

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Penukar Kalor

Penukar kalor adalah suatu alat yang dapat memindahkan atau mentransfer energi kalor yang ada pada satu sisi ke sisi lain. Energi atau kalor yang ditransfer di akibatkan oleh berbagai hal misalnya adanya perbedaan temperatur yaitu dari sistem yang bertemperatur tinggi ke sistem temperatur rendah. Pokok pembahasan ini lebih di tekankan kepada penukar kalor di idealisasikan tanpa adanya aliran massa sehingga dapat dianalogikan sebagai potensial penggerak perpindahan energi kalor. Bila suhu terlalu tinggi, mesin akan mengalami over heating dan tidak dapat bekerja secara normal. Hal ini tentu saja mempengaruhi pada material pada komponen berdekatan dengan ruang bakar. Di sinilah peran radiator sebagai sistem penjaga suhu mesin agar mesin tetap bekerja secara optimal dan awet.

Pemilihan cairan radiator yang tidak tepat dapat menimbulkan kerak, korosi, dan kotoran pada radiator. Hal ini dapat menyumbat bagian-bagian radiator yang menjadikan sirkulasi cairan tidak berjalan lancar. Padahal kelancaran sirkulasi air pengisian radiator sangat berpengaruh pada sistem kerja radiator saat mesin dalam keadaan bekerja. Dengan memilih cairan pengisi radiator yang tepat mesin dapat bekerja maksimal dalam jangka waktu yang panjang.

Sistem pendingin pada mobil berfungsi untuk menurunkan temperatur pada mesin yang terjadi akibat pembakaran dari ruang bakar. Sistem pendingin pada mesin mobil menggunakan suatu alat yaitu berupa Radiator. Permasalahan yang akan di kaji dalam Tugas Akhir ini adalah seberapa besar pengaruh

kecepatan aliran udara terhadap efektifitas radiator pada mesin mobil ISUZU PANTHER 2500cc.

2.2 Radiator

Alat penukar kalor ini dikenal dengan istilah radiator dan biasanya digunakan sebagai Alat Penukar Kalor yang bekerja untuk mendinginkan panas di sekelilingnya yang pada umumnya digunakan oleh berbagai kendaraan. Salah satu tipe radiator yang digunakan sebuah mobil dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Radiator

Tipe radiator ini menunjukkan aliran vertikal pada perubahan temperatur dimana perbandingan aliran fluida lain lebih kecil dari perbedaan temperatur. Dari gambar di atas pada dasarnya pembuatan radiator sama halnya dengan penggunaan dalam pendingin atau pendingin udara. Selain pada kendaraan, radiator mempunyai fungsi yang sama pada alat pendingin minyak pesawat terbang, dimana pembuatan alat premiumnya kecil. Umumnya radiator di

tempatkan di bagian depan mesin kendaraan. Sebuah radiator terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut :

- 1) Suatu inti/tabung yang dibuat dari tembaga dan aluminium dibentuk oleh sejumlah pipa dengan rusuk-rusuk untuk melewatkan zat pendingin.
- 2) Dua buah tangki air yang disambungkan pada kedua ujungnya (dibawah dan diatas) berguna untuk :
 - a. Mendistribusikan zat pendingin setiap saat melalui semua tabung/pipa penyalur.
 - b. Menghubungkan saluran-saluran dari radiator dan dari mesin.
 - c. Mengisi dan menguras jika di perlukan.

Dua braket pada masing-masing inti/pusat disolder atau di pasang pada ujung kedua tangki. Lengan pemasang di perlukan agar pemasangan yang fleksibel menghubungkan kemesin. Radiator menerima air yang telah menjadi panas dari mesin, air panas mengalir melalui pipa dan menyemburkan panasnya keudara luar melalui sirip-sirip. Posisi radiator pada kendaraan tergantung pada posisi mesin, tetapi dalam beberapa hal aliran udara keluar perlu untuk efisiensi kerja. Pada kendaraan mesin depan biasanya radiator diletakkan didepan mesin dalam posisi terbuka untuk sirkulasi udara melalui kisis-kisi di depan kendaraan, bentuk radiator bisa merupakan *jenis aliran vertikal* atau *jenis aliran horizontal*.

2.2.1. Jenis aliran vertikal

- 1) Air mengalir dari tangki atas melalui bahan bagian tengah ke tangki bawah.
- 2) Pada umumnya kedalaman core/inti kurang dari lebarnya, jenis ini di pasang di bawah garis batas dari kendaraan.

- 3) Pada jenis ini baut pengikat /pemasang di himpitkan ke penopang dalam.

