

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Radiator

Radiator memegang peranan penting dalam mesin otomotif (misal mobil). Radiator berfungsi untuk mendinginkan mesin. Pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin menyalurkan energi panas kedalam bentuk tenaga putar. Tetapi energi panas dari bahan bakar tidak sepenuhnya dapat dikonversikan kedalam bentuk tenaga. Hanya kurang lebih 25% dari energi yang dikonversikan menjadi tenaga. Kurang lebih 45% dari energi panas hilang menjadi gas buang atau gesekan dan 30% diserap oleh mesin itu sendiri. Panas yang diserap oleh mesin harus dikeluarkan ke udara sekeliling. Jika tidak maka akan menyebabkan mesin menjadi kelebihan panas dan akhirnya rusak. Sistem pendingan dipasang untuk mendinginkan mesin agar tidak kelebihan panas. Pendingan mesin biasanya menggunakan sistem pendinginan udara atau pendinginan air.

Pada umumnya mesin otomotif menggunakan sistem pendinginan air. Sistem pendinginan air lebih sulit dan lebih mahal dari pada sistem pendinginan udara. Tetapi sistem pendinginan air mempunyai beberapa keuntungan. Air pendingin mesin aman sebab ruang pembakaran dikelilingi oleh air pendingin (air ditambah macam - macam adiktif), yang juga sebagai peredam suara. Pada kendaraan sepeda motor maupun mobil radiator pada umumnya terletak

di depan dan berada di dekat mesin atau pada posisi tertentu yang menguntungkan bagi system pendinginan. Hal ini bertujuan agar mesin mendapatkan pendinginan yang maksimal sesuai yang dibutuhkan mesin. (heri-tugasakhir.blogspot.com).

B. Sistem Pendinginan Mesin

Motor bakar dalam operasionalnya menghasilkan panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar dalam silinder. Panas yang dihasilkan tadi tidak dibuang akibatnya komponen mesin yang berhubungan dengan panas pembakaran akan mengalami kenaikan temperatur yang berlebihan dan merubah sifat-sifat serta bentuk dari komponen mesin tersebut. Sistem pendinginan diperlukan untuk mencegah terjadinya perubahan tersebut. Sistem pendinginan yang biasa digunakan pada motor bakar ada dua macam yaitu : (Maleev, 1982)

1. Sistem Pendinginan Udara (*Air Cooling System*)

Pada Sistem pendinginan jenis udara, panas yang dihasilkan dari pembakaran gas dalam ruang bakar dan silinder sebagian dirambatkan keluar dengan menggunakan sirip-sirip pendingin yang dipasangkan di bagian luar dari silinder dan ruang bakar. Panas yang dihasilkan ini selanjutnya diserap oleh udara luar yang memiliki temperatur yang jauh lebih rendah daripada temperatur pada sirip pendingin. Bagian mesin yang memiliki temperatur tinggi memiliki sirip pendinginan yang lebih panjang daripada sirip pendingin yang terdapat di sekitar silinder yang bertemperatur lebih rendah. Udara yang berfungsi menyerap panas dari

sirip-sirip pendingin harus berbentuk aliran atau harus mengalir, hal ini dimaksudkan agar temperatur udara sekitar sirip lebih rendah sehingga penyerapan panas tetap berlangsung secara baik. Untuk menciptakan keadaan itu maka aliran udara harus dibuat dengan jalan menciptakan gerakan relatif antara sirip dengan udara. Keadaan ini dapat ditempuh dengan cara menggerakkan sirip pendingin atau udaranya. Ada dua kemungkinan: apabila sirip pendingin yang digerakkan berarti mesinnya bergerak seperti mesin -mesin yang dipakai pada sepeda motor secara umum. Untuk mesin-mesin yang secara konstruksi diam/stasioner dan mesin-mesin yang penempatannya sedemikian rupa sehingga sulit untuk mendapatkan aliran udara, udara yang dibutuhkan diciptakan dengan cara dihembuskan oleh blower yang dihubungkan langsung dengan poros engkol hasil putaran akibat langkah kerja siklus motor bakar. Penghambusan udara oleh *blower* hasil putaran poros engkol juga akan menciptakan aliran udara yang sebanding dengan kecepatan mesin sehingga pendinginan sempurna dapat terjadi pada mesin tersebut. (Maleev, 1982)

2. Sistem pendinginan Air (*Water Cooling System*)

Sistem pendinginan air panas yang berasal dari pembakaran gas dalam ruang bakar dan silinder sebagian diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi melalui dinding silinder dan ruang bakar. Keadaan ini dapat terjadi karena adanya mantel air pendingin (*water jacket*). Panas yang diserap oleh air pendingin pada mantel-mantel air selanjutnya akan menaikkan temperatur air pendingin tersebut. Jika air pendingin itu tetap

berada pada *water jacket* maka air itu cenderung akan mendidih dan menguap. Hal tersebut sangat merugikan, oleh karena itu untuk menghindarinya air tersebut disirkulasikan. Air yang memiliki temperatur yang masih dingin dialirkan mengganti air yang memiliki temperatur lebih panas dengan kata lain air yang lebih panas dialirkan keluar. (Maleev, 1982)

C. Sirkulasi Pendingin Air

Sirkulasi Pendingin Air secara garis besar ada 2 macam, yaitu:

1. Sirkulasi Alam (*Natural Circulation*)

Sistem pendinginan pada sirkulasi jenis ini, akan terjadi dengan sendirinya yang diakibatkan perbedaan berat jenis air panas dengan yang masih dingin, dimana air yang telah panas berat jenisnya lebih rendah daripada air yang masih dingin. Contohnya motor diesel selinder tunggal-horisontal berpendingin air. Pada saat air dalam tangki dipanaskan, maka air yang telah panas akan menempati bagian atas dari tangki dan mendesak air yang berada di atasnya segera mengalir ke pipa, air yang mengalir memasuki bagian bawah dari tangki dimana setelah dipanaskan air akan mengalir ke atas. (Maleev, 1982)

Air yang berada di dalam tangki pada mesin disamakan dengan air yang berada pada mantel-mantel air. Panas diambil dari panas hasil pembakaran di dalam silinder. Radiator dipakai untuk mengubah temperatur air pendingin yang panas menjadi lebih dingin, maka sebagai pembuang panas

air yang berada di dalam mantel-mantel air dipanaskan oleh hasil pembakaran di dalam ruang bakar dan silinder sehingga air tadi akan menyerap panas dan temperaturnya akan naik mengakibatkan turunnya berat jenis sehingga air tadi akan didesak ke atas oleh air yang masih dingin dari radiator. Air yang panas akan mengalir dengan sendirinya ke bagian atas radiator dimana selanjutnya temperaturnya akan turun karena telah dibuang sebagian oleh radiator. Pada saat yang bersamaan dengan turunnya air pada radiator juga terjadi pembuangan panas yang besar sehingga mempercepat turunnya air pada radiator. Turunnya air akan mendesak air yang telah panas dari mesin ke radiator bagian atas.

2. Sirkulasi dengan tekanan

Sirkulasi jenis ini hampir sama dengan sirkulasi jenis aliran hanya saja pada sirkulasi ini ditambahkan tekanan untuk mempercepat terjadinya sirkulasi air pendingin, pada sistem ini ditambahkan pompa air. Pompa air ini ada yang ditempatkan pada saluran antara radiator dengan mesin dimana air yang mengalir ke mesin ditekan oleh pompa, ada juga yang ditempatkan pada saluran antara mesin dengan radiator.

Sirkulasi jenis ini banyak digunakan pada mesin-mesin mobil karena dapat berlangsung dengan sempurna dan air yang berada di dalam mantel-mantel air tetap dalam keadaan penuh tanpa ada gelembung udara. Pada sirkulasi jenis ini kecenderungan air untuk mendidih sangatlah kecil sekali karena tekanannya melebihi tekanan atmosfer yang berarti titik didihnya akan berada jauh di atas 100°C . (Maleev, 1982)

D. Cara Kerja Radiator

Sistem sirkulasi sistem pendingin mesin dengan medium air adalah sebagai berikut: Ketika mesin baru akan dihidupkan (biasanya di pagi hari), suhu air pada radiator berkisar pada suhu ruang yaitu sekitar 23°C . Ketika mesin dinyalakan, air yang berada di dalam blok mesin bersirkulasi dengan bantuan pompa (water pump) melewati selang by pass tanpa melewati radiator. Karena lubang air menuju radiator masih ditutup oleh termostat, sementara itu lubang by pass yang letaknya berseberangan dengan lubang menuju radiator terbuka memungkinkan water pump mengalirkan air yang keluar dari blok mesin untuk kembali masuk ke dalam blok mesin untuk mendinginkan silinder, oli mesin dan kepala silinder. Fase ini disebut sebagai fase pemanasan dimana air yang bersirkulasi di dalam blok mesin sengaja tidak didinginkan agar suhu kerja mesin, berkisar di $85^{\circ}\text{-}90^{\circ}\text{C}$ cepat tercapai.

Ketika mesin mencapai suhu kerja, temperatur air pada sistem sirkulasi fase pendinginan pun naik hingga $85^{\circ}\text{-}90^{\circ}\text{C}$. Ketika air dengan temperatur tersebut sampai ke rumah termostat, termostat yang oleh pabrikan diset untuk membuka pada suhu antara $85^{\circ}\text{-}90^{\circ}\text{C}$ membuka, sehingga memungkinkan air dari blok mesin masuk ke radiator. Dengan membukanya termostat, ujung dari termostat tersebut menutup lubang by pass yang berseberangan dengan jalur keluar air. Dengan tertutupnya lubang by pass tersebut juga memungkinkan pompa air (water pump) untuk memompa air dari dalam radiator untuk menjaga temperatur kerja dari mesin tersebut. Air yang keluar dari blok mesin masuk ke radiator untuk didinginkan dengan

bantuan tiupan angin dari fan, baik mekanik maupun elektrik. Fase ini disebut fase pendinginan. Di saat mesin berkerja pada putaran rendah, suhu kerja mesin turun dari 85 °C, maka otomatis thermostat kembali menutup untuk menjaga temperatur air tidak berkurang dari suhu kerja mesin, dan akan membuka kembali ketika suhu tersebut tercapai kembali. Kedua fase ini berpindahan secara bergantian bergantung dari temperatur mesin itu sendiri. (fahurroziteknologi.blogspot.com).

E. Komponen - Komponen Sistem Pendinginan Air

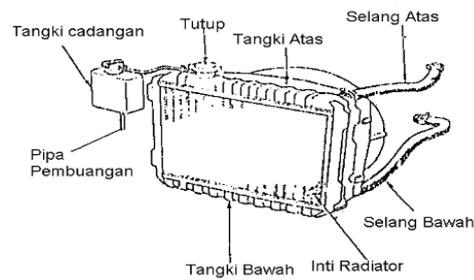
Sistem pendinginan air memiliki bagian-bagian yang bekerja secara integrasi satu dengan yang lainnya, komponen-komponen tersebut akan bekerja untuk mendukung kerja sistem pendinginan air, antara lain :

1. Radiator

Radiator adalah alat yang berfungsi untuk mendinginkan air yang telah menyerap panas dari mesin dengan cara membuang panas air tersebut melalui sirip-sirip pendinginnya. (Suprpto, 1999)

Konstruksi radiator terdiri dari:

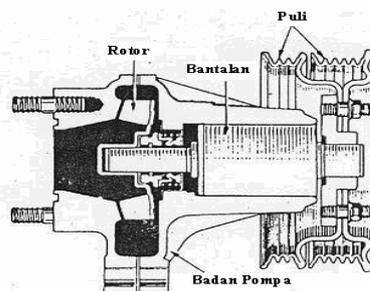
- a. Tangki atas
- b. Inti radiator
- c. Tangki Bawah
- d. Tutup Radiator



Gambar 1. Konstruksi radiator

2. Pompa Air

Alat ini berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin dengan jalan membuat perbedaan tekanan antara saluran isap dengan saluran tekan yang terdapat pada pompa. Jenis pompa air yang digunakan ialah pompa air sentrifugal. Pompa ini dapat berputar karena digerakkan oleh mesin melalui tali kipas (*V - Belt*). (Suprpto, 1999)



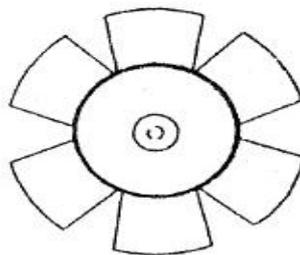
Gambar 2. Pompa air

3. Kipas

Kipas berfungsi untuk mengalirkan udara pada inti radiator agar panas yang terdapat pada inti radiator dapat dirambatkan dengan mudah ke udara. Pemasangan kipas biasanya dibagian depan dari poros pompa air sehingga putaran kipas sama dengan putaran pompa air yang selanjutnya menyebabkan aliran udara sesuai dengan putaran mesin. Untuk menyesuaikan antara kecepatan putar dari mesin dengan kecepatan

pengaliran udara yang dapat menyerap panas dari radiator, maka besar dan jumlah daun kipas dibuat sesuai dengan kebutuhan mesin untuk menghasilkan angin. (Remling, 1981)

Kipas pada konstruksi yang lain ada kalanya digerakkan menggunakan motor listrik, hal ini untuk mencegah terjadinya *over cooling*. Kerja dari motor listrik ini tergantung pada temperatur air pendingin yang mengatur aliran arus listrik dari baterai ke motor. Cara kerja dari sistem ini ialah apabila temperatur air pendingin naik mencapai 93° maka arus listrik akan mengalir yang mengakibatkan kipas akan berputar, dalam proses kerjanya sistem ini dilengkapi dengan relay dan *water temperatur switch* sebagai kontrol pengendalinya. Efek pendinginan yang maksimal terjadi pada jarak pemasangan radiator terhadap kipas pendingin yang berdekatan, hal ini timbul dikarenakan volume udara yang dihasilkan oleh kipas pendingin akan semakin besar. Jarak pemasangan radiator itu sendiri berpengaruh pada proses pendinginan. (Suprpto, 1999)

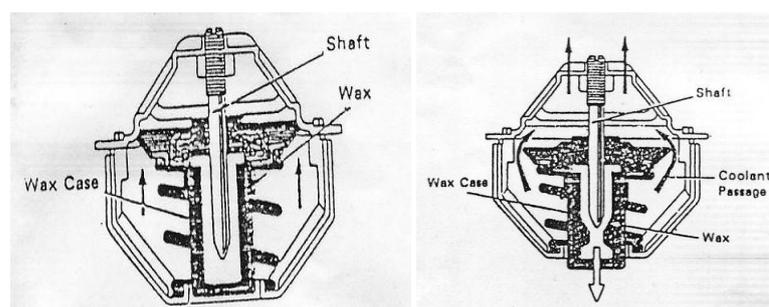


Gambar 3. Bentuk daun kipas

4. Katup Termostat

Secara ideal air pendingin bersirkulasi apabila suhu ideal mesin telah dicapai, dengan kata lain apabila air pendingin dibuat bersirkulasi pada

suhu masih rendah maka suhu air pendingin sukar mencapai idealnya. Untuk tujuan tersebut maka pada sistem pendingin dilengkapi dengan katup *thermostat* yang berfungsi sebagai penahan air pendingin pada suhu rendah dan membuka saluran air pendingin dari mesin ke radiator dan ke mesin pada saat mesin telah mencapai suhu idealnya. Pemasangan katup ini biasanya pada saluran air keluar dari mesin ke radiator yang dimaksudkan agar lebih mudah untuk melakukan proses kerjanya. Cara kerja dari katup thermostat ini ialah pada saat air pendingin suhunya masih rendah katup akan tetap pada posisi tertutup apabila temperatur air pendingin mulai naik sekitar 80°C sampai dengan 90°C lilin di dalam katup *thermostat* akan memuai dan menekan karet, keadaan ini akan mengubah bentuk dan menekan poros katup sehingga akan membuat posisi katup menjadi terbuka. Untuk mengatasi tekanan air yang berlebihan pada saat katup thermostat masih tertutup, maka dibuatkan saluran pintas (*by pass passage*) ke saluran pompa air. (Remling, 1981)



Gambar 4. Katup thermostat

5. Mantel Pendingin

Mantel pendingin dapat digambarkan secara sederhana sebagai sebuah ruangan yang berada disekeliling silinder mesin dan kepala silinder mesin. Keberadaan bagian ini berfungsi untuk mendinginkan silinder dan kepala silinder mesin. Proses pertukaran panas berlangsung pada bagian ini, dimana panas yang berada pada silinder dan kepala silinder mesin akan diserap oleh air yang bersirkulasi melewati bagian mantel air ini. Mantel pendingin ini secara konstruksi berhubungan dengan tangki radiator. (Maleev, 1982)

F. Cairan Pendingin

Fluida atau cairan pendingin yang biasa dipakai ialah air. Fluida ini dalam proses pendinginan akan bergerak atau disirkulasikan untuk mengambil panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin yang kemudian akan didinginkan pada radiator. Namun sebagai media penyerap panas, air ini mempunyai beberapa efek yang merugikan, antara lain:

1. Air nantinya akan menimbulkan endapan kotoran pada saluran pendingin dan *water jacket*, kerusakan itu dapat berbentuk korosi/karat yang dalam jangka waktu yang relatif lama akan menimbulkan kerusakan.
2. Air mempunyai sifat akan membeku pada temperatur yang rendah, keadaan ini tentunya akan menyebabkan sirkulasi mengalami gangguan atau masalah.

3. Air juga berpotensi mengandung kapur yang dapat menyebabkan endapan dalam pipa-pipa radiator. Keadaan ini tentunya akan mengakibatkan penyumbatan pipa-pipa tersebut.

G. Efektifitas Radiator

Metode perhitungan pada penelitian ini menggunakan rumus metode efektifitas pendinginan. Metode efektifitas mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisa perbandingan berbagai jenis penukar kalor dalam memilih jenis yang terbaik untuk melaksanakan pemindahan kalor tertentu. Efektifitas penukar kalor (*Heat Exchange Effectiveness*) didefinisikan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} = \dots \dots \dots (1)$$

(Holman, 1999)

Untuk perpindahan kalor yang sebenarnya (*actual*) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas/energi yang diterima oleh fluida dingin untuk penukar kalor aliran lawan arah.

$$q = m_h \cdot c_h (T_{h1} - T_{h2}) = m_c \cdot c_c (T_{c1} - T_{c2}) \dots \dots \dots (2)$$

- Dimana :
- q = laju perpindahan panas
 - m_h = laju aliran fluida panas
 - m_c = laju aliran fluida dingin
 - C_h = kalor spesifik fluida Panas
 - C_c = kalor spesifik fluida dingin
 - T_{h1} = suhu masuk fluida panas
 - T_{h2} = suhu keluar fluida panas

T_{c1} = suhu masuk fluida dingin

T_{c2} = suhu keluar fluida dingin

Untuk menentukan perpindahan kalor maksimum bagi penukar kalor itu harus dipahami bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan suhu sebesar beda suhu maksimum yang terdapat dalam penukar kalor itu, yaitu selisih suhu masuk fluida panas dan fluida dingin.

Fluida yang mungkin mengalami beda suhu maksimum ini ialah yang laju aliran fluida dinginnya minimum, syarat keseimbangan energi bahwa energi yang diterima oleh fluida yang satu mesti sama dengan energi yang dilepas oleh fluida yang lain. Jika fluida yang mengalami nilai laju aliran fluida dinginnya lebih besar yang dibuat, maka mengalami beda suhu yang lebih besar dari maksimum, dan ini tidak dimungkinkan. Jadi perpindahan kalor yang mungkin dinyatakan sebagai:

$$q_{mak} = (m_c) m_{in} (T_h \text{ masuk} - T_c \text{ masuk}) \dots \dots \dots (3)$$

Perhitungan efektifitas dengan fluida yang menunjukkan nilai fluida pendingin yang minimum, untuk penukar kalor lawan arah maka:

$$\varepsilon = \frac{m_h \cdot C_h (T_{h1} - T_{h2})}{m_h \cdot C_h (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{(T_{h1} - T_{h2})}{(T_{h1} - T_{c2})} \dots \dots \dots (4)$$

$$\varepsilon = \frac{m_c \cdot C_c (T_{c1} - T_{c2})}{m_h \cdot C_h (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{(T_{c1} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c2})} \dots \dots \dots (5)$$

Secara umum efektifitas dapat dinyatakan secara umum sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\Delta T \text{ (fluida minimum)}}{\text{beda suhu maksimum di dalam penukar kalor}} = \dots \dots \dots (6)$$

Jika fluida dingin adalah fluida minimum, maka:

$$\varepsilon = \frac{(T_{c2}-T_{c1})}{(T_{h1}-T_{c1})} \dots\dots\dots(7)$$

Penyederhanaan rumus di atas dilakukan dengan alasan bahwa penelitian ini hanya mengambil data berdasarkan suhu yang bekerja tanpa memperhitungkan nilai m (laju aliran massa) dan c (kalor spesifik).

H. ALIRAN FLUIDA

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Pemakaian mekanika kepada medium kontinu, baik benda padat maupun fluida adalah didasari pada hukum gerak Newton yang digabungkan dengan hukum gaya yang sesuai.

Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi -bagi fluida tersebut menjadi elemen volume yang sangat kecil yang dapat dinamakan partikel fluida dan mengikuti gerak masing-masing partikel ini. Suatu massa fluida yang mengalir selalu dapat dibagi-bagi menjadi tabung aliran, bila aliran tersebut adalah tunak, waktu tabung-tabung tetap tidak berubah bentuknya dan fluida yang pada suatu saat berada didalam sebuah tabung akan tetap berada dalam tabung ini seterusnya. Kecepatan aliran di dalam tabung aliran adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik dengan luas penampangnya. (wikipedia prinsip bernoulli)

Debit aliran yang dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran yang melalui saluran terbuka dimana rumus debit aliran.

$$Q = A \cdot v \dots \dots \dots (8)$$

Dimana : Q adalah debit aliran (m^3/s)

v adalah kecepatan aliran (m/s)

A adalah luas penampang (m^2)

Diasumsikan luas penampang permukaan adalah dinding radiator