

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Radiator

Radiator merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu medium ke medium lainnya dengan tujuan mendinginkan maupun memanaskan. Radiator yang kita kenal pada umumnya digunakan pada kendaraan bermotor baik roda dua maupun roda empat. Namun tidak jarang radiator juga digunakan pada mesin yang memerlukan pendinginan ekstra seperti pada mesin-mesin produksi atau mesin lain yang bekerja dalam kondisi berat atau lama. Pada kendaraan baik motor atau mobil, radiator pada umumnya terletak di depan dan berada di dekat mesin atau pada posisi manapun yang menguntungkan bagi sistem pendinginan. Hal ini bertujuan agar mesin mendapatkan pendinginan yang maksimal sesuai yang dibutuhkan mesin sehingga performa kendaraan prima. (<https://id.wikipedia.org/wiki/Radiator> diakses pada tanggal 06 Juni 2017).

Fungsi radiator pada sepeda motor adalah sebagai komponen pendingin agar performa kuda besi tetap tinggi sekaligus efisien. Oleh karena itu radiator motor sering disebut dengan *cooling system*. Panas yang dihasilkan mesin diserap oleh cairan atau *radiator coolant*. Lalu, cairan panas ini akan didorong menuju radiator. Di komponen yang terbuat dari banyak pipa kecil ini, cairan akan tersebar. Karena banyak sirip yang dilalui angin, maka suhu otomatis turun. Kemudian, cairan yang sudah didinginkan akan berputar kembali ke dalam mesin.

Radiator terdiri dari tangki air bagian atas (*upper tank*), tangki bagian bawah (*lower water tank*) dan *radiator core* pada bagian tengahnya. Jika cairan sudah bersirkulasi namun suhu tetap tinggi, maka kinerja radiator akan dibantu *extra fan* atau kipas tambahan. Fungsinya, tentu untuk menyedot udara dari depan radiator, sehingga pendinginan bisa berlangsung dengan maksimal. (<https://id.wikipedia.org/wiki/Radiator> diakses pada tanggal 02 Juli 2017).

Komponen-komponen radiator dijelaskan lebih banyak yakni:

1. Tutup Radiator.

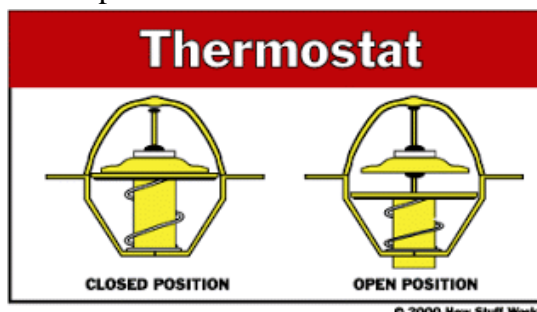
Komponen berfungsi untuk menaikkan titik didih air pendingin dengan jalan menahan ekspansi air pada saat air menjadi panas sehingga tekanan air lebih tinggi dari tekanan udara luar. Selain fungsi tersebut, komponen ini juga berfungsi untuk mempertahankan air pendingin di dalam sistem agar tetap penuh walaupun mesin dalam keadaan panas atau dingin. Agar fungsi tersebut terjaga maka tutup radiator dilengkapi dengan *relief valve* dan *vacum valve*.



Gambar 1 Tutup Radiator

2. Thermostat

Komponen ini berfungsi untuk mempercepat terjadinya suhu kerja pada mesin saat mesin masih dingin dan juga berfungsi untuk mempertahankan mesin selalu pada suhu kerjanya. *Thermostat* yang ada pada radiator motor biasanya dipasang antara radiator dan sirkuit pendingin. Komponen ini bekerja seperti katup otomatis yang bekerja berdasarkan panas, dimana pada waktu dingin katup akan menutup dan pada waktu panas katup akan terbuka.



Gambar 2 Thermostat

3. Kipas Pendingin Pada Radiator Motor.

Radiator pada motor didinginkan oleh aliran udara luar yang mengalir melewati sirip-siripnya. Pada saat kendaraan berhenti aliran udara tidak akan cukup untuk mendinginkan radiato. Hal yang harus diperhatikan untuk mengatasi masalah ini maka dibelakang radiator dipasang kipas pendingin untuk membantu agar aliran udara selalu cukup untuk mendinginkan radiator.