Gambar. 2.2 Radiator Aliran Pertikal

2.2.2. Jenis aliran horizontal

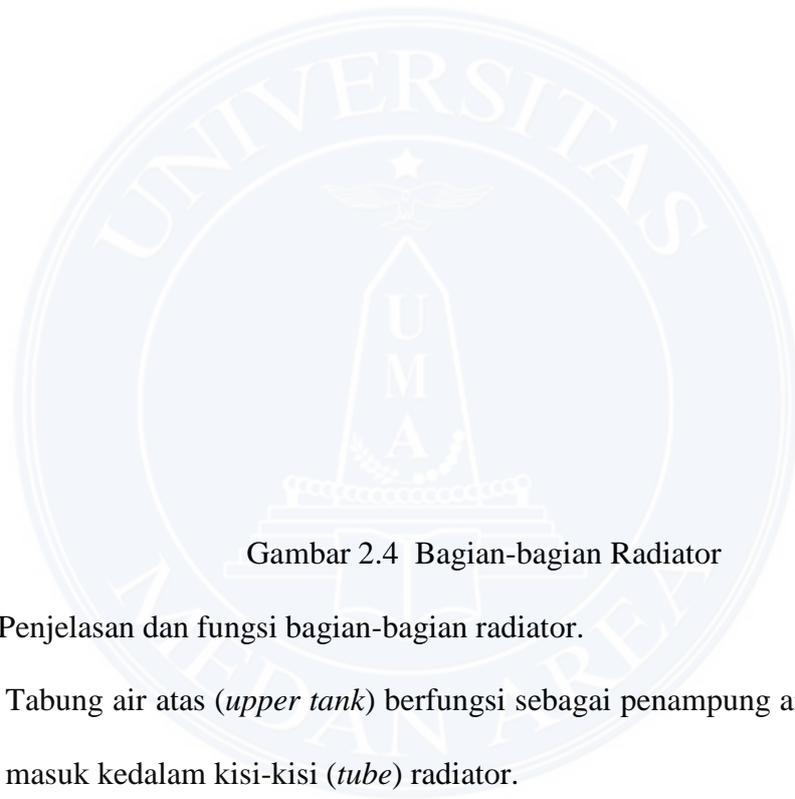
- 1) Air mengalir dari satu sisi yang lain dari radiator.
- 2) Kedalaman rusuk/core kung dibanding lebarnya sehingga dapat dipasang di bawah garis batas terendah pada kendaraan.
- 3) Baut pengikat atas dan bawah terletak diantara penopang dalam.

Gambar. 2.3 Radiator Aliran Horizontal

2.3 Bagian-Bagian Radiator

- 1) Tabung air atas (*upper tank*)
- 2) Tabung air bawah (*lower tank*)

- 3) Sambungan pipa atas
- 4) Sambungan pipa bawah
- 5) Kisi-kisi (*tube*)
- 6) Sirip-sirip (*fin*)
- 7) Tutup radiator
- 8) Kran pembuangan (*drain cock*)



Gambar 2.4 Bagian-bagian Radiator

2.3.1. Penjelasan dan fungsi bagian-bagian radiator.

- 1) Tabung air atas (*upper tank*) berfungsi sebagai penampung air sebelum air masuk kedalam kisi-kisi (*tube*) radiator.
- 2) Tabung air bawah (*lower tank*) berfungsi sebagai penampung air dari kisi-kisi (*tube*) radiator.
- 3) Sambungan pipa atas berfungsi sebagai jalan masuk air ke radiator.
- 4) Sambungan pipa bawah berfungsi sebagai jalan masuk air ke radiator.
- 5) Kisi-kisi (*tube*) dengan memiliki konstruksi pipa memanjang di harapkan air dapat mentransferkan panasnya dengan efisien.

- 6) Sirip-sirip (*fin*) berfungsi untuk membuat turbulensi udara di sekitar kisi-kisi (tube) agar pendinginan air lebih efisien.
- 7) Tutup radiator berfungsi untuk menutup radiator serta mengatur dan menaikkan tekanan dalam sistem pendingin.
- 8) Kran pembuang (*drain cock*) berfungsi untuk membuang air yang ada didalam radiator.

2.4 Tinjauan Tentang Analisis

Dalam judul tugas sarjana ini, penulis telah menegaskan ingin menganalisa sebuah radiator yang akan di gunakan pada sebuah mobil ISUZU PANTHER 2500cc, maka untuk itu kita harus meninjau dulu lebih dalam tentang radiator.

Adapun hal-hal yang perlu kita ketahui tentang radiator yaitu :

- 1) Panas yang diserap oleh air.
- 2) Bahan utama radiator.
- 3) Saluran radiator.

1. Panas yang di serap oleh air.

Panas yang di serap oleh air (media pendingin) dari ruang bakar gas pembakaran haruslah di buang ke udara secepat mungkin. Untuk itu air harus di sirkulasikan melalui radiator, yang biasanya di letakkan di depan mesin. Sirkulasi pendingin dapat di efektifkan dengan menggunakan pompa yang di susun sedemikian rupa sehingga pengembangan air dan konsekuensinya yang terus meningkat menyebabkan air tersebut bersirkulasi.

Jumlah panas yang di serap oleh lapisan air akan mengalami peningkatan seiring engan kecepatan dan beban mesin. Dalam radiator panas haruslah di pindahkan pertama kali dari logam inti ke udara, dan dalam kasus laju transfer ini

akan di reduksi oleh yang di sebut pembentukan film. Hal ini sama dengan bantalan yang di lumasi dengan molekul pelumas akan kontak dengan logam tersebut, sehingga dalam inti radiator lapisan film dan udara berbentuk pada sisi lembaran logam dan juga molekul yang tidak bergerak serta panas akan dapat melewati lapisan konduksi.

Lapisan perpindahan panas yang dibuang oleh permukaan radiasi akan tergantung kepada :

- 1) Laju sirkulasi air.
- 2) Kecepatan udara yang melewati permukaan radiasi.
- 3) Kedalaman inti radiator.
- 4) Perbandingan permukaan radiasi langsung atau tidak langsung.

Pada sirkulasi air pembuangan panasnya harus sebanding dengan faktor yang di tentukan oleh panas yang disuplay, tetapi dengan peningkatan kecepatan dari sirkulasi laju perbandingan panas akan terus meningkat.

2. *Bahan utama radiator.*

Bahan radiator adalah terbuat dari tembaga dan kuningan, dimana material ini di gunakan atas perkiraan konduktifitas thermalnya yang sangat tinggi serta resistensinya terhadap korosi dan juga kekasarannya yang mempermudah untuk bersirkulasi pada inti radiator. Bahan kuningan diperkirakan jauh lebih ulet dari pada tembaga sehingga memilihnya sebagai bahan yang akan di gunakan untuk pipa atau tabung. Selain tembaga atau kuningan masih ada logam lain yang mempunyai sifat konduktifitas thermal yang sangat bagus yaitu perak, namun dari segi ekonomisnya material ini tidak mungkin untuk di gunakan, karena merupakan pemborosan yang sangat sia-sia dan percuma.

