \cdot 7,68) + (0,785 \cdot 3,01^2 \cdot 7,68)}{144} \\ &= 0,241 + 0,097 \\ &= 0,338 \text{ ft}^2. \end{aligned}$$

Temperatur silinder luar dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_s = \frac{h'}{x} \cdot A (t_2 - t_3)$$



$$16550 = \frac{27}{0,0164} \times 0,338 (493 - t_3)$$

$$16550 = 556 (493 - t_3)$$

$$493 - t_3 = \frac{16550}{556} = 29^\circ$$

$$t_3 = 493 - 29 = 464^\circ \text{F}$$

Jadi temperatur pada dinding silinder luar adalah  $464^\circ \text{F}$ .

- c. Perpindahan panas dari gas ke dinding kepala silinder dalam.

$$Q_k = 0,07 \times 127307 = 8911 \text{ Btu/hr.}$$

Selanjutnya perlu dihitung luas permukaan blok silinder dimana panjang silinder blok 1,29 ft dan lebar silinder blok 0,52 ft.

Luas permukaan silinder =

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} \cdot D^2 &= 0,785 \cdot 3,01^2 = 7,11 \text{ in}^2 \\ &= 0,049 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas permukaan rata-rata kepala silinder

$$\begin{aligned} &= (1,29 \times 0,52) - (4 \times 0,049) \\ &= 0,67 - 0,196 \\ &= 0,474 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Jadi  $A_k =$  luas kepala silinder

$$= \frac{0,747}{4} = 0,1185 \text{ ft}^2.$$

Maka temperatur pada kepala silinder dalam adalah :

$$Q_k = U \cdot A_k (t_1 - t_2^k)$$

$$8911 = 300 \times 0,1185 (967 - t_2^k)$$

$$967 - t_2^k = \frac{8911}{180 \times 0,1185} = \frac{8911}{21} = 424$$

$$t_2^k = 967 - 424 = 543^{\circ}\text{F.}$$

Jadi temperatur kepala silinder dalam adalah :  
=  $543^{\circ}\text{F.}$

d. Perpindahan panas dari dinding kepala silinder dalam ke dinding kepala silinder luar.

Terlebih dahulu ditentukan tebal antara kepala silinder dalam dan kepala silinder luar, dimana untuk kendaraan Colt T-120 adalah 7 mm atau 0,023 ft.

Maka temperatur pada dinding silinder luar adalah :

$$Q_k = \frac{h'}{x} \cdot A_k (t_2^k - t_3^k)$$

$$8911 = \frac{27}{0,023} \cdot 0,1185 (543^{\circ}\text{F} - t_3^k)$$

$$8911 = 1173,9 \times 0,1185 (543 - t_3^k)$$

$$8911 = 139 (543 - t_3^k)$$

$$543 - t_3^k = \frac{8911}{139} = 64$$

$$t_3^k = 543 - 64 = 479^{\circ}\text{F.}$$

Jadi temperatur pada silinder luar adalah :  
=  $479^{\circ}\text{F.}$

3. Perpindahan panas dari dinding luar ke air pendingin.

Perbedaan temperatur air pendingin yang masuk dan keluar engine tidak boleh terlalu tinggi dan tidak boleh terlalu rendah.

Perbedaan temperatur yang terlalu tinggi dapat menimbulkan tegangan yang terlalu besar. Dan perbedaan temperatur yang terlalu rendah, menimbulkan banyak pemborosan karena terlalu banyak panas yang keluar.

Untuk motor kecil dan medium perbedaan temperatur antara air masuk dan keluar engine  $\pm 20^{\circ}\text{F}$ , untuk motor besar  $10^{\circ}\text{F}$ .

Juga temperatur keluar air pendingin tidak boleh terlalu tinggi.

Pada motor kecil dan medium, temperatur maksimum antara  $130^{\circ}\text{F} - 150^{\circ}\text{F}$ , sedangkan untuk motor besar antara  $160^{\circ}\text{F} - 180^{\circ}\text{F}$ .<sup>13)</sup>

Air pendingin ini dialirkan melalui silinder jacket oleh pompa centrifugal, dan akhirnya ke radiator untuk didinginkan.

Diambil : temperatur air masuk =  $t_m = 130^{\circ}\text{F}$

temperatur air keluar =  $t_k = 150^{\circ}\text{F}$ .

