

**PERENCANAAN RADIATOR PADA KENDARAAN  
TOYOTA KIJANG DENGAN KAPASITAS  
PENUMPANG 8 ORANG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan

Ujian Sarjana

Oleh :

**ERWINSYAH HARAHAP**

**NIM: 04.813.0033**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2009**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)24/7/24

# PERENCANAAN RADIATOR PADA KENDARAAN TOYOTA KIJANG DENGAN KAPASITAS PENUMPANG 8 ORANG

## TUGAS AKHIR

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program Strata-1  
Universitas Medan Area



Oleh:

**ERWINSYAH HARAHAP**  
NIM: 04.813.0033

Pembimbing I

( Ir. Husin Ibrahim, MT )

Pembimbing II

( Ir. Syafrin Lubis, MM )

Disetujui,

Mengetahui,

Dekan

uf.

( Drs. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc )

Ka. Program Studi

( Ir. Amru Siregar, MT )

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## ABSTRAK

Radiator yang digunakan pada mobil berfungsi untuk menurunkan dan mempertahankan temperatur yang beredar dimesin. Panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara ini sebahagian dipakai untuk tenaga penggerak, sebahagian terbawa gas buang dan sebahagian lagi diserap oleh bagian-bagian mesin. Panas yang diserap ini harus segera di buang untuk menghindari panas yang berlebihan (*over heating*), yang dapat pula mengakibatkan mesin menjadi rusak.

Rancangan ini merupakan wujud nyata dari penerapan ilmu yang didapat selama masa perkuliahan. Pada perencanaan ini perpindahan panas terjadi secara konveksi. Dengan perencanaan ini diharapkan dapat memperediksi temperatur masuk dan temperatur keluar suatu radiator, bahan-bahan yang dipilih dengan koefisien termal yang sesuai bagi pemindah panas yang direncanakan pada radiator. Radiator tersebut mempunyai sistem yang dimodifikasi menjadi sebuah *heat exchanger* dengan pemindah panas fluida air ke udara tanpa proses pencampuran.

Jumlah panas yang diserap oleh lapisan air mengalami peningkatan seiring dengan kecepatan dan beban mesin. Dalam sistem pendingin dengan air maka panas dilewatkan ke air disekitar ruang bakar dan silinder. Air yang panas kemudian beredar menuju radiator melalui pipa radiator, dan dalam sistim pendingin yang terkontrol, air akan dilewatkan melalui radiator yang di kembalikan langsung ke dalam pompa air, panasnya air ditransfer ke sirip radiator dimana panas tersebut disemburkan ke udara.

Beberapa faktor yang menentukan tingkat pendinginan antara lain, perbedaan temperatur udara dan air, perbandingan aliran air, dan luas permukaan kisi-kisi radiator. Pada sirkulasi air pembuangan, panasnya sebanding dengan faktor yang ditentukan oleh panas yang di supply. Tetapi dengan peningkatan kecepatan dari sirkulasi laju perbandingan panas.

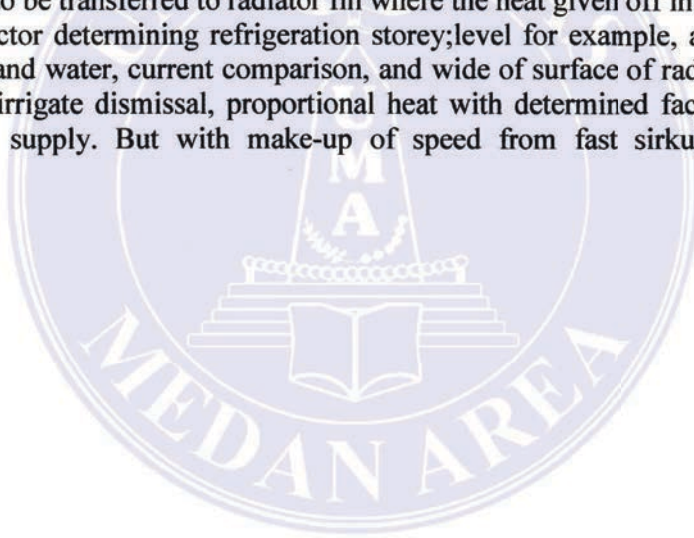
## ABSTRACTION

Used by Radiator is car a pad function to degrade and maintain temperature circulating machine. yielded heat by process combustion of this air and fuel partly weared for the mainspring of, partly brought gas throw away and partly is again permeated by parts of machine. permeated heat have to immediately thrown to avoid abundant heat, which can also result machine become to destroy

This device represent real form from applying of got by science during a period of/to lecturing. At this planning of happened hot transfer convectionly. With this planning is expected to earn temperature memperediksi enter and temperature go out a[n radiator, selected materials with appropriate termal coefficient to planned by heat transductor at radiator. The radiator have modified system become a exchanger heat with hot transductor of fluid irrigate into the air without mixing process

Amount of permeated heat by water coat experience of improvement along with machine burden and speed. In cooler system with water hence heat overcome to water around space burn and Hinder. hot Water later;then circulate to go to radiator [pass/through] radiator pipe, and in controlled cooler systems, water will be overcome to pass/through radiator which is in returning direct into water pump, heat irrigate to be transferred to radiator fin where the heat given off into the air

Some factor determing refrigeration storey;level for example, air different temperature and water, current comparison, and wide of surface of radiator grille. At sirkulasi irrigate dismissal, proportional heat with determined factor by heat which is in supply. But with make-up of speed from fast sirkulasi of hot comparison



## DAFTAR ISI

Halaman

<b>RINGKASAN (ABSTRAK)</b> .....	i
<b>ABSTRACTION</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Perencanaan .....	2
1.5 Manfaat Perencanaan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Siklus Motor Oto .....	4
2.2 Penukar kalor .....	6
2.2.1 Sistem pengaturan aliran penukar kalor .....	6
2.2.2 Pengelompokan penukar kalor .....	7
2.2.3 Proses-proses perpindahan panas .....	11
2.2.4 Koefisien perpindahan panas menyeluruh .....	21

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

iv

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)24/7/24

2.2.5	Penurunan tekanan ( <i>pressure drop</i> ) .....	23
2.3	Komponen-komponen sistem pendingin .....	23
2.4	Bahan Radiator .....	28
<b>BAB III</b>	<b>METODE PERENCANAAN</b> .....	<b>31</b>
3.1	Sirkulasi Pendingin Air Pada Mesin .....	31
3.2	Prosedur perencanaan .....	33
<b>BAB IV</b>	<b>PEMBAHASAN</b> .....	<b>34</b>
4.1	Hasil Analisa .....	34
4.2	Peritungan Pada Siklus Oto .....	35
4.3	Perhitungan konstruksi radiator .....	40
4.4	Laju aliran panas .....	44
4.5	Debit fluida .....	45
4.6	Laju aliran masa udara .....	45
4.7	Parameter Konduktivitas .....	45
4.8	Perpindahan panas Konveksi .....	46
4.9	Jumlah pipa radiator .....	51
4.10	Koefisien perpindahan panas .....	54
4.11	Efektivitas .....	60
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN</b> .....	<b>62</b>
5.1	Hasil perencanaan radiator .....	62
5.2	Ukuran-ukuran utama .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>65</b>

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Semua jenis kendaraan bermotor memerlukan sistem pendinginan. Pembakaran campuran bahan bakar di dalam mesin menghasilkan gas bersuhu tinggi. Panas yang dihasilkan sebagian dipakai sebagai tenaga penggerak, sebagian hilang terbawa gas buang dan sebagian lagi diserap oleh bagian-bagian mesin. Panas yang diserap ini harus segera dibuang untuk menghindari panas yang berlebihan (*over heating*), yang dapat pula mengakibatkan mesin menjadi retak.