Tabel di bawah ini mencantumkan berbagai material yang di gunakan radiator dan coolant. Perhatikan daya konduksi panas dan 50/50 (anti/freeze/air), terlihat air adalah konduktor panas yang lebih baik. Pada data lain terlihat bagaimana air dapat '*membawa*' dan '*membuang*' panas lebih banyak dari pada coolant lainnya.

Tabel 2.1 Properti Panas Material Sistem Pendingin

3. Saluran radiator.

Dalam sistem pendingin yang terkontrol, air akan di lewatkan melalui radiator yang di kembalikan langsung melalui pompa kedalam mesin untuk mendinginkan ruang bakar. Dan lebih jelasnya dapat di tunjukkan skema dari intalasi siklusnya pada gambar berikut :

Gambar 2.5 Siklus pendinginan radiator pada motor bakar

Jadi dinding pendinginan memiliki luas yang sama, kontak dengan udara panas pada sisi dalam dan udara atmosfer pada sisi luar, maka terlihat kecenderungan antara suhu atmosfer dengan suhu rata-rata didalam tabung. Akan tetapi jauh lebih tinggi untuk memudahkan pendinginan dalam mesin terlaksana secara merata untuk semua bagian blok silinder tersebut. Oleh karena itu bila katup di dalam outlet pada radiator yang tertutup oleh thermostat, maka tekanan akan di bangun oleh pompa dan katup tersebut, sehingga selang untuk by pass akan terbuka secara otomatis dan kemudian akan di teruskan melalui radiator, pompa, begitu juga sebaliknya prosesnya berulang-ulang selama berlangsungnya proses pendinginan tersebut, untuk uang lebih jelasnya seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.

Gambar 2.6 Siklus tertutup pada alat penukar kalor yaitu radiator.

2.5 Dasar-Dasar Perhitungan

Sebagai dasar perhitungan dalam perencanaan adalah dukungan dari persamaan-persamaan yang di butuhkan dan dilengkapi dengan topik analisa. Adapun topik dan persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

2.5.1 Proses-proses Pemindahan Panas

Proses-proses pemindahan panas dapat di kenal dengan tiga macam yaitu :

- 1) Konduksi
- 2) Konveksi
- 3) Radiasi

2.5.1.1. Konduksi

Konduksi adalah proses pemindahan panas yang mengalir dari suatu sistem yang suhunya lebih tinggi dari suatu sistem yang suhunya lebih rendah melalui suatu media yaitu : padat, cair dan gas atau sistem yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Sebagai dasar dari perpindahan panas secara

konduksi yang menurut ahli matematika fisika bangsa prancis yaitu **Joseph.B.Fourier**, dimana hubungan antara laju aliran panas dengan cara konduksi suhu bahan dapat diperoleh dari persamaan yaitu (Holman.J.P.)

$$q = -kA \frac{\partial t}{\partial x} \quad (2.1)$$

Persamaan hukum fourier tentang konduksi kalor

Dimana : q = Laju perpindahan kalor (Watt)

k = Konduktifitas thermal bahan (W/m.K)

A = Luas penampang aliran panas konduksi yang di ukur tegak lurus terhadap arah aliran (m^2).

$\frac{\partial t}{\partial x}$ = Gradien suhu kearah perpindahan kalor yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak X dalam arah aliran konduksi (K/m).

Pada perpindahan panas konduksi selain ada mempunyai satu dinding konduksi tetapi ada juga yang mempunyai dua atau lebih dinding dengan beda konduktifitas, maka sistem demikian di sebut dinding komposit. Lapisan dalam dinding bersinggungan dengan fluida yang mempunyai temperatur tertentu (T_i), dimana setiap lapisan dinding mempunyai konduktansi serta luas penampang masing-masing. Sedangkan fluida yang lain mempunyai temperatur (T_o). Untuk lebih jelasnya dapat kita tunjukkan dalam gambar berikut ini :

Gambar 2.7 Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar

Dari gambar di atas, aliran panas yang melalui dinding, karena aliran panas melalui lapisan dinding dengan luas A dan laju perpindahan panas q , maka dapat di peroleh (J.P Holman).

$$q = h_1 A (T_A - T_1) = \frac{kA}{\Delta x} (T_1 - T_2) = h_2 A (T_2 - T_B) \quad (2.2)$$

Kemudian persamaan di atas dapat ditulis dengan rangkaian thermal dalam bentuk tahanan thermal yaitu sebagai berikut : (Frank Kreit. Lit.1)

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = \frac{T_4 - T_0}{R_0} \quad (2.3)$$

Dengan ketentuan T_i dan T_o maka (Pers.2.3) menjadi :

$$T_1 - T_1 = q \cdot R_1$$

$$T_1 - T_2 = q \cdot R_2$$

$$T_2 - T_3 = q \cdot R_3$$

$$T_3 - T_4 = q \cdot R_4$$

$$\underline{\hspace{10em} T_4 - T_0 = q \cdot R_0 \hspace{10em} +}$$

$$(2.4)$$

$$T_1 - T_0 = q (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_0)$$

Pada rangkaian thermal jenis seri-paralel mempunyai konduktifitas masing-masing lapisan konveksi yang sama baik untuk T_o maupun T_i seperti pada gambar di bawah ini :

Gambar 2.8 Rangkaian Thermal Untuk Lapisan Dinding Yang Paralel.