Gambar 3 Kipas Radiator Standart

4. Tangki Cadangan

Disebut juga dengan *reservoir* yang dihubungkan ke radiator melalui selang *overflow*. Komponen ini memiliki fungsi untuk menjaga agar volume air pendingin yang ada pada radiator tetap dalam keadaan stabil.



Gambar 4 Tangki Cadangan

5. Pompa Air atau *water pump*

Merupakan komponen dengan fungsi mensirkulasikan air pendingin dengan jalan membuat perbedaan tekanan anantara saluran hisap dengan saluran tekanan yang terdapat pada pompa. Pompa yang umumnya digunakan pada radiator motor adalah tipe sentrifugal.



Gambar 5 Water pump

6. Selang Radiator

Memiliki fungsi sebagai penghubung antara radiator dan blok mesin. Selang radiator ada 2 yaitu *upper hose* berfungsi mengalirkan air panas dari mesin ke radiator, dan yang kedua ada *lower hose* berfungsi untuk menyalurkan air yang sudah didinginkan kembali ke mesin.



Gambar 6 Selang Radiator

7. *Water Jacket* Pada Radiator Motor.

Water jacket merupakan komponen terakhir yang ada pada radiator yang memiliki fungsi sebagai saluran-saluran tempat air mengalir di blok mesin. (<https://camargus.com/magazine/283> diakses pada tanggal 06 Juni 2017)



Gambar 7 *Water Jacket* Radiator

2.2 Prinsip Kerja Radiator Sebagai Pembuangan Panas Mesin

Panas mesin terpusat pada ruang bakar/silinder yang merupakan hasil dari proses pembakaran udara dan bahan bakar. Panas di ruang mesin ini dipindahkan dari sisi dalam silinder ke *water jacket* secara konduksi. Kemudian panas pada *water jacket* diteruskan ke fluida pendingin atau air radiator secara konveksi, akibatnya air menjadi panas. Air pendingin yang telah panas ini disirkulasikan menuju radiator untuk didinginkan lagi agar mampu menyerap panas kembali.

Air panas masuk radiator ke *upper tank* melalui *upper hose*, selanjutnya ke *lower tank* melalui pipa kapiler pada inti radiator dan keluar dari *lower tank* melalui *lower hose* sudah berupa air dingin. Air yang telah didinginkan tersebut kembali disirkulasikan ke sepanjang *water jacket* dan melakukan penyerapan panas kembali seperti diuraikan di atas.

Proses pembuangan panas air radiator terjadi pada inti radiator. Air panas yang mengalir pada *tube* memindahkan panas dari air radiator ke permukaan dalam *tube* secara konveksi. Panas selanjutnya dipindahkan dari permukaan dalam ke permukaan luar *tube* secara konduksi, dan diteruskan lagi dari permukaan luar *tube* ke *fin* (kisi-kisi radiator) secara konduksi juga. Panas dari *fin* radiator di pindahkan ke udara luar secara konveksi (*Made Ricki Murti, 2008*).

2.3 Proses Pembuangan Panas pada Radiator

Besar pembuangan panas radiator adalah suatu nilai yang menunjukkan besarnya panas pada air radiator yang dapat dibuang ke udara luar. Persamaan yang digunakan untuk menghitung adalah (*Made Ricki Murti, 2008*):

$$q = m \cdot C_p (T_{h, in} - T_{h, out})$$

Keterangan:

q	= Laju perpindahan panas (W)
m	= Laju aliran massa air (kg/s)
C _p	= Kalor spesifik fluida air (kJ/kg °C)
T _{h, in}	= Temperatur air saat memasuki radiator (K)
T _{h, out}	= Temperatur air saat keluar radiator (K)

Perpindahan panas yang terjadi pada mesin radiator merupakan perpindahan energi dari suatu daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antar daerah tersebut. Pada mesin radiator, perpindahan panas terjadi melalui 2 cara yaitu:

1. Konduksi.

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan energi yang terjadi pada media padat atau fluida yang diam sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Hal ini merupakan perpindahan energi dari partikel yang lebih enerjik ke partikel yang kurang enerjik pada benda

akibat interaksi antar partikel partikel. Energi ini di hubungkan dengan pergerakan translasi, sembarang, rotasi dan getaran dari molekul molekul. Temperatur lebih tinggi berarti molukul lebih berenergi memindahkan energi ke temperatur lebih rendah (kurang energi). Untuk konduksi panas, persamaan aliran dikenal dengan hukum *Fourier (Made, 2008)*.