Sistem pendinginan dimaksudkan untuk mengatasi keadaan tersebut. Selain itu juga untuk mempertahankan suhu yang tetap dalam mesin.

Rancangan ini merupakan wujud nyata dari penerapan ilmu yang didapat selama masa perkuliahan. Pada perencanaan ini perpindahan panas terjadi secara konveksi dan konduksi. Dengan perencanaan ini diharapkan dapat memprediksi temperatur masuk dan keluar suatu radiator dilapangan, bahan-bahan yang dipilih dengan koefisien thermal yang sesuai bagi pemindah panas yang direncanakan pada radiator. Radiator tersebut mempunyai sistem yang dimodifikasi menjadi sebuah *heat exchanger* dengan pemindah panas fluida air keudara tanpa proses pencampuran.

#### 1.2 Perumusan Masalah

Setiap mesin mobil yang beroperasi pasti akan menimbulkan panas. Panas yang timbul akibat adanya proses pembakaran di dalam silinder motor bakar.

penulis melakukan perencanaan radiator yang digunakan pada engine satand Toyota Kijang bertujuan untuk dapat mengurangi panas yang terjadi di sebabkan adanya proses pembakaran didalam silinder motror bakar tersebut.

### 1.3 Batasan Masalah

Masalah yang dibahas pada perencanaan radiator ini adalah :

1. Merancang sistem *heat exchanger* pada radiator.
2. Perhitungan panas di *heat exchanger* dilakukan sesederhana mungkin. Dalam perhitungan panas konveksi menggunakan perhitungan aliran luar (*external flow*) dan aliran dalam (*internal flow*).
3. Perhitungan efektivitas radiator.

### 1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan tugas akhir ini adalah merancang radiator yang digunakan pada mobil penumpang umum yang berguna untuk:

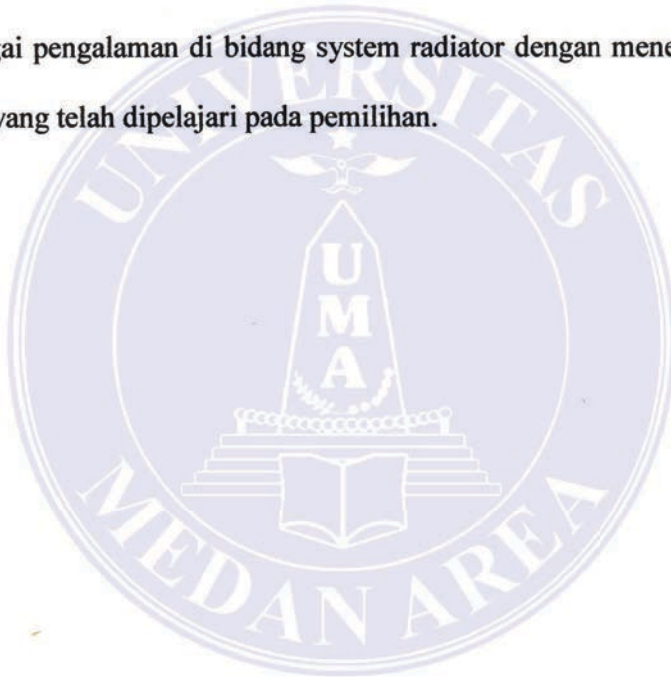
1. Mengetahui efektivitas sebuah radiator dan mendapatkan efektivitas perpindahan panas.
2. Dapat menghitung jumlah kalor yang di serap menghitung sistem *heat exchanger*.
3. Memperkirakan kapasitas kemampuan radiator pada sebuah perencanaan radiator.



### 1.5. Manfaat Perencanaan

Dengan tercapainya tujuan Perencanaan ini, perencanaan ini mempunyai manfaat sebagai berikut :

1. Untuk menambah pengetahuan mahasiswa mengenai radiator.
2. Untuk menambah pengetahuan mahasiswa tentang system pendingin yang terjadi pada radiator.
3. Sebagai bahan efisiensi untuk membahas system pendingin pada radiator lebih rendah.
4. Sebagai pengalaman di bidang system radiator dengan menerapkan ilmu-ilmu yang telah dipelajari pada pemilihan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Siklus Otto

Untuk menganalisa secara tepat siklus yang terjadi pada motor bakar adalah sangat sulit karena disebabkan adanya reaksi kimia yang terjadi didalamnya dan adanya pertukaran panas antara fluida kerja dengan ruang bakar.

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya penyimpangan siklus pada motor bakar diantaranya :

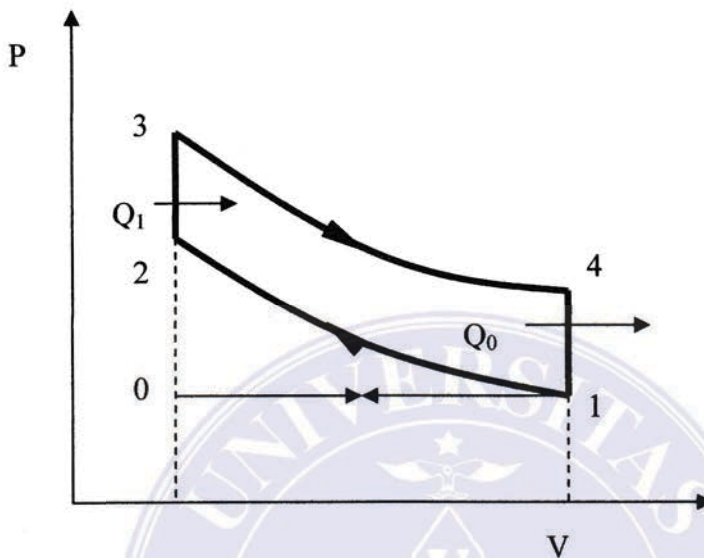
1. Fluida kerja bukan merupakan gas ideal, karena fluida kerjanya disini adalah bahan bakar dan udara.
2. Terjadinya pembakaran tidak sekaligus.
3. Terjadinya perpindahan panas ke media pendingin.

Sehingga dalam termodinamika ini dilakukan secara teoritis yang mendekati keadaan sebenarnya yaitu dengan menganggap fluida kerja sebagai gas ideal dengan demikian siklus yang dipakai adalah siklus udara standard.

Siklus pada motor bakar dapat dibedakan atas tiga jenis, yaitu :

1. Siklus volume konstan (*Otto cycle*)
2. Siklus tekanan konstan (*Diesel cycle*)
3. Siklus tekanan terbatas (*Dual cycle*)

Karena dalam perencanaan ini kendaraan yang digunakan adalah motor bensin maka siklus yang dipakai yaitu siklus volume konstan (*siklus otto*), dan urutan proses dari siklus ini adalah sebagai berikut :



Gbr. 2-1. Diagram P – V, siklus volume konstan

- 0-1 Langkah Isap. Bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder (Proses tekanan konstan)
- 1-2 .Langkah Kompresi. Campuran bahan bakar dan udara dikompresikan dalam silinder (Proses adiabatik)
- 2-3 . Proses Pembakaran. Campuran bahan bakar dan udara terbakar didalam ruang bakar (proses pemasukan kalor pada volume konstan)
- 3-4 . Langkah Kerja (*Ekspansi*). Berlangsung dalam proses isentropik
- 4-1 Proses Pembuangan dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
- 1-0 . Langkah buang. Pembuangan gas sisa pembakaran pada tekanan konstan.