Persamaan untuk tahanan thermal rangkaian seri-paralel adalah sebagai berikut :

$$k_2 = \frac{k_2 b_1}{L_2} + \frac{k_1 b_2}{L_2} = \frac{1}{R_2}$$

$$U = \frac{1}{(b_1 + b_2)(R_1 + R_2 + R_3)}$$

$$= \frac{1}{k_1 + \frac{b_2 + b_1}{\frac{k_1 b_2}{L_2} + \frac{k_2 b_1}{L_2}} + \frac{L_2}{k_3}} \quad (2.5)$$

2.5.1.2. Konveksi

Konveksi adalah suatu proses perpindahan panas yang terjadi dari suatu sistem yang mempunyai temperatu lebih tinggi ke fluida yang mempunyai

temperatur lebih rendah. Persamaan yang di gunakan untuk menghitung perpindahan panas secara konveksi adalah sebagai berikut : (Holman. J.P. 1995)

$$q = hA (T_w - T_w) \quad (2.6)$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas secara konveksi (Watt)

A = Luas penampang perpindahan panas konveksi (m^2)

hA = Beda temperatur penampang dengan fluida pada suatu daerah tertentu ($^{\circ}F$ atau K)

Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi di gunakan persamaan yang di dapat dari buku ‘*fundamental of heat transfer*’. Perpindahan panas konveksi pada sistem perpindahan panas terdapat dua jenis konveksi yaitu :

1. Lapisan konveksi luar pipa (External Flow).
2. Lapisan konveksi dalam (Internal Flow).

1. Lapisan Konveksi Luar Pipa (External Flow)

Pada kasus konveksi luar pipa (External Flow) persamaan-persamaan yang di gunakan adalah sebagai berikut :

1. Bilangan Reynolds (Re).

Bilangan Reynolds (Re) adalah digunakan untuk penunjuk garis aliran dalam pipa atau tabung yang di peroleh sebagai berikut : (Frank Kreit)

- 3) $Re \leq 2300$ adalah Aliran Laminar.
- 4) $Re \geq 4000$ adalah Aliran Turbulen.

Maka :

$$Re = \frac{\rho V D_H}{\mu} = \frac{V D_H}{\gamma} \quad (2.7)$$

Dimana :

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

D_H = Diameter hidrolis pipa (m)

ν = Viskositas kinematik (m^2/s)

μ = Viskositas Absolute (Ns/m^2)

2. *Bilangan Nusselt (Nu).*

Bilangan Nusselt (Nu) dapat di tulis dengan persamaan sebagai berikut yaitu: (Malev. V.L)

$$\text{Nu} = C \cdot \text{Re}^m \cdot \text{Pr}^{1/3} \quad (2.8)$$

Dimana :

Nu = Bilangan Nusselt

Re = Bilangan Reynolds

Pr = Bilangan Prandl

Harga Bilangan Prandl (Pr), m serta C dapat di lihat dalam table berikut dengan mengacu kepada harga bilangan Reynolds (Re) yaitu :

Tabel 2.2 Tabel Harga Bilangan Planalt, m dan C.

Dengan di dapatnya harga bilangan Nusselt (Nu) maka konveksi (hc) dapat di peroleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$hc = \frac{k}{D_H} \cdot Nu \quad (2.9)$$

Dimana :

hc = Koefisien konveksi (W/m².K)

k = Konduktifitas bahan (W/m.K)

D_H = Diameter hidrolik pipa atau tabung (m)

3. Lapisan Konveksi Dalam Pipa (Internal Flow)

Sedangkan untuk lapisan konveksi dalam pipa (Internal Flow) di gunakan persamaan berikut :

1. Angka Reynolds (Re)

Angka Reynolds (Re) ≥ 4000 adalah aliran Turbulen

Angka Reynolds (Re) ≤ 2300 adalah aliran Laminar

Angka Reynolds (Re) ini dapat di cari dengan persamaan sebagai berikut :

(Sularso)

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.10)$$

$$\text{Atau} \quad Re = \frac{4m}{\pi D \mu} \quad (2.11)$$

Dimana :

ρ = Kerapatan (kg/m³)

V_m = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Laju aliran massa (kg/s)

μ = Viskositas absolute (Ns/m²)

Re = Angka Reynolds untuk lapisan dalam pipa (Internal Flow)

2. Angka Nusselt (Nu)

Dengan mendapat angka Reynolds (Re) maka persamaan angka Nusselt (Nu) dapat di tentukan sebagai berikut : (Frank Kreit.)

$$H = Nu \frac{k}{D} \quad (2.13)$$

2.5.1.3. Radiasi

Radiasi thermal merupakan radiasi elektro magnetik yang di pancarkan oleh suatu benda karena adanya perbedaan suhu. Radiasi thermal dapat merambat dengan kecepatan cahaya (c) sama dengan hasil perkalian antara panjang gelombang (λ) dengan frekuensi (V) radiasi yakni dengan rumus sebagai berikut : (Frank Kreit.)