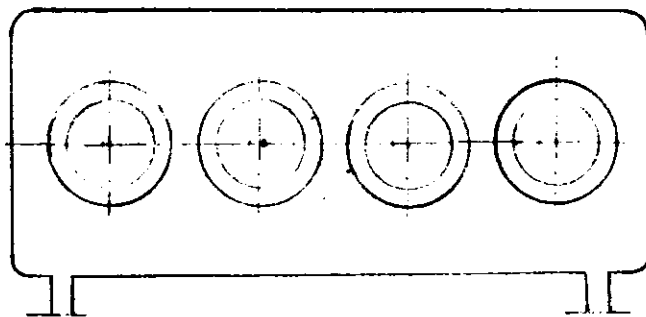
Kecepatan air mengalir melalui silinder jacket adalah 5 fpm untuk motor besar, dan 60 fpm untuk motor kecil.<sup>14)</sup>

Panas yang keluar permukaan silinder dan silinder kepala =  $Q_{tot}$ .

$$\begin{aligned} \text{Jadi } Q_{tot} &= 4 Q_s + 1 Q_k \\ &= 4.16550 + 4.8911 \\ &= 66200 + 35644 \\ &= 101844 \text{ Btu/jam.} \end{aligned}$$

Luas : permukaan silinder yang kena air pendingin sama dengan :

$$\begin{aligned}
 A &= \text{luas silinder luar} + \text{luas silinder kepala.} \\
 &= 4 \left( 0,206 - \frac{45}{560} \times 0,206 \right) + 0,1185 \\
 &= 4 (0,206 - 0,025 + 0,1185) \\
 &= 4 (0,181 + 0,1185) = 1,198^{\circ}\text{ft.}
 \end{aligned}$$



Dan temperatur rata-rata dinding silinder luar dengan dinding kepala silinder adalah :

$$\begin{aligned}
 t_3' &= \frac{(t_3 + t_3^k)}{2} = \frac{464 + 479}{2} \\
 &= \frac{943}{2} = 471^{\circ}\text{F.}
 \end{aligned}$$

Dalam perhitungan ini diambil  $t$  air keluar  $150^{\circ}\text{F}$   
 Dengan berbagai data-data di atas maka koefisien perpindahan panas bisa dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{tot}} &= K \cdot A (t_3' - t_{\text{air}}) \\
 101844 &= K \cdot 1,198 (471 - 150) \\
 101844 &= K \cdot 1,198 (321) \\
 K &= \frac{101844}{1,198 \times 321} = \frac{101844}{384} \\
 &= 264 \text{ Btu/ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F hr.}
 \end{aligned}$$

Jadi koefisien perpindahan panas =  $265 \text{ Btu/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$   
hr.

#### 4. Pompa air pendingin.

Type pompa air pendingin yang dipakai untuk kendaraan Colt T-120 adalah pompa centrifugal Panas yang harus dikeluarkan menurut perhitungan diatas  $101844 \text{ Btu/jam}$ .

Dengan data-data di atas dapatlah dicari kapasitas pompa air pendingin.

##### a. Kapasitas pompa.

$$Q = c \times g \times \Delta t$$

$$s = \frac{Q}{g \times \Delta t} = \frac{101844}{20} = 5092 \text{ lb/jam.}$$

##### b. Daya yang diperlukan untuk pompa.

$$N_p = \frac{10 \times c' \times P \text{ del}}{3600 \times 75 \times n_p} = \frac{c \times P \text{ del}}{27 \times 10^3 \times n_p}$$

Kapasitas pompa dalam liter/jam dapat dicari dengan rumus.:

$$c' = \frac{c}{1}$$

dimana :  $\quad =$  berat jenis air = 1

$$c' = \frac{5092}{1} \times 0,454 = 2312 \text{ liter/jam.}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } N_p &= \frac{c \times P \text{ del}}{27 \times 10^3 \times n_p} = \frac{2312 \times 2}{27 \times 10^3 \times 0,7} \\ &= 0,24 \text{ dk.} \end{aligned}$$

Jadi daya yang diperlukan untuk pompa adalah :  
 $0,24 \text{ dk}$ .

### C. Pembahasan Hasil-Hasil Perhitungan.

#### 1. Panas yang diberikan gas pada dinding silinder.

Menurut perhitungan dari data yang dipergunakan, besarnya temperatur pada dinding silinder dalam adalah :

$$\begin{aligned} t_2 &= 498 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 \\ &= 958 \text{ } ^\circ\text{R} \end{aligned}$$

Berdasarkan literatur, dinding silinder mampu menahan temperatur yang besarnya antara  $500^\circ\text{R} - 5000^\circ\text{R}$ .