## 2.2 Penukar Kalor

Penukar kalor adalah sebuah media penghantar yang memindahkan energi atau kalor yang ada pada suatu sisi yang lain. Jenis penukar kalor yang sederhana ialah sebuah wadah dimana fluida yang panas dan fluida yang dingin dicampur secara langsung. Dalam sistem demikian kedua fluida akan mencapai suhu akhir yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan mempersamakan kerugian energi dari fluida yang lebih panas dengan perolehan energi fluida yang lebih dingin.

Energi atau kalor yang dipindahkan diakibatkan oleh berbagai hal misalnya :

1. Adanya perbedaan temperatur, yakni dari sistem yang bertemperatur tinggi akan mengalir kalor ke sistem bertemperatur rendah.
2. Untuk tujuan kemudahan analisa dilakukan analog kesistem listrik.

Pokok bahasan ini lebih ditekankan pada penukar kalor dengan parameter temperatur.

### 2.2.1 Sistem Pengaturan Aliran Penukar Kalor

Berdasarkan kepada sistem pengaturannya aliran penukar kalor ini terbagi atas :

#### 2.2.1.1 Aliran dengan satu pass (*single pass*)

##### a. Aliran berlawanan (*counter flow*)

Pada umumnya perbedaan temperatur antara fluida panas dan dingin tidak konstan sepanjang pipa, sehingga aliran panas yang terjadi akan berbeda-beda disetiap

penampang. Oleh karena itu kita mempergunakan suatu beda suhu rata-rata yang sesuai.

- b. Aliran searah (*parallel flow*)
- c. Aliran melintang (*cross flow*)
- d. Aliran *split*
- e. Aliran yang dibagi

### 2.1.1.2 Aliran Multipass

Permukaan yang diperbesar (*extended force*)

- 1) Aliran counter meyilang
- 2) Aliran paralel yang menyilang
- 3) Aliran coumpound

### 2.1.1.3 Multipass Plat

- N – paralel plat multipass

## 2.1.2 Pengelompokan Penukar Kalor

### 2.1.2.1 Chiller

Alat penukar kalor ini dipergunakan untuk mendinginkan fluida sampai pada temperatur sangat redah. Tempetaratur pendingin didalam chiller jauh lebih mudah dibandingkan dengan pendingin yang dilakukan dengan pendingin air. Untuk chiller media pendingin yang dipergunakan adalah amoniak atau freon.

### 2.1.2.2 Condensor

Alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan atau mengembunkan uap atau campuran uap, sehingga berubah fasa

menjadi cairan. Media pendingin yang dipakai biasanya air, uap atau campuran uap itu akan melepaskan panas laten kepada pendingin. Misalnya, pada pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan kondensasi turbin, maka uap bekas dari turbin akan dimasukkan ke dalam kondensor lalu diembunkan menjadi kondensat. Media pendingin yang digunakan adalah air sungai, air laut dengan suhu udara luar.

### 2.1.2.3 Pendingin (*Cooler*)

Alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan (menurunkan) suhu cairan atau gas dengan menggunakan air sebagai pendingin. Disini tidak dimasalahkan terjadinya perubahan fasa atau tidak, seperti kondensor. Pendingin cooler saat ini dipergunakan untuk udara, dengan menggunakan bantuan kipas. Dimana lebih menguntungkan dibandingkan dengan menggunakan air sebagai media pendingin.

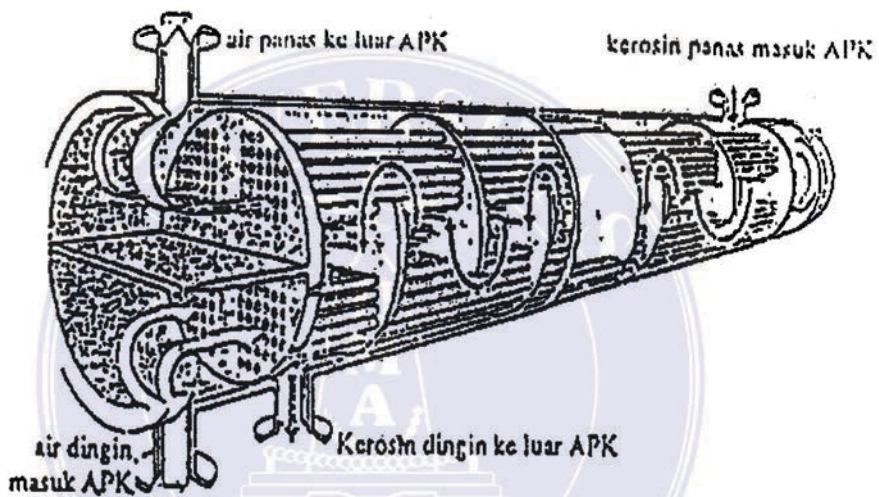
### 2.1.2.4 Penukar Panas (*Exchanger*)

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk memanfaatkan panas dari satu aliran fluida yang lain. Maka terjadi fungsi sekaligus :

- a. Memanaskan fluida yang dingin
- b. Mendinginkan fluida yang panas

Temperatur yang masuk dan keluar beda jenis fluida diatur sesuai dengan kebutuhannya. Seperti pada gambar terlihat konstruksi sebuah alat penukar kalor (*heat exchanger*), dimana

cairan yang berada didalam tubes adalah air. Disebelah luar dari tube adalah sebelah shell (*shell-side*) adalah kerosin masuk dan melintasi sekat-sekat yang ada hingga keluar pada bagian shell yang lain. Aliran yang diluar atau shell side, walaupun melalui 6 buah sekat (*baffles*), 6 kali belokan aliran, tetapi selalu disebut dengan aliran 1 pass.



Gbr. 2-2. Konstruksi APK menunjukkan arah aliran fluida didalam dan diluar tube.

#### 2.1.2.5 Pendidih Air Kembali (*Reboiler*)

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk mendidihkan kembali (*reboil*) serta menguapkan sebagian yang diproses. Adapun media pemanas yang sering dipergunakan adalah uap atau zat panas yang diproses itu sendiri hal ini dapat dilihat pada destilasi, absorpsi dan stripping. Umumnya reboiler itu dipasang pada bagian bawah dari *tower/colum destilasi penyulingan minyak*.

### 2.1.2.6 Pemanas (*Heater*)

Alat penukar kalor ini bertujuan memanaskan atau menaikkan suhu suatu fluida proses. Umumnya zat pemanas yang digunakan adalah uap atau fluida panas lain. Contohnya heater (pemanas) pada pembangkit listrik tenaga uap, dimana sebagian uap diserap (*extraction turbine*) lalu dimasukkan kedalam heater air pengisi ketel semakin tinggi, sampai mencapai drum ketel. Disini uap yang diserap itu melepas sensible heat sehingga menjadi kondensat.

### 2.1.2.7 Pembangkit Uap

Alat penukar kalor, lebih dikenal dengan ketel uap dan terjadi pembentukan uap dalam unit pembangkit. Dengan cara konveksi dan radiasi panas hasil pembakaran bahan bakar dialihkan kedalam ketel.

Berdasarkan macam sumber energi pembangkit uap dikelompokkan dalam 2 kelompok besar yaitu:

#### a. Pembangkit uap jenis pipa air

Jenis ini fluida yang berada dalam pipa air ketel sedangkan panas berupa nyala api dan gas asap berada diluar pipa.

#### b. Pembangkit uap jenis pipa api

Pada jenis ini nyala api berada dalam pipa dan air yang diuapkan berada diluar pipa dalam suatu bejana khusus.



### 2.1.2.8 Evaporator

Alat penukar kalor ini digunakan untuk menguapkan cairan yang ada pada larutan, sehingga dari larutan tersebut diperoleh larutan yang lebih pekat (*thick liquid*). Sistem yang dipergunakan adalah sistem uap dengan tekanan rendah, dan panas yang dimanfaatkan adalah laten heat yaitu panas yang dihasilkan dari perubahan fasa cair. Jenis evaporator sirkulasi bebas (alami), evaporator sirkulasi paksa, evaporator efek tunggal, evaporator efek ganda, dan lain-lain.