$$c = \lambda \times V \quad (2.14)$$

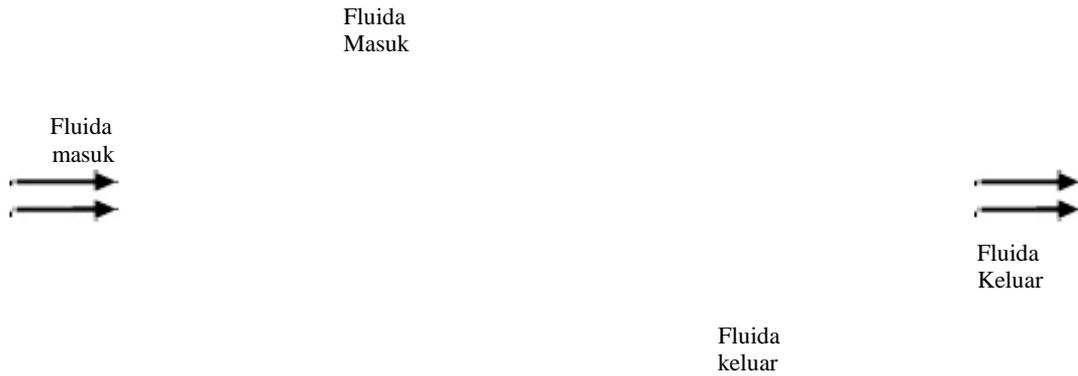
Dimana :

c = Kecepatan cahaya

λ = Panjang gelombang

2.5.2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Dalam perhitungan koefisien perpindahan panas secara konveksi yang akan di gunakan dalam perpindahan panas menyeluruh pada pipa radiator, maka terlebih dahulu kita uraikan mengenai proses perpindahan panas antara dua jenis fluida yang melalui radiator seperti yang di tunjukkan pada di bawah ini. (Holman. J.P. 1995)



Gambar 2.9 Analogi Tahanan Untuk Silinder Bolong Dengan Kondiri Batas Konveksi.

Gambar di atas di terangkan bahwa salah satu fluida mengalir di dalam pipa yaitu air sebagai media pendingin, sedangkan fluida yang satunya lagi bekerja di luar pipa yaitu udara sebagai media pendingin. Jadi koefisien perpindahan panas menyeluruh bisa terjadi berdasarkan atas luar dalam pipa yaitu luas dalam dan luas luar pipa tersebut, maka dengan demikian :

Untuk koefisien perpindahan panas secara menyeluruh oleh luas dalam pipa (U_i) dapat di peroleh dengan persamaan sebagai berikut. (Holman. J.P.)

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{A_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \left(\frac{A_1}{A_0} \times \frac{1}{h_0}\right)} \quad (2.15)$$

Untuk koefisien perpindahan panas secara menyeluruh oleh luas luar pipa (U_o) dapat di peroleh dengan persamaan sebagai berikut : (Hilman.J.P.)

$$U_i = \frac{1}{\left(\frac{A_1}{A_0} \times \frac{1}{h_1}\right) + \frac{A \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_1}} \quad (2.16)$$

Dimana :

U_i = Koefisien perpindahan panas menyeluruh di dalam pipa ($W/m^2.K$)

U_o = Koefisien perpindahan panas menyeluruh di luar pipa ($W/m^2.K$)

H_i = Koefisien perpindahan panas menyeluruh di dalam pipa ($W/m^2.K$)

H_o = Koefisien perpindahan panas menyeluruh di luar pipa ($W/m^2.K$)

A_1 = Luas perpindahan panas di dalam pipa (m^2)

A_0 = Luas perpindahan panas di luar pipa (m^2)

r_i = Jari-jari dalam pipa (m)

r_o = Jari-jari luar pipa (m)

k = Konduktivitas thermal dari pipa ($W/m.K$)

L = Panjang pipa (m)

2.5.3 Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan (*Pressure Drop*) pada radiator biasanya karena gesekan aliran pada permukaan dalam dari pipa tersebut. Oleh karena itu penurunan tekanan pada perencanaan radiator ini dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{G^2}{2g_c} V \cdot f \frac{L}{r_h} \quad (2.17)$$

Dimana :

ΔP = Penukar tekanan (N/m^2)

G = Kecepatan massa fluida yang mengalir (Kg/s)

g_c = Percepatan gravitasi (kgm/Ns)

ν = Viskositas (m^2/s)

r_h = Jari-jari hidrolik (jari-jari dalam) pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

2.6 Analisa Thermodinamika Dalam Siklus

Untuk menganalisa thermodinamika secara tepat yang terjadi pada siklus motor bakar adalah sangat sulit di sebabkan adanya reaksi kimia yang terjadi di dalamnya dan adanya penukaran kalor antara fluida kerja dengan ruang bakar.



Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya penyimpangan siklus pada motor bakar, di antaranya yaitu :

- 1) Fluida kerja bukan merupakan gas ideal, karena fluida kerjanya di sini adalah bahan bakar udara

2) Terjadinya pembakaran tidak sekaligus kemedua pendingin.

Sehingga dalam thermodinamika ini di lakukan secara teoritis yang mendekati keadaan yang sebenarnya yaitu dengan mengasumsikan fluida kerja sebagai gas ideal, sehingga dengan demikian siklus yang di gunakan adalah siklus udara standart. Siklus yang ada pada motor bakar dapat di kenalkan dengan tiga macam yaitu :

- A. Siklus velume konstan (*Otto Cycle*) yaitu siklus motor bensin.
- B. Siklus tekanan konstan (*Otto Cycle*) yaitu siklus motor solar (*Diesel.*)
- C. Siklus tekanan terbatas (*Dual Cycle*) yaitu gabungan antara motor bensin dan motor solar.

Pada awal penulisan tugas ini penulis telah menetapkan untuk mnganalisa radiator yang akan di gunakan pada ISUZU PANTHER 2500cc. Oleh karena itu, kita telah mengenal bahan bakar yang di gunakan yaitu solar, maka dengan demikian siklusnya juga dapat kita kenal yaitu siklus diesel. Bagaimana proses-proses yang terjadi pada siklus diesel dapat di gambarkan sebagai berikut

(a)

(b)

Gambar 2.10 (a). Diagram siklus diesel 2 langkah.
(b). Diagram siklus diesel 4 langkah.