#### 2. Perpindahan panas dari dinding silinder dalam ke dinding silinder luar.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh temperatur yang dialirkan pada silinder luar :

$$\begin{aligned} t_3 &= 464 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 \\ &= 924 \text{ } ^\circ\text{R} \end{aligned}$$

Berdasarkan literatur, temperatur kalor yang terjadi memenuhi persyaratan.

#### 3. Perpindahan panas dari gas ke dinding kepala silinder dalam.

Berdasarkan perhitungan, maka temperatur yang berpindah ke kepala silinder dalam adalah :

$$\begin{aligned} t_{2k} &= 543 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 \\ &= 1003 \text{ } ^\circ\text{R} \end{aligned}$$

Apabila dibandingkan dengan literatur maka  $t_{2k}$  ini memenuhi persyaratan, sebab ruang bakar mampu menahan temperatur yang besarnya sam -

pai  $5000^{\circ}\text{R}$ .

4. Perpindahan panas dari dinding kepala silinder dalam ke dinding kepala silinder luar.

Dari hasil perhitungan, temperatur kepala silinder luar adalah :

$$\begin{aligned} t_{3k} &= 479^{\circ}\text{F} + 460 \\ &= 939^{\circ}\text{R}. \end{aligned}$$

Setelah dibandingkan dengan kemampuan ruang bakar dalam menahan besarnya temperatur, maka hasil yang didapatkan ini memenuhi persyaratan.

5. Kapasitas pompa pendingin.

Dari perhitungan pompa di atas, maka kapasitas pompa di atas adalah :

$$\begin{aligned} c &= 2312 \text{ liter/jam} \\ &= 38,5 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan untuk kendaraan Colt T-120, maka hasil perhitungan tentang kapasitas pompa ini cukup memenuhi persyaratan karena untuk Colt T-120 kapasitas pompanya berkisar antara 20 liter/menit - 120 liter/menit.

#### D. Pelumasan Dan Perhitungan

Seperti diketahui gesekan yang terjadi pada motor bakar misalnya adalah antara poros dan bantalan, antara cincin torak dan dinding silinder, dan sesama roda gigi.

Pada intinya gesekan ini akan menimbulkan panas yang pada akhirnya akan mengurangi daya dari komponen yang bergerak, dan pada engine sudah barang tentu akan menurunkan prestasi engine.

Besarnya gesekan ini akan dapat dikurangi dengan menggunakan pelumasan dimana fungsinya akan memisahkan dua permukaan yang bersentuhan. Tetapi dalam prakteknya haruslah disadari jarang terjadi gerakan tanpa gesekan, karena bagaimanapun adalah tidak mudah mencari pemisahan yang sempurna. Apalagi gesekan terjadi juga pada permukaan yang dilumasi yang penyebabnya adalah tegangan geser pada pelumas sendiri.

Secara khusus tujuan pelumasan adalah :

- Melumasi bagian-bagian yang bergeser (mengurangi friction bagian yang bergeser).
- Meredam bunyi akibat dari pergeseran dari dua permukaan yang bergeseran.
- Membantu pendinginan pada bagian yang bergeser, dari panas yang timbul akibat pergeseran tersebut
- Membantu untuk merapatkan dua permukaan, misalnya antara piston dan silinder.

#### 1. Cara-cara pelumasan pada motor bakar.

Beberapa sistem pelumasan yang dipergunakan pada motor bakar torak adalah :

- Sistem penekanan penuh
- Sistem cebur
- Gabungan sistem tekan dan cebur.

Seperti diketahui minyak pelumas harus dapat mencapai bagian yang hendak dilumasi dan harus dapat berfungsi dengan baik.

Mana sistem pelumasan yang hendak dipergunakan itu dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :



- Konstruksi mesin
- Kebutuhan pelumasan
- Keinginan perancang kendaraan

Khusus untuk mesin yang besar dan untuk alat transportasi yang dipergunakan adalah pelumasan dengan sistem tekan penuh, karena bantalan dan minyak pelumas pada kendaraan ini relatif lebih dingin dari bagian mesin lainnya. Minyak pelumas tersebut dialirkan melalui berbagai saluran ke beberapa bantalan, poros, dan batang penggerak, pipa dalam kerangka mesin, dan pada bagian lain yang hendak dilumasi. Menurut Wiranto Arismunandar (1983 : 46), tekanan minyak pelumas ini adalah sekitar 50 dan 100 psi.

Sistem pelumasan cebur atau semi cebur biasanya dipakai pada mesin-mesin kecil yang berdaya rendah, dimana konstruksinya maupun pembuatannya sederhana. Pada sistem pelumasan ini pompa pelumas memampatkan minyak pelumas dari bak minyak pelumas ke dalam mangkok minyak pelumas tersebut. Dimana pada setiap kali pangkal batang penggerak mencebur ke dalam mangkok tersebut, maka muncullah pelumas dari dalam mangkok membasahi bagian yang harus dilumasi.

2. Minyak pelumas sebagai pendingin, pembersih dan penyekat.

Selama mesin bekerja, mesin dan bagian-bagiannya akan panas. Karena minyak pelumas lebih rendah temperaturnya, disamping ia melumasi ia berfungsi sebagai pendingin, yaitu mengisap panas dari bagian yang panas tadi, sehingga temperaturnya naik. Oleh karenanya setelah kembali ke dalam bak minyak pelumas, minyak pelumas itu harus didinginkan dahulu sebelum dialirkan ke seluruh bagian mesin, dengan maksud agar sifat pe-

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY  
1100 EAST 58TH STREET  
CHICAGO, ILL. 60637  
TEL. 773-936-3200



lumasan tetap baik.

Fungsi lain dari minyak pelumas adalah sebagai pembersih kotoran yang timbul selama mesin bekerja, dimana kotoran itu berasal dari kerak yang terjadi karena sebagian minyak pelumas yang terbakar serta sepihan logam dari bantalan yang aus, dimana pada akhirnya dapat mengakibatkan keausan atau kerusakan lebih lanjut, dan akan menyumbat saluran minyak pelumas. Sambil membawa kotoran minyak pelumas masuk kembali ke dalam bak minyak pelumas. Setelah melalui penyaringan dalam keadaan bersih minyak pelumas dialirkan kembali ke bagian mesin yang perlu dilumasi.

Selain fungsi diatas, minyak pelumas juga berfungsi sebagai pencegah merembesnya gas pembakaran keluar. Perhatikanlah dalam prakteknya, mesin-mesin yang dinding silindernya aus dan tua diberi minyak pelumas yang kental. Namun harus dicegah minyak pelumas jangan sampai masuk kedalam ruang bakar. Oleh karenanya hendaknya dijaga jangan sampai minyak pelumas membasahi dinding silinder secara berlebihan.

Untuk itulah dipakai berbagai ring sebagai pembatas minyak pelumas.

Mengingat pentingnya peranan pelumas maka harus dijaga agar selalu dalam keadaan baik.

### 3. Perhitungan pompa pelumas.

Yang perlu diperhatikan betul dalam sistem pelumasan adalah kerja pompa pelumasan untuk itu yang akan dilihat pada bagian ini adalah masalah perhitungan pompa.

#### a. Menghitung kapasitas pompa.

Pada umumnya pompa pelumas yang digunakan adalah pompa roda gigi, kalau kapasitas

minyak yang diperlukan = Q, 0,05 gallon/menit. HP, maka untuk motor dengan daya 42 HP diperlukan minyak sebanyak.

$$Q = \frac{0,05 \times 42 \times 3,785 \text{ liter}}{60} =$$

$$= 0,132 \text{ liter/detik}$$

b. Menghitung Berat minyak pelumas, dapat dicari dengan jumlah minyak x berat jenis maka berat minyak pelumas diatas adalah :

$$= Q \times BJ$$

$$= 0,132 \times 0,9$$

$$= 0,119 \text{ kg/dt}$$

c. Menghitung daya pompa.

Untuk tekanan pompa  $P = 4 \text{ kg/cm}$

Berat jenis minyak 0,9, maka daya pompa dapat dihitung dengan rumus :

$$N = \frac{W_m \times H}{75 \times \eta_p}$$

Besarnya  $H = \text{head} = \frac{P}{\gamma} =$

$$\frac{4 \times 6000}{0,9} = 4,45 \times 1000 \text{ cm}$$

$$= 4450 \text{ cm} = 44,5 \text{ m}$$

$$p = \text{efisiensi pompa} = 0,70 - 0,72$$

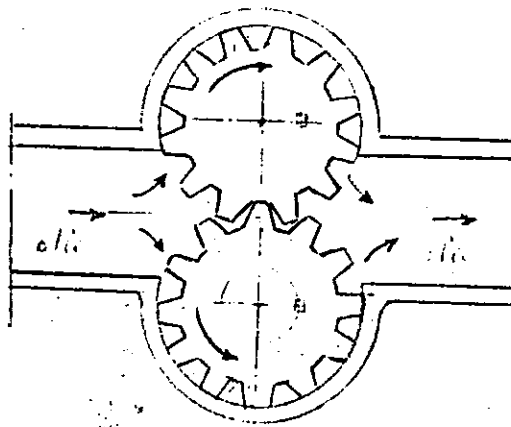
diambil 0,72.

$$\text{Maka daya } N = \frac{W_m \times H}{75 \times \eta_p} = \frac{0,132 \times 44,5}{75 \times 0,72}$$

$$= \frac{5,85}{54} = 0,108 \text{ dk}$$

Daya untuk pompa  $N (N_p) = 0,108 \text{ dk}$

d. Ukuran roda gigi pompa.



Menurut N Petrovsky hal 486, kapasitas pompa tiap menit adalah :

$$Q = 2,2 \times 10^{-6} \cdot \pi \cdot Z \cdot m \cdot L \cdot n_p \cdot \left( \frac{1 \text{ tr}}{\text{men}} \right)$$

dimana :

$m$  = modulus roda gigi (mm)

$h$  = tinggi gigi (mm)

$L$  = lebar gigi (mm)

$Z$  = banyak gigi

$d$  = diameter pitch (mm)

$n_p$  = putaran gigi (rpm)

$Q$  = kapasitas pompa  $\left( \frac{1 \text{ tr}}{\text{men.}} \right)$

$$d = Z \times m, \text{ dan } h = 2,2 \times m$$

$$m = 5 \text{ mm (high speed engine)}$$

$$Z = 12 \text{ gigi (high speed engine)}$$

(dari "Petrovsky" hal. 486).

$$= 0,60 \text{ --- } 0,80 \text{ (pump delivery coefficient)}$$

$$\text{diambil} = 0,75$$

Kalau putaran mesin diambil = 5300 rpm

$$\begin{aligned} \text{diambil putaran pompa} &= n_p = i \times n \\ &= 1,9 \times 5300 \\ &= \underline{10.000 \text{ r.p.m.}} \end{aligned}$$

(  $i = 1,9 =$  ratio putaran pompa dengan poros).

$$\begin{aligned} \text{Diperlukan } Q &= 0,132 \text{ liter/Sec.} \\ &= 475 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$475 = 2,2 \times 60 \times 10^{-6} \cdot 12,5 \cdot L \cdot 10.000 \cdot 0,75 \quad (1 \text{ tr/jam})$$

Lebar gigi =  $L =$

$$\begin{aligned} L &= \frac{475}{2,2 \cdot 60 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot 12,5 \cdot 10^3 \cdot 0,75} \\ &= \frac{475 \times 10^6}{\pi \times 2,2 \times 3600 \times 10^3 \times 0,75} \end{aligned}$$

$$L = \frac{475 \times 10^6}{18,7 \times 10^6} = 25,2 \text{ mm} = \underline{2,52 \text{ cm.}}$$

(lebar roda gigi =  $L = 2,52 \text{ cm}$ ).

Jadi ukuran roda gigi pompa adalah :

$$m = \text{modulus} = 5 \text{ mm.}$$

$$Z = \text{banyak gigi} = 12 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{diameter pitch} = m \cdot Z \\ &= 5 \times 12 = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \text{tinggi gigi} = 2,2 \cdot m \\ &= 2,2 \times 5 = 11 \text{ mm} = 1,1 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \text{lebar roda gigi} = 25,2 \text{ mm} \\ &= 2,52 \text{ cm.} \end{aligned}$$

DAFTAR BACAAN

- B.M. Surbhakty, Motor Bakar I, Jakarta, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen P dan K, 1977.
- Colt T - 120, Buku Workshop Manual, Jakarta, Mitsubishi Motor Corporation.
- Lichty, Internal Combustion Engine, New York, Mc Graw - Hill Book Company, Inc.
- N. Petrovsky, Marine Internal Combustion Engine, Moscow, Mir Publisher.
- Obert. E. F. Internal Combustion Engine, Pensilvania, Third Edition, Internal Textbook Company, 1966.
- R. Hunt, Applied Heat, London, Heinemann Educational Books, 1979.
- V.L. Maleev, Internal Combustion Engine, Kogakusha, McGraw-Hill, Book Company. Inc
- Wiranto Arismunandar, Penggerak Mula, Motor Bakar Torak, Bandung, Penerbit ITB, 1983.