### 2.1.3 Proses-proses Perpindahan Panas

Proses-proses perpindahan panas ada tiga macam, yaitu :

#### 2.1.3.1 Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari sistem dengan suhu yang lebih tinggi ke sistem yang suhunya lebih rendah melalui satu medium (padat, cair dan gas) atau sistem yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Sebagai dasar perpindahan panas konduksi ditemukan oleh ilmuwan Perancis, J.B.J. Fourier, 1822, dimana hubungan antara laju aliran perpindahan panas dengan cara konduksi suatu bahan dapat diperoleh dari:

$$q_k = -k.A. \frac{dT}{dX}$$

Dimana :

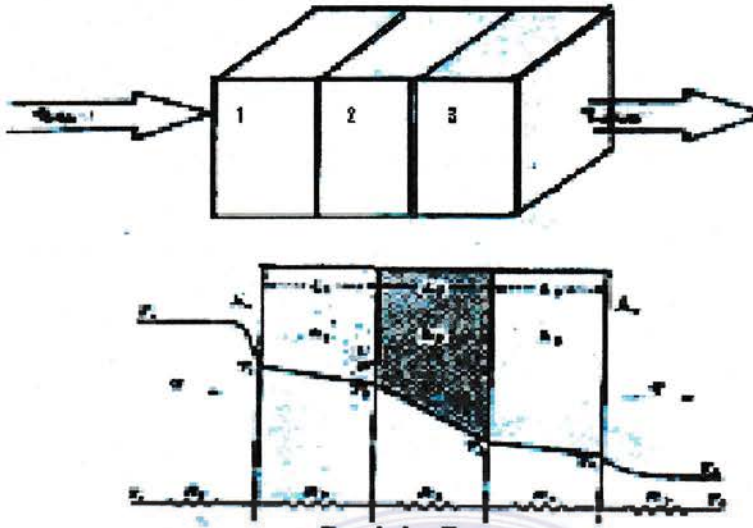
$q_k$  = Laju perpindahan panas secara konduksi (watt)

A. = Luas penampang, dimana panas mengalir dengan cara konveksi yang harus diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $m^2$ )

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

$\frac{dT}{dX}$  = Gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu (T) terhadap jarak dalam arah aliran panas  $X \left( \frac{k}{m} \right)$

Pada perpindahan panas konduksi selain ada mempunyai satu dinding konduksi, tetapi ada juga yang mempunyai 2 atau lebih dinding dengan konduktifitas, sistem demikian disebut 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 kerja yang mempunyai temperatur ( $T_0$ ), dimana akan lebih jelas lagi bila proses perpindahan panas konduksi digambarkan sebagai berikut :



Gbr. 2-3. Distribusi suhu dan rangkaian thermal untuk aliran panas melalui lapisan-lapisan dinding.

Dari gambar diatas aliran yang terjadi akan melalui dinding, karena aliran panas melalui lapisan dinding dengan luas (A), maka laju perpindahan panas (q) dapat diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 Q &= h_1 \cdot A \cdot (T_1 - T_0) = \frac{k_1}{l_1} \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \\
 &= \frac{k_2}{l_2} \cdot A \cdot (T_1 - T_3) = \frac{k_3}{l_3} \cdot A \cdot (T_2 - T_3) \\
 &= h_0 \cdot A \cdot (T_4 - T_0) \dots\dots\dots(\text{Lit.2. hal 35})
 \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat dituliskan dengan rangkaian thermal dalam bentuk tahanan thermal didapat dari [2] :

$$Q = \frac{T_i - T_l}{R_i} = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = \frac{T_4 - T_0}{R} \quad (\text{Lit..2. hal 35})$$

Dimana tahanan-tahanan (R) tersebut ditentukan dengan :

R untuk konveksi = hc. A

R untuk konveksi = hc. A

Dengan menentukan  $T_0$  dan  $T_1$  persamaan 2.3 dapat ditulis dari :

$$T_1 - T_1 = q. R_1$$

$$T_1 - T_2 = q. R_1$$

$$T_2 - T_3 = q. R_2$$

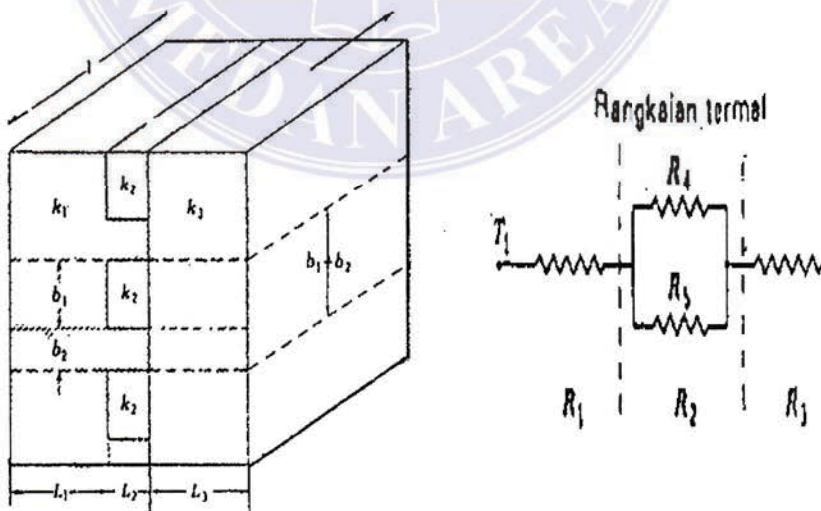
$$T_3 - T_4 = q. R_3$$

$$T_4 - T_0 = q. R_0$$

---


$$T_1 - T_2 = q. (R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_0) \text{ (Lit.2. Hal. 36)}$$

Pada rangkaian thermal jenis paralel seri mempunyai konduktivitas masing-masing lapisan konveksi yang sama baik untuk  $T_0$  maupun  $T_i$



Gbr. 2-4. Rangkaian thermal untuk lapisan dinding yang paralel

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

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

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

$$= \frac{L_1}{k_1} + \frac{b_1 + b_2}{k_1 \cdot b_2 + k_2 \cdot b_1} + \frac{L_3}{k_3} \dots (\text{Lit.2. hal 37})$$

### 2.1.3.2 Konveksi

Koveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu sistem yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke fluida yang mempunyai temperatur yang lebih rendah. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju aliran perpindahan panas secara konveksi adalah sebagai berikut :

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \dots \dots \dots (\text{Lit. 3. Hal 11})$$

dimana :

$q_c$  = Laju perpindahan panas dengan konveksi (Watt)

$h_c$  = Koefisien konvektif thermal satuan rata-rata atau koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata (W/m.K).

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas konveksi (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Beda temperatur permukaan dengan temperatur fluida pada suatu lokasi tertentu (°F, °K).

Persamaan tersebut diajukan oleh Issac Newton pada tahun 1701

Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi digunakan persamaan yang di dapat dari buku “ *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*”. Perpindahan panas konveksi pada sistem pemindah panas terdapat dua jenis konveksi yaitu lapisan konveksi didalam pipa dan lapisan konveksi diluar pipa.