Keterangan :

1. Proses 0 – 1 Langkah Isap yaitu :

Proses pemasukan bahan bakar dan udara kedalam ruang bakar, yakni pada proses tekanan konstan. Kondisi titik 0 adalah merupakan keadaan udara luar yaitu tekanan udara standart atau dengan tekanan atmosfer 1 Atm dengan suhu 27°C.

2. Proses 1 – 2 Langkah Kompresi yaitu :

Campuran bahan bakar dan udara di kompresikan kedalam ruang bakar/silinder secara adibatik. Kondisi titik 1 adalah merupakan awal kompresi yakni pada tekanan konstan dengan kondisi udara masih standart pada tekanan atmosfer 1 Atm tapi temperatur berubah akibat pencampuran udara dengan bahan bakar tersebut juga termasuk akibat dari faktor gesekan yang terjadi pada saluran masuk dan dinding silinder. Hal ini terjadi sekitar antara $t = (100\div 150)F$, sehingga dengan demikian temperatur awal (T) dapat kita tentukan.

$$T_1 = T_0 + t \quad (2.18)$$

3. Proses 2 – 3 Proses Pembakara yaitu :

Campuran bahan bakar dengan udara, terbakar dalam ruang bakar atau yang disebut dengan proses pemasukan kalor (energi) yakni pada volume konstan. Kondisis titik 2 adalah langkah kompresi. Karena telah terjadi proses pembakaran maka temperatur pada kondisi ini (T_2) jelas berubah besar. (Berlin.H.H)

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \quad (2.19)$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = r \quad (2.20)$$

4. Proses 3 – 4 Langkah Kerja (Ekspansi) yaitu :

Yaitu berlangsungnya pada proses isentropik, pada kondisi titik 3 terjadi perubahan temperatur akibat pembakaran yang sempurna sehingga dapat menimbulkan/menghasilkan energi (Q_{in}) yaitu ; (Berlin.H.H.)

$$Q_{in} = C_p \cdot (T_3 - T_2) \quad (2.21)$$

Pada proses pembakaran ini energi yang dihasilkan dapat di peroleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{in} = fc \cdot LHV \quad (2.22)$$

Dengan di dapatkan harga Q_{in} ini maka temperatur (T_3) dapat di cari dengan

$$T_3 = \left(\frac{Q_{in}}{C_p}\right) + T_2 \quad (2.23)$$

5. Proses 4 – 1 Proses Pembuangan yaitu :

Hal ini di anggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan, akibat dari proses pengeluaran kalor ini, maka kondisi pada titik 4 yaitu temperatur (T_4) menjadi berkurang atau menurun dari (T_1).

$$T_4 = \left(\frac{T_3}{T_2}\right) = T_1 \quad (2.24)$$

6. Proses 1 – 0 Langkah Buang yaitu :

Pembuangan gas sisi pembakaran pada tekanan konstan, karena pembuangan gas sisa pembakaran ini temperatur akan menurun kembali ke

temperatur (T_1) dan membutuhkan energi untuk menurunkannya, dimana energi yang dibutuhkan ini disebut energi keluar (Q_{out}), yaitu sebesar : (Berlin. H.H.)

$$Q_{out} = C_v \cdot (T_4 - T_1) \quad (2.25)$$

Panas atau energi yang diserap oleh air pendingin (Q_w) dapat di cari dengan

$$Q_w = \eta_w \cdot N \cdot Q_{in} \quad (2.26)$$

Dimana :

η_w = Efisiensi yang diserap oleh pendingin yaitu (30 ÷ 34)%

Tempertur (T_i) yang masuk ke radiator dari ruang bakar dapat di tentukan dengan.

$$Q_w = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_0) \quad (2.27)$$

Sehingga

$$T_i = \left(\frac{Q_w}{\dot{m} \cdot c_p} \right) + T_0 \quad (2.28)$$

Atau dengan persamaan lain.

$$Q_w = W_w \cdot C_{pw} \cdot (T_{wo} - T_{wl}) \quad (2.29)$$

Sehingga.

$$T_{wo} = \left(\frac{Q_w}{W_w \cdot c_{pw}} \right) + T_{wl} \quad (2.30)$$

Diaman :

T_0 = Temperatur pendingin keluar radiator = T_{w1} temperature pendingin masuk sistem (ruang bakar).

T_i = Temperatur pendingin masuk radiator = R_{wo} temperature pendingin keluar sistem (ruang bakar).

W_w = Debit air pendingin

C_{pw} = Panas jenis air = 1 kcl/jam

C_p = Panas spesifik udara 1005 J/kg.K

Q_w = Kerugian panas akibat pendingin

η_w = Efisiensi yang diserp oleh pendingin

Q_{in} = Energi masuk sistem (ruang bakar) atau panas hasil pembakaran

2.7 Inti Penukar Kalor

Perencanaan inti penukar kalor atau radiator adalah perencanaan kontruksi kisi-kisi (tube) dan sirip (fin) yang berperan dalam perpindahan kalor yang mendinginkan media pendingin air yang sedang panas. Untuk kontruksi inti pada radiator ini materialnya harus di pilih dari material yang mempunyai konduktivitas thermal yang tinggi terhadap perpindahan panas, khususnya terhadap pendingin seperti tembaga dan kuningan. Selain atas perkiraan konduktivitas thermal yang tinggi terhadap perpindahan panas material ini dikenal juga dengan kekasarannya yang mempermuda laju sirkulasi serta resistensinya terhadap korosi. Maka dengan demikian untuk kontruksi pipa dipilih bahan

kuningan dan untuk konstruksi dipilih tembaga. Konstruksi selengkapnya seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.11 Corrugated fin dan Plate fin

2.7.1. Kisi-kisi (Tube) Radiator.

Pipa yang digunakan pada radiator pada umumnya berpenampang segi empat atau perisma segi empat. Tabung segi empat ini merupakan silinder bolong yang dengan ketebalan 1,5 mm dengan dimensi sebagai berikut :

Gambar 2.12 Kisi-kisi (Tube) Radiator

Maka dengan demikian dapat dicari yaitu : (Berlin.H.H.)

2.7.1.1. Untuk ukuran luar pipa

Luas penampang luar pipa (A_o)

$$A_o = (H \times S) \quad (2.31)$$

Keliling luar pipa (P_o)

$$P_o = (2 \times H) + (2 \times S) \quad (2.32)$$

Luas selimut luar pipa (A_{o_s})

$$A_{o_s} = (P_o \times L) \quad (2.33)$$

Luas total permukaan pipa ($A_{o_{tot}}$)

$$A_{o_{tot}} = (2A_o) + A_{o_s} \quad (2.34)$$

2.7.1.2. Untuk ukuran dalam pipa

Luas penampang luar pipa (A_i)

$$A_i = (h \times s) \quad (2.35)$$

Keliling luar pipa (P_i)

$$P_i = (2 \times h) + (2 \times s) \quad (2.36)$$

Luas selimut luar pipa (A_{i_s})

$$A_{i_s} = (p_o \times L) \quad (2.37)$$

Luas total permukaan pipa ($A_{i_{tot}}$)

$$A_{i_{tot}} = (2 \times A_i) + A_{i_s} \quad (2.38)$$

Sehingga dengan demikian dapat diketahui bahwa :

Luas konveksi pipa (A_{CT})

$$A_{CT} = \frac{A_{0,tot} + A_{I,tot}}{2}$$

(2.39)

2.7.2. Sirip (Fin) Radiator

Sirip radiator merupakan lembaran plat yang berbentuk persegi panjang dengan ketebalan 0,5 mm. Untuk membantu proses pendinginan pada inti radiator maka sirip ini di bentuk sedemikian rupa seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.13 Sirip (Fin) Radiator

Dari gambar diatas diketahui bahwa :

Jumlah lipatan (N)

$$N = \frac{H}{2.R} \quad (2.40)$$

Panjang sirip (L_f)

$$L_f = \frac{h}{2.r} x [(1 - 2.r) + \pi.r] \quad (2.41)$$

Keliling sirip (P_F)

$$L_f = (2.L_f \times w) \quad (2.42)$$

Luas sirip (A_F)

$$A_F = (L_f \times w) \quad (2.43)$$

2.7.2.1. Untuk Sirip.

Bagian sirip yang dikoreksi pada proses perpindahan panas adalah seperti ditunjukkan dalam gambar siatas dengan dimensi sebagai berikut :

Panjang yang di koreksi (L_{FC})

$$L_{FC} = P + \frac{1}{2} \quad (2.44)$$

Keliling sirip (P_{FC})

$$P_{FC} = 2.(p + t) \quad (2.45)$$

Luas profil melintang sirip (A_C)

$$A_C = (w \times t) \quad (2.46)$$

Luas permukaan sirip (A_F)

$$A_F = (P_{FC} + L_{FC}) \quad (2.47)$$

Luas konveksi sirip (A_{FC})

$$A_{FC} = [H - (N \times t)] \times [2\pi \cdot 2R] \quad (2.48)$$

2.7.2.2. Untuk Pipa

Pada penampang pipa yang tidak berbentuk lingkaran atau silinder, maka untuk korelasi perpindahan panas yang digunakan adalah diameter hidrolis (D_H) yaitu :

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (2.49)$$

Diameter hidrolis dalam pipa (D_{HI})

$$D_{HI} = \frac{4A_i}{P_i} \quad (2.50)$$

Diameter hidrolis luar pipa (D_{HO})

$$D_{HO} = \frac{4A_o}{P_o} \quad (2.51)$$

Diameter hidrolis sirip (D_{HF})

$$D_{HF} = \frac{4A_{FC}}{P_{FC}} \quad (2.52)$$

2.7.3. Jumlah Pipa Radiator (N_1)

Koefesien perpindahan kalor menyeluruh (U) dapat di peroleh dari persamaan berikut yaitu :

$$Q_w = U \times A \times \Delta T \quad (2.53)$$

Dari jumlah kalor perpindahan panas tiap beda temperatur rata-rata (Q) di dapat jumlah tube (pipa) radiator, di peroleh dari persamaaan berikut yaitu :

$$Q_w = U \times A \times F_c \times \Delta T_{in} \quad (2.54)$$

$$Q_w = U \times N_1 \times \pi \times D \times L \times F_c \quad (2.55)$$

Dimana :

Fc = Faktor korelasi, di peroleh dari persamaan yaitu :

$$F_c = \frac{Ac}{A} \quad (2.56)$$

2.8 Koreksi Inti Penukar Kalor

Ada beberapa hal yang sering memicu kebocoran pada radiator yaitu korosi (karat), benturan (baik karena tabrakan maupun karena kibasan kipas radiator). Akibat penyebab-penyebab ini, mungkin saja terbentuk rongga atau celah di plat-plat radiator tempat air merembes keluar. Karena radiator bocor sistem pendingin tidak bekerja dengan baik. Akibatnya temperatur mesin pun tidak terkontrol dan terjadi over heating ketika mesin harus di paksa bekerja tanpa pendingin. Karena panas yang melebihi toleransi, mesin mungkin berbunyi tidak normal, kurang

bertenaga, boros bahan bakar, bahkan mogok saat di kenderai di tengah jalan. Sebelum mengalami masalah-masalah seperti ini, antisipasilah terjadinya kebocoran pada radiator.

Pencegahan dapat di lakukan dengan merawat sistem pendingin. Untuk itu, ada beberapa tips yang akan di sarankan :

- 1) Lakukan pemeriksaan radiator secara rutin pada tangki cadangan. Jika permukaan air tangki cadangan berada di bawah garis MIN, segera tambahkan. Jika sudah kotor dan tanpak keru, kuras dan ganti dengan air radiator yang baru.
- 2) Gunakan cairan khusus radiator saat mengisi radiator (*coolant*). Selain membantu proses pendinginan, diantara cairan tersebut juga terdapat zat-zat yang dapat mengurangi korosi pada radiator dan mesin. Korosi dan kotoran pada air pendingin sangat tidak baik karena dapat mengganggu proses pendinginan. Disarankan untuk menggunakan air ciilant yang berjenis *Ethylene glycol* berkualitas tinggi.
- 3) Bersihkan kisi-kisi radiator dengan menyemprotkan air pada sirip radiator.
- 4) Periksa kemungkinan terjadi kebocoran baik pada selang-selang maupun paa radiator. Kebocoran pada selang dapat di pantau secara manual dengan melihat ada atau tidak tetesan air. Tapi untuk mengecek kebocoran pada radiator harus menggunakan alat khusus (*SST atau Special Servis Tool*). Radiator akan di periksa dengan alat ini jika datang ke bengkel.
- 5) Kondisi radiator dan kinerja sistem pendingin akan lebih terjaga jika rutin melakukan service berkala.

Gambar 2.14 Kontruksi Penukar Kalor yang Dikoreksi

2.9 Perhitungan Laju Aliran

Dalam analisis *Performance Heat Exchanger* atau penukar kalor ini diperlihatkan beberapa perhitungan di antaranya :

- 1) Laju aliran massa udara
- 2) Kecepatan rata-rata
- 3) Debit udara
- 4) Efektipitas radiator
- 5) Faktor pengotoran

2.9.1. Laju Aliran Massa Udara

Untuk menghitung laju aliran massa udara (\dot{m}) dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.57)$$

Sehingga :

$$\dot{m} = \frac{q}{C_p \cdot \Delta T} \quad (2.58)$$

Dimana :

$q = Q_w =$ Laju perpindahan kalor (J/s)

$\Delta T =$ Selisih temperatur ($^{\circ}\text{C}$) yaitu selisih temperatur pendingin masuk dengan temperatur udara standart (*atmosfir*).

2.9.2. Kecepatan Rata-rata (V_r)

Untuk menghitung kecepatan rata-rata persamaannya di tentukan sebagai berikut yaitu :

$$\dot{m} = \rho \times A_{I\text{tot}} \times V_r \quad (2.59)$$

Maka :

$$V_r = \frac{\dot{m}}{\rho \times A_{I\text{tot}}} \quad (2.60)$$

Dimana :

$$\rho = 985.7 \text{ kg/m}^3$$

$A_{I\text{tot}} =$ Luas konveksi pipa (m^2)

2.9.3. Debit Udara (Q)

Debit fluida atau kapasitas aliran udara (Q) dapat di hitung melalui persamaan berikut yaitu :

$$Q = A_{I\text{tot}} \times V_r \quad (2.61)$$

Untuk mendapatkan bilangan Reynolds maksimum ($Re_{D\text{max}}$) di dapat dari :

$$Nu_D = C \cdot (Re_{D\text{max}})^m \cdot Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr_{\infty}}{Pr_s} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2.61)$$

$$\frac{h.D}{k} = C. (Re_{D \max})^m. Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_{\infty}}{Pr_s} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2.62)$$

Maka :

$$Re_{D \max}^m = \frac{h.D}{k.C.Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_{\infty}}{Pr_s} \right)^{\frac{1}{4}}} \quad (2.63)$$

Berat aliran fluida (W) di dapat dari persamaan berikut yaitu :

$$q = W \times C (T_1 - T_0) \quad (2.64)$$

maka :

$$W = \frac{q}{C.(T_1 - T_0)} \quad (2.65)$$

Kecepatan massa fluida yang mengalir (G) di dapat dari persamaan berikut yaitu :

$$G = \frac{W}{A_1} \quad (2.66)$$

Penurunan tekanan (ΔP) dapat di peroleh dari persamaan berikut yaitu :

$$\Delta P = \frac{G^2}{2xgc} x V_x f_x \frac{L}{r_h} \quad (2.67)$$

2.10. Efektivitas Radiator (ϵ)

Nilai kalor yang tidak di buang tidak sama dengan nilai kalor yang di terima oleh udara. Akibat perbedaan nilai kalor, maka dapat di lihat keefektivitasannya dari kedua harga kalor yang berbeda, yaitu : (Frank Kreith.)

$$\varepsilon = \frac{C_h.(t_{h.in} - t_{h.out})}{C_{min}.(t_{h.in} - t_{c.in})} \quad (2.68)$$

Dimana :

C_h = Kapasitas fluida panas rata-rata

C_{min} = Kapasitas fluida minimum

2.11. Faktor Pengotoran

Faktor pengotoran harus di dapat dari percobaan yaitu dengan menentukan U_a untuk kondisi bersih dan kondisi kotor pada penukar kalor. Faktor pengotoran oleh karena itu, di defenisikan sebagai berikut : (Frank Kreith.)

$$R_d = \frac{1}{U_a} - \frac{1}{U} \quad (2.69)$$

Maka :

$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_o + R_k + \frac{R_i.A_o}{A_i} + \frac{A_o}{h_i.A_i}} \quad (2.70)$$

Dimana :

U_d = Koefisien perpindahan panas keseluruhan (Btu/h ft²F)

h_o = Konduktansi permukaan rata-rata fluida sebelah luar pipa (Btu/h ft²F)