Jika kondisi pada dinding datar laju perpindahan panas satu dimensi adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{kond}} = -K.A \frac{dT}{dx}$$

Keterangan:

Q_{kond} = Besar laju perpindahan panas konduksi (W)

K = Konduktivitas thermal Bahan (W/m.K)

A = Luasan Permukaan perindahan panas (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = Temperatur Gradient

(-) =Perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperaturerendah

2. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan padat dan fluida yang bergerak atau mengalir akibat adanya temperatur. Secara umum konveksi dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

- 1) Konveksi bebas (*free convection*) atau natural konveksi, yaitu konveksi dimana aliran fluida terjadi bukan karena dipaksa oleh suatu alat, tetapi disebabkan karena gaya apung (*bouyancy force*).
- 2) Konveksi paksa (*force convection*) yaitu konveksi yang terjadi dimana aliran fluida disebabkan oleh peralatan bantu *fan, blower* dan lain-lain.
- 3) Konveksi dengan perubahan fase, yaitu sama seperti pendidihan (*boiling*) dan pengembunan (kondensasi).

Persamaan laju perpindahan panas secara konveksi menggunakan rumus di bawah ini: (*Made Ricki Murti, 2008*)

$$T_s > T_\infty \text{ adalah : } Q_{\text{konv}} = hA (T_s - T_\infty)$$

Keterangan:

Q_{konv} = Besar laju perpindahan panas konveksi (W)

h = Koefisien konveksi (W/m^2K)

A = Luasan permukaan perpindahan panas (m^2)

$(T_s - T_\infty)$ = Perbedaan Temperatur (K)

Persamaan diatas disebut dengan hukum *Newton* pendinginan atau *Newton`s Law of Cooling*.

2.4 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*).

Sirkulasi pendingin air secara garis besar ada 2 macam, yaitu:

1. Sirkulasi Alam (*Natural Circulation*)

Sistem pendinginan pada sirkulasi jenis ini, terjadi diakibatkan oleh 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 temperturnya 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 temperturnya 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 motor 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 diatas 100°C (Maleev, 1982).

2.5 Cairan Pendingin pada Radiator

Cairan pendingin atau fluida yang digunakan pada radiator adalah air. Fluida ini dalam proses pendinginan akan bergerak atau disebut oksidasi untuk mengambil panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin dan kemudian akan didinginkan pada radiator. Namun sebagai media penyerap panas, radiator memiliki efek yang merugikan juga yang diantaranya (<http://www.ilmuteknikmesin.com/2016/11/sistem-pendinginan-pada-mesin.html?m=1>, tanggal 11 mei 2017):

1. Air nantinya akan menimbulkan endapan kotoran pada saluran pendingin dan water jacket, kerusakan itu berbentuk korosi atau karat yang dalam jangka waktu lama akan menimbulkan kerusakan.

2. Air mempunyai sifat akan membeku pada temperatur yang rendah keadaan ini tentunya akan menyebabkan sirkulasi mengalami masalah atau gangguan.
3. Air juga berpotensi mengandung zat kapur yang dapat menyebabkan endapan pada pipa-pipa radiator, keadaan ini tentunya akan mengakibatkan penyumbatan pipa-pipa tersebut

2.6 Kecepatan Air pada Radiator

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir bisa berupa cairan atau gas. Pemakaian mekanika kepada medium continue, 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 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 lunak, waktu tabung-tabung tidak berubah bentuknya dan fluida yang pada suatu saat berada di dalam tabung akan tetap berada di dalam tabung seterusnya. Kecepatan aliran di dalam tabung adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik dengan penampangnya.

2.7 Inti Radiator dan Pipa

Inti radiator berfungsi untuk membuang panas dari air ke udara agar suhu air lebih rendah dari sebelumnya. Inti radiator terdiri dari pipa-pipa air untuk mengalirkan air dari tangki atas ke tangki bawah dan sirip-sirip pendingin untuk membuang panas air dalam pipa-pipa air. Udara juga dialirkan diantara sirip-sirip pendingin agar pembuangan panas secepat mungkin. Warna inti radiator dibuat hitam agar perpindahan panas radiasi dapat terjadi sebesar mungkin. Besar kecilnya inti radiator tergantung pada kapasitas mesin dan jumlah pipa-pipa air dan sirip-siripnya (SMK: 2004).

Inti radiator (radiator core) terdiri dari pipa-pipa (tubes) dimana cairan pendingin melaluinya dari upper ke lower tank dan juga dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin (*fin*). Panas cairan pendingin pertama diserap oleh *fin*, yang didinginkan oleh fan dan udara akibat gerakan kendaraan (Sukisno, 2014).

2.8 Efektivitas Penyerapan Panas pada Radiator

Effectiviteit dalam Bahasa Indonesia menjadi efektivitas dengan kata dasar yakni kata “efektif” (<http://www.tipepedia.com/2015/08/teori-efektivitas-menurut-pendapat-para.html?m=1#>, diakses pada tanggal 5 April 2016). Kamus Besar Bahasa Indonesia (2012) mendefinisikan efektif dengan ada efeknya (akibatnya, pengaruhnya, kesannya); manjur atau mujarab (tentang obat); dapat membawa hasil; berhasil guna (tentang usaha, tindakan); mangkus; mulai berlaku (tentang undang-undang, peraturan); keadaan berpengaruh; hal berkesan; kemanjuran; kemujaraban (tentang obat); keberhasilan (tentang usaha, tindakan); kemangkusan; hal yang mulai berlakunya (tentang undang-undang dan peraturan).

Sedangkan efektivitas bila dilihat dari pengertian istilah berarti pencapaian target output yang diukur dengan cara membandingkan output anggaran atau seharusnya (OA) dengan output realisasi atau sesungguhnya (OS), jika $(OA) > (OS)$ disebut efektif (*Schemerhon John R. Jr., 1986*). Kemudian pengertian efektifitas menurut Prasetyo Budi Saksono (1984) adalah efektifitas adalah seberapa besar tingkat kelekatan output yang dicapai dengan output yang diharapkan dari sejumlah input.

Berdasarkan hal tersebut maka untuk mencari tingkat efektifitas dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efektifitas} = \text{Output Aktual} / \text{Output Target} \geq 1$$

- Jika output aktual berbanding output yang ditargetkan lebih besar atau sama dengan 1 (satu), maka akan tercapai efektifitas.
- Jika output aktual berbanding output yang ditargetkan kurang daripada 1 (satu), maka efektifitas tidak tercapai (<https://dansite.wordpress.com/2009/03/28/pengertian-efektifitas/>)

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 dengan mesin radiator dilihat dari kemampuannya dalam menyerap panas mesin

(Holman,1999 :498 dalam Nazaruddin). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor maksimum yang mungkin}}{\text{Perpindahan kalor nyata}}$$

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:

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

Keterangan:

- q = perpindahan panas (watt)
- m = laju aliran massa (m^3/s)
- ch = kalor spesifik fluida Panas ($J/kg^\circ C$)
- cc = kalor spesifik fluida dingin ($J/kg^\circ C$)
- T_{h1} = suhu masuk fluida panas ($^\circ C$)
- T_{h2} = suhu keluar fluida panas ($^\circ C$)
- T_{c2} = suhu masuk fluida dingin ($^\circ C$)
- T_{c1} = suhu keluar fluida dingin ($^\circ C$)

Perpindahan kalor yang dimungkinkan dinyatakan:

$$q_{\text{mak}} = (mc)_{\text{min}} (T_{h \text{ masuk}} - T_{c \text{ masuk}})$$

Perhitungan efektivitas dengan fluida yang menunjukkan nilai mc yang minimum untuk penukar kalor lawan arah maka:

$$\varepsilon_h = \frac{m_h c_h (T_{h1} - T_{h2})}{m_h c_h (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad \varepsilon_c = \frac{m_h c_h (T_{h1} - T_{h2})}{m_h c_h (T_{h1} - T_{c2})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c2}}$$

Secara umum efektivitas dapat dinyatakan sebagai:

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

Jika fluida dingin ialah fluida minimum, maka

$$\varepsilon = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}}$$

Keterangan:

- ε = efektivitas penyerapan panas
- T_{h1} = suhu masuk fluida panas (°C)
- T_{h2} = suhu keluar fluida panas (°C)
- T_{c2} = suhu masuk fluida dingin (°C)
- T_{c1} = suhu keluar fluida dingin (°C)