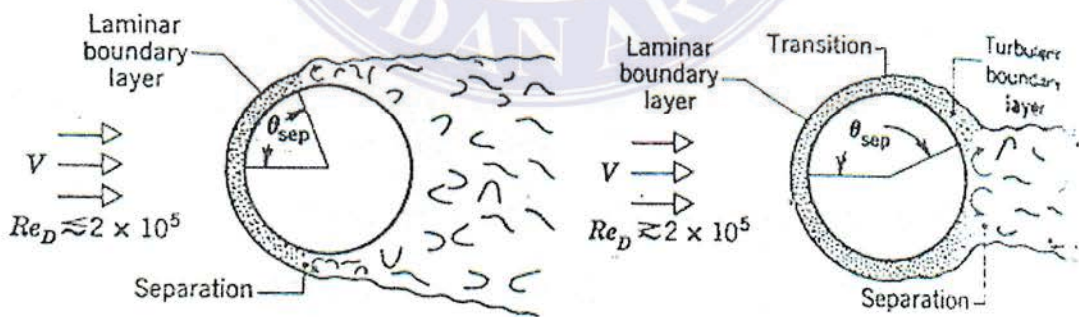
#### a. Lapisan Konveksi Luar (*External Flow*)

Pada lapisan diluar pipa, persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### 1) Bilangan Reynold (Re)

Bilangan reynold digunakan sebagai penunjuk jenis aliran fluida dalam pipa atau tabung diperoleh :

- a) Aliran Laminar,  $Re \leq 2300$
- b) Aliran Turbulen,  $Re \geq 4000$



Gbr.2- 5. Pemisahan pada efek turbulen

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Red} &= \frac{\rho.V.D}{\mu} \\ &= \frac{V.D}{\nu} \end{aligned}$$

dimana :

$\rho$  = Massa Jenis ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  = Kecepatan rata-rata (m/s)

$D$  = Diameter Pipa Hidrolik (m)

$\nu$  = Viscositas Kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\mu$  = Viscositas absolute ( $\text{N.s/m}^2$ )

## 2) Bilangan Nusselt

Dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\text{Nud} = C.\text{Red}^m . \text{Pr}^{1/3} \dots\dots\dots(\text{Lit.1 Hal 334})$$

Dimana :

$\text{Nud}$  = Bilangan Nuselt

$\text{Red}$  = Bilangan Reynold

$\text{Pr}$  = Bilangan Pranalt

Harga  $\text{Pr}$  didapat dari table dan harga  $m$  dan  $C$

tergantung pada bilangan Reynold sebagai berikut :

Tabel 2-1. Tabel Bilangan Reynold

Red	C	m
0,4 – 4	0,989	0,330
4 – 40	0,911,	0,385
40 – 4000	0,683	0,466
4000 – 40.000	0,193	0,618
40.000 – 400.000	0,027	0,805

Dengan didapatnya harga bilangan nusselt maka koefisien konveksi ( $h_c$ ) akan didapat dengan bantuan persamaan berikut ini

$$H_c = \frac{Nu.K}{d} \dots\dots\dots(\text{Lit. 1. Hal 369})$$

Dimana :

$h_c$  = Koefisien Konveksi ( $W/m^2.K$ )

$K$  = Konduktivitas bahan ( $W/m.K$ )

$D$  = Diameter Hidrolik pipa (m)

#### b. Lapisan Konveksi Dalam (*Internal flow*)

Sedangkan lapisan didalam pipa digunakan persamaan internal flow seperti dibawah ini ;

##### 1) Angka Reynolds

Angka Reynolds  $> 4000$  adalah aliran turbulen

Angka Reynolds  $< 2300$  adalah aliran laminar



Angka Reynolds dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini ;

$$Red = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots(Lit.1. Hal 394)$$

Atau :

$$Red = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D \cdot \mu} \dots\dots\dots(Lit.1. Hal 394)$$

dimana :

- $\rho$  = Massa Jenis (Kg/m<sup>3</sup>)
- V = Kecepatan rata-rata (m/s)
- D = Diameter Pipa Hidrolik (m)
- v = Viscositas Kinematik (m<sup>2</sup>/s)
- $\mu$  = Viscositas absolute (N.s/m<sup>2</sup>)

2) Bilangan Nusselt

Dengan mendapatkan bilangan Reynolds maka persamaan bilangan Nusselt di dapat dari persamaan berikut :

$$Nud = 0,023 \cdot Red^{4/5} \cdot Pr^n \dots\dots\dots(Lit 1. Hal 389)$$

Dimana :

n = 0,4 untuk pemanasan (T<sub>0</sub>>T<sub>i</sub>)

n = 0,3 untuk pendinginan (T<sub>i</sub>>T<sub>0</sub>)

n diatas beraku dengan salah satu syarat :

$$0,7 \leq pr \leq 160$$

$$Re_d \geq 10000$$

$$\frac{L}{D} > 10$$

Maka dengan didapatnya bilangan Nusselt maka koefisien perpindahan panas konveksi di dapat dari persamaan berikut ini :

$$h = Nud \cdot \frac{k}{D}$$

### 2.1.3.3 Radiasi

Radiasi thermal merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena adanya perbedaan suhu. Radiasi thermal dapat merambat dengan kecepatan sama dengan hasil perkalian panjang gelombang dengan frekuensi radiasi.

$$C = \lambda \cdot f$$

Dimana :

C = kecepatan cahaya

$\lambda$  = panjang gelombang

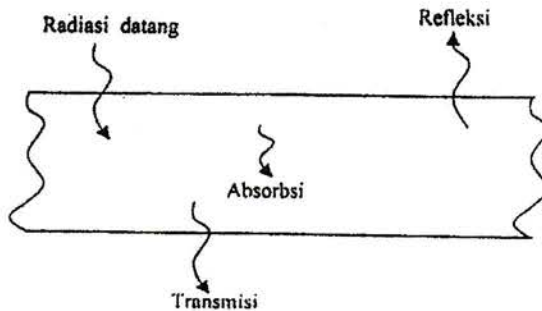
f = frekuensi

Perambatan radiasi thermal mengandung energi sebesar :

$$E = h \cdot f$$

Dimana :

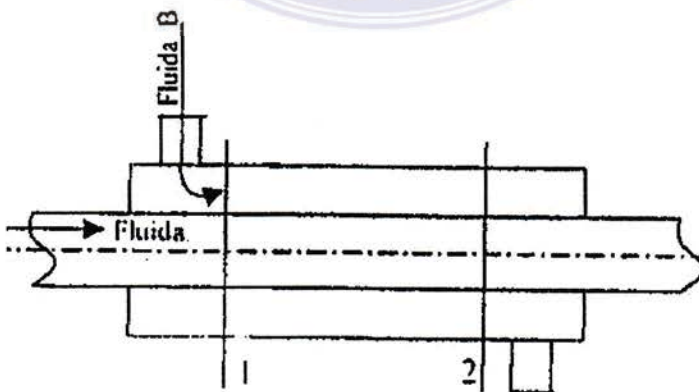
$$h = \text{konstanta plank (} h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{)}$$



Gbr.2-6. Proses perpindahan panas radiasi

#### 2.1.4 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Untuk perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi yang akan digunakan didalam koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa radiator. Dan terlebih dahulu diuraikan mengenai proses perpindahan panas antara dua jenis fluida kerja yang melalui radiator seperti terlihat pada gambar 2-6 dibawah ini :



Gbr.2- 7. Analog tahanan untuk silinder bolong dengan kondisi batas konveksi.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)24/7/24

Pada gambar 2-7 diatas menerangkan bahwa salah satu fluida mengalir didalam pipa, sedangkan fluida yang satu lagi terjadi diluar pipa dan sirip yang digunakan sebagai media pendingin udara. Jadi koefisien perpindahan panas menyeluruh didasarkan atas luas dalam atau luas luar pipa. Untuk koefisien perpindahan panas menyeluruh didasarkan atas luas dalam pipa ( $U_1$ ) dapat diperoleh dari :

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot l} + \left(\frac{A_i}{A_o} + \frac{1}{h_o}\right)} \quad \text{..... (lit. 4. hal. 310)}$$

Dan untuk koefisien perpindahan panas menyeluruh didasarkan atas luas luar pipa ( $U_o$ ) dapat diperoleh dari :

$$U_o = \frac{1}{\left[\frac{A_o}{A_i} \times \frac{1}{h_i}\right] + \frac{A_o \times \ln\left[\frac{r_o}{r_i}\right]}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot l} + \frac{1}{h_{oi}}} \quad \text{.....(Lit.4.hal.310)}$$

Dimana :

$U_1$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh didalam pipa (W/m.K)

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

$h_1$  = Koefisien perpindahan panas konveksi didalam pipa (W/m<sup>2</sup>.K)

$A_1$  = Luas perpindahan panas pada bagian didalam pipa (m<sup>2</sup>)

$r_1$  = Jari-jari didalam pipa (m)

$h_o$  = Koefisien perpindahan panas konveksi diluar pipa (W/m<sup>2</sup>.K)

$A_0$  = Luas perpindahan panas pada bagian luar pipa ( $m^2$ )

$r_o$  = Jari-jari diluar pipa (m)

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

$L$  = Panjang pipa (m)

### 2.1.5 Penurunan tekanan (*Pressure Drop*)

Penurunan tekanan pada radiator biasanya terjadi karena gesekan aliran pada permukaan dalam pipa radiator. Untuk perhitungan penurunan tekanan sangatlah penting dalam perencanaan radiator, seperti terlihat pada persamaan dibawah ini :

$$\Delta P = \frac{G^2}{2 \cdot g_c} \cdot v \cdot f \cdot \frac{L}{r_h} \dots\dots\dots (Lit.3.hal.541)$$

Dimana :

$\Delta P$  = Penurunan tekanan ( $N/m^2$ )

$G$  = Kecepatan masa fluida yang mengalir ( $Kg/dt$ )

$g_c$  = Percepatan gravitasi ( $Kgm/ N.dt^2$ )

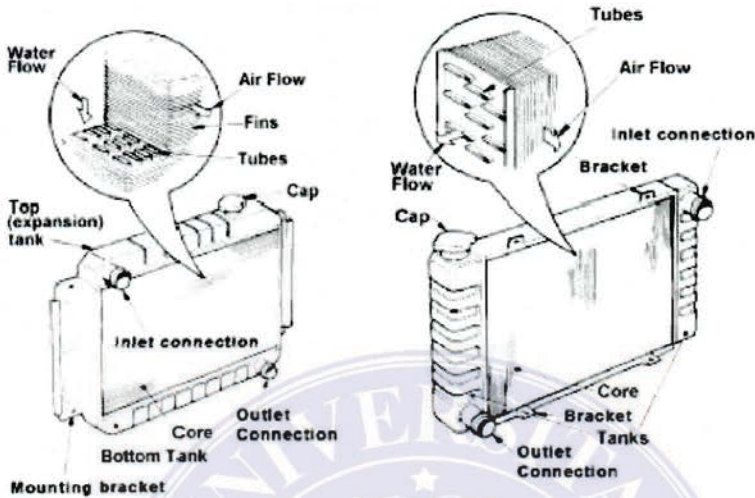
$v$  = viscositas ( $m^2/ dt$ )

$L$  = panjang pipa (m)

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

## 2.3 Komponen-Komponen Sistem Pendingin Radiator

### 2.3.1 Radiator



Gbr. 2-8. Konstruksi radiator

Radiator berfungsi untuk mendinginkan air yang telah bersirkulasi dari water jeket. Radiator terbuat dari plat tembaga. Radiator terdiri dari tangki atas dan tangki bawah yang dihubungkan dengan kisi-kisi radiator (*radiator core*). Radiator core terdiri dari sejumlah tabung-tabung, yang dilengkapi dengan sirip-sirip (*fins*), dimana air mengalir dari tangki atas (*upper tank*), ketangki bawah (*lower tank*). Bentuk sirip-sirip radiator terdiri dari 2 macam, yaitu:

#### 2.3.1.1 Tipe Sirip Rata (*Flate Fin type*)

Terdiri dari tabung tembaga yang berbentuk oval. Tabung-tabungnya disusun secara vertical dan dilas menjadi satu dengan sirip-sirip yang berbentuk rata.

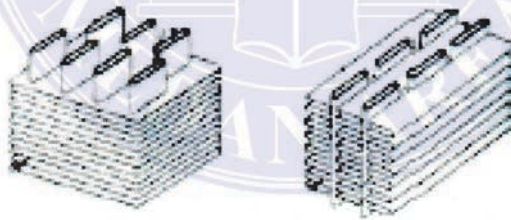
Gambar dari sirip rata ditunjukkan dengan gambar di bawah ini:



Gbr.2-9. Radiator tipe sirip rata

#### 2.3.1.2 Tipe Berombak (*Corrugated Fin type*)

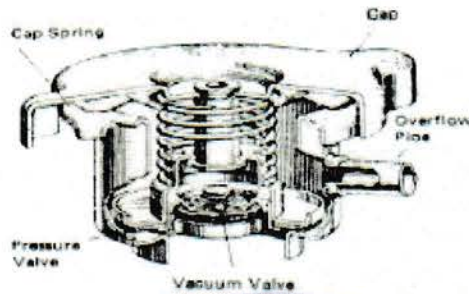
Mempunyai sirip-sirip yang berbentuk gelombang (ombak) dan mempunyai keuntungan-keuntungan antara lain permukaan lebih luas, lebih ringan dan lebih mudah dibuat bila dibandingkan dengan bentuk tipe sirip rata.



Gbr. 2-10. Radiator tipe sirip berombak

### 2.3.1 Tutup Radiator

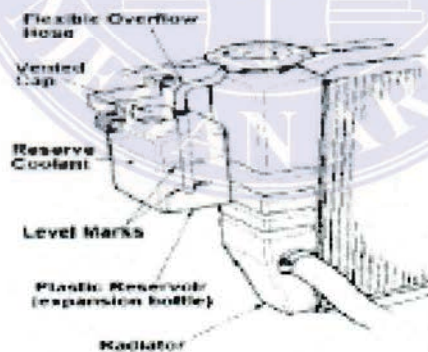
Tutup radiator berfungsi untuk mencegah mendidihnya air pendingin pada saat air pendingin tersebut mencapai suhu 100°C. Tutup radiator terdiri dari pegas, reliev dan vacuum valve.



Gbr.2-11. Tutup Radiator

### 2.3.2 Tangki Cadangan (*Reservoir Tank*)

Tangki cadangan berfungsi untuk memperbesar ruang ekspansi air pendingin selama bekerja. Tangki cadangan ini diletakan didekat radiator dan terbuat dari plastik.



Gbr. 2-12. Tangki cadangan

### 2.3.3 Pompa Air (*Water Pump*)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

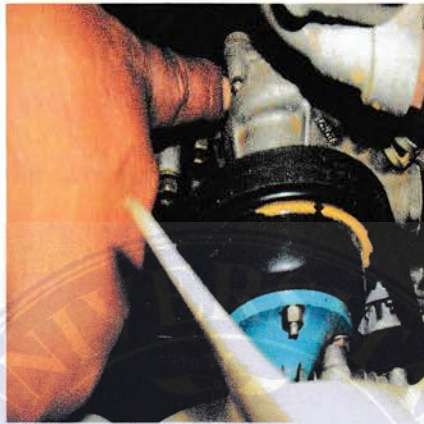
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)24/7/24



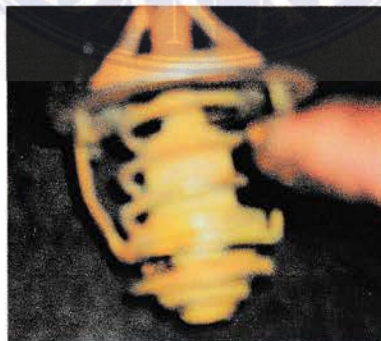
Pompa air berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin dan terbuat dari besi tuang dan aluminium. Jenis pompa ini adalah pompa sentrifugal (*centrifugal pump*). Pompa ini dipasang didepan blok mesin dan digerakkan oleh puli poros engkol melalui “V” belt.



Gbr. 2-13. Pompa air

### 2.3.4 Thermostat

Thermostat berfungsi untuk mempercepat tercapainya temperatur kerja mesin dan untuk mempertahankan temperatur kerja mesin pada saat bekerja. Thermostat terbuat dari kuningan.



Gbr. 2-14. Thermostat

### 2.3.5 Saluran radiator (*Radiator by pass*)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)24/7/24

Dalam sistem pendingin yang terkontrol, air akan dilewatkan melalui radiator yang dikembalikan langsung kedalam pompa. Berapa instalasi diperlihatkan pada gambar 3-3.

Jika dinding pendingin memiliki luas yang sama, kontak dengan udara panas pada sisi luar, maka terlihat kecenderungan antara suhu atmosfer dengan suhu rata-rata didalam tabung. Tetapi suhu ini lebih tinggi untuk memudahkan pendinginan dalam mesin semua bagian blok dipanaskan secara merata. Oleh karena itu katup didalam outlet pada radiator yang tertutup oleh thermostat, maka tekanan akan dibangun oleh pompa dan katup, maka untuk saluran by pass akan terbuka secara otomatis, kemudian akan diteruskan melalui radiator, pompa begitu juga sebaliknya seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Saluran by pass

Gbr. 2-15. Saluran By pass

## 2.4 Bahan radiator

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 24/7/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)24/7/24

Bahan radiator terbuat dari tembaga dan kuningan. Dimana tembaga digunakan atas perkiraan konduktivitas yang tinggi, serta resensinya terhadap korosi dan juga kekerasannya yang mempermudah untuk bersikulasi pada radiator. Bahan kuningan lebih kuat dari tembaga dan bahan ini digunakan pada sirip dan pipa atau tabung dalam inti radiator.

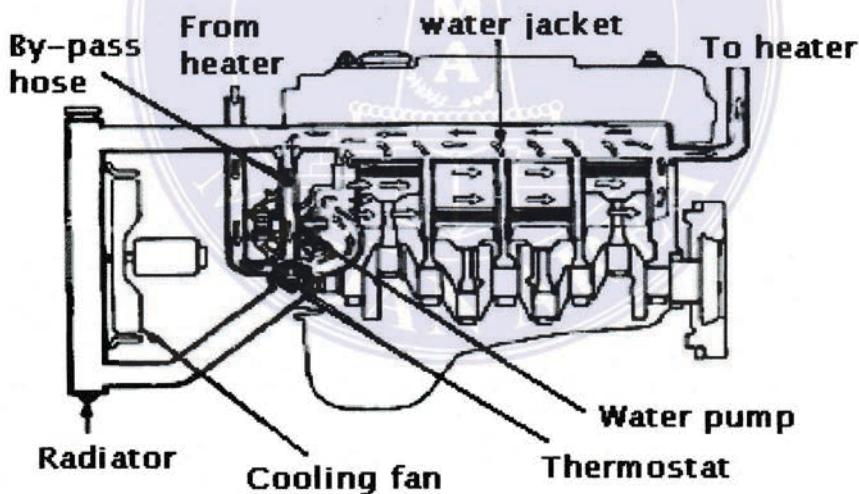


## BAB III

### METODE PERANCANGAN

#### 3.1 Sirkulasi pendingin air pada mesin

Panas yang diserap oleh air dari gas pembakaran haruslah dibuang keudara secepat mungkin. Untuk itu air harus disirkulasikan melalui radiator, yang biasanya terletak didepan mesin. Sirkulasi air pendingin dapat diefektifkan dengan menggunakan pompa yang disusun sedemikian rupa sehingga pengembangan air oleh panas yang diserap didalam lapisan air konsekuensinya yang terus meningkat menyebabkan air tersebut bersikulasi.



Gbr. 3-1. Sistem sirkulasi pendingin air pada mesin

Jumlah panas yang diserap oleh lapisan air mengalami peningkatan seiring dengan kecepatan dan beban mesin. Dalam radiator, panas haruslah dipindahkan pertama lagi ke logam inti ke udara, dan dalam kasus laju transfer ini akan direduksi oleh yang disebut pembentukan film.

Dalam sistem pendinginan dengan air, maka panas dilewatkan /ditransfer ke air disekitar ruang bakar dan silinder air yang panas kemudian beredar menuju radiator. Air diteruskan melalui pipa radiator, panasnya ditransfer kesirip radiator dimana panas tersebut disemburkan ke udara, air kemudian kembali kemesin.

Beberapa faktor yang menentukan tingkat pendingin adalah sebagai berikut :

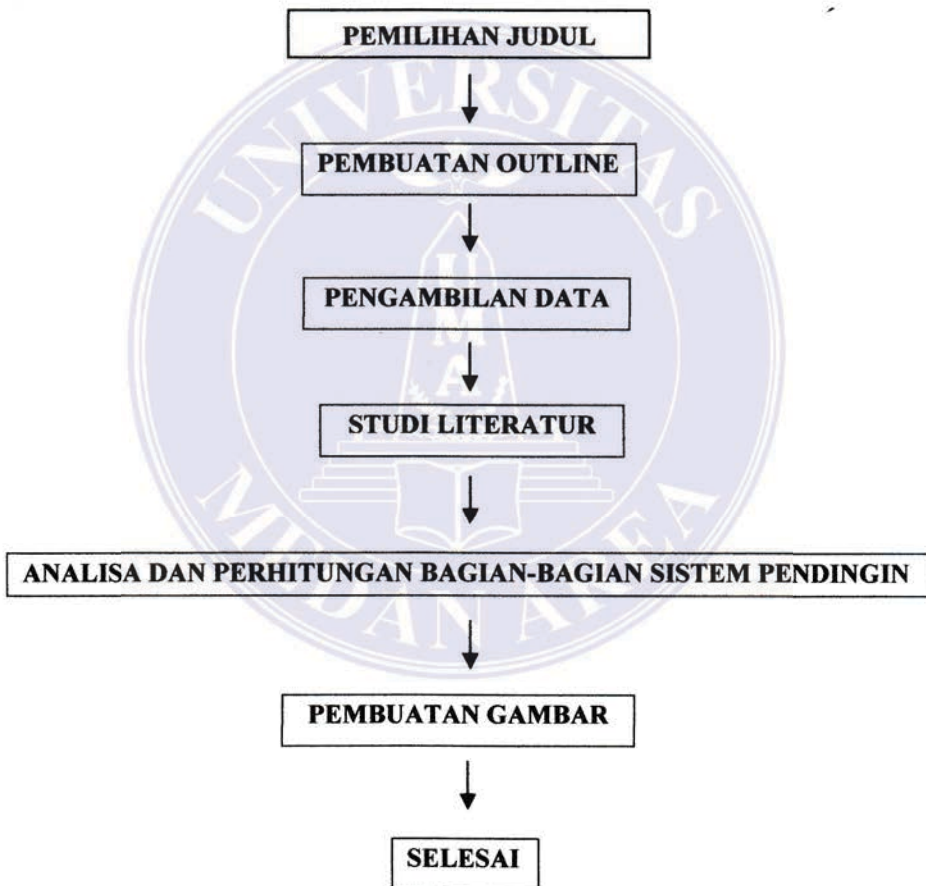
- 3.3.1 Perbedaan temperatur antara udara dan air
- 3.3.2 Perbandingan aliran air
- 3.3.3 Luas permukaan kisi-kisi radiator
- 3.3.4 Perbandingan aliran udara

Pada sirkulasi air pembuangan panasnya sebanding dengan faktor yang ditentukan oleh panas yang disuplai. Tetapi dengan peningkatan kecepatan dari sirkulasi laju perbandingan panas akan terus meningkat.

### 3.2 Prosedur Perencanaan

Objek perencanaan pada Tugas Akhir ini adalah perencanaan radiator pada kendaraan Toyota Kijang dengan daya (N) 86 Hp dan (n) 6000 rpm. Pengambilan data dilakukan di Departemen Otomotif PPPPTK Medan.

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan mulai 27 April 2009 sampai dengan 27 Juli 2009.



Gbr. 3-2. Diagram Aliran Perencanaan

Keterangan dari diagram di atas adalah sebagai berikut:

### 1. Pemilihan Judul

Berdasar pada penjelasan yang telah diuraikan sebelumnya, pada penulisan Tugas Akhir ini ada beberapa hal yang menjadi alasan bagi penulis dalam pengambilan judul yang antara lain:

- a. Sangat menarik minat penulis untuk mengangkat sebagai judul Tugas Akhir.
- b. Judul Tugas Akhir ini belum pernah diangkat pada tahun-tahun sebelumnya.
- c. Sesuai dengan bidang keahlian yang penulis pelajari selama ini di perkuliahan.

### 2. Pembuatan *outline*

Pembuatan proposal (*outline*) tugas akhir dengan judul “Perencanaan Radiator pada kendaraan Toyota Kijang dengan daya (N) 86 Hp dan putaran (n) 6000 rpm” dimana sebagai masalah yang akan diangkat sebagai tugas akhir.

### 3. Pengambilan data

Survey langsung di lapangan dilakukan di Work Shop KARYA AKASIA Medan untuk mendapatkan data-data sebagai pembanding dengan data-data yang terdapat dalam buku-buku referensi. Dan juga untuk mengetahui sirkulasi, dan cara kerja sistem pendingin radiator yang terdapat pada gambar 3.1 di atas.

#### 4. Studi literatur

Mengumpulkan sebanyak mungkin buku-buku referensi tentang perpindahan kalor, yang akan dijadikan sebagai sumber penulisan Tugas Akhir, buku-buku tersebut seperti tercantum pada daftar literatur.

#### 5. Analisa dan perhitungan radiator

Menentukan bentuk konstruksi, variabel proses yang bekerja, tekanan yang bekerja, laju aliran, temperatur, bahan material, nilai konduktivitas termal, kemudian menerapkan rumus-rumus perhitungan yang sesuai dengan alat yang ada di lapangan.

#### 6. Pembuatan gambar

Menuangkan hasil analisa dan perhitungan pada radiator, menjadi sebuah gambar yang menunjukkan konstruksi sebuah radiator. Gambar rancangan konstruksi radiator tersebut seperti tercantum pada lampiran.

#### 7. Selesai

Laporan Tugas Akhir selesai bila telah selesai bimbingan dari dosen pembimbing



## BAB V

### KESIMPULAN

Pada perencanaan radiator ini digunakan untuk membuang panas dari air pendingin yang panas yang telah beredar melalui sistem pendingin. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, diambil kesimpulan sebagai berikut:

#### 7.1 Perencanaan Radiator

1. Daya	: 86 Hp
2. Pemakaian bahan bakar spesifik (Be)	: 0,200-0,300 kg/Hp.hr
3. Nilai pembakaran rendah (LHV)	: 9.500-10.500 K cal / Kg
4. Efisiensi yang diserap oleh air ( $\eta_w$ )	: 0.32-0.35
5. Temperatur air masuk radiator ( $T_i$ )	: 81.46 °C
6. Temperatur air keluar radiator	: 67,33 °C
7. Laju aliran massa ( $m_w$ )	: 0.3 kg/s
8. Kecepatan rata-rata ( $V_{r_w}$ )	: $1.15 \cdot 10^{-2}$ m/s
9. Debit fluida ( $Q_w$ )	: 0.306 l/s
10. Laju perpindahan panas ( $q_w$ )	: 60761,012 W
11. Jumlah kalor yang bergabung ( $q_{tot}$ )	: 1429.56 W
12. Jumlah pipa ( $N_t$ )	: 76 Pipa
13. Efektivitas ( $\epsilon$ )	: 0.66

#### 7.2 Ukuran-Ukuran Utama

##### 7.2.1 Pipa

##### a. Ukuran luar pipa 18 mm x 4 mm

1) Luas penampang pipa ( $A_0$ ) :  $7,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

2) Luas total permukaan pipa ( $A_{0_{tot}}$ ) :  $1.5544 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

3) Tebal pipa : 1mm

b. Ukuran dala pipa 16 mm x 2 mm

1) Luas penampang pipa ( $A_i$ ) :  $3.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

2) Luas total permukaan ( $A_{i_{tot}}$ ) :  $1.2664 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

c. Panjang pipa (L) : 0.35 m

### 7.2.2 Sirip

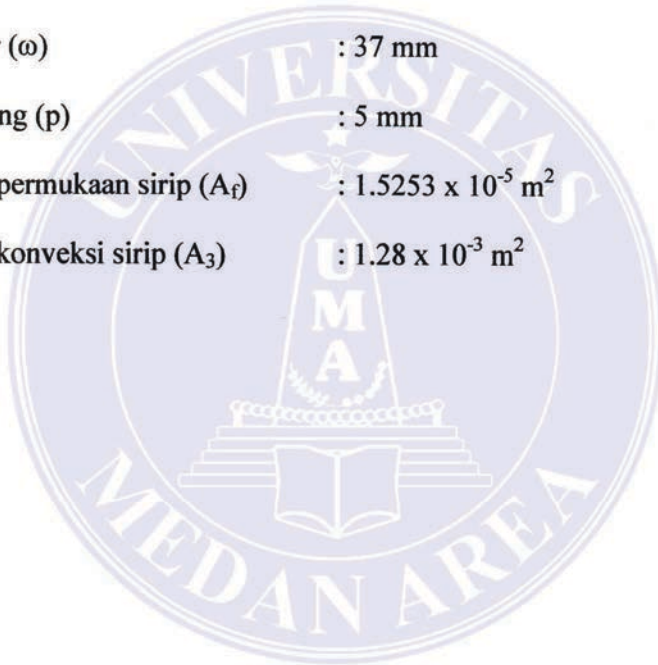
a. Tebal (t) : 0.101 mm

b. Lebar ( $\omega$ ) : 37 mm

c. Panjang (p) : 5 mm

d. Luas permukaan sirip ( $A_f$ ) :  $1.5253 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

e. Luas konveksi sirip ( $A_3$ ) :  $1.28 \times 10^{-3} \text{ m}^2$



## DAFTAR PUSTAKA

1. Frank P. Incropera, David P. Dewitt. 1981 dan 1985. "**fundamental of Heat and Mass Transfer**", edisi kedua, John Wiley dan Sons, Inc, USA
2. Frank kreith, Arko prijono, M.Sc. 1994 **Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas** edisi ketiga, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta
3. JP. Holman. 1991. **Perpindahan Kalor**, edisi keenam, penerbit Erlangga, Jakarta
4. W.M. Kays & A. L. London. 1984 **Compact Heat Exchanger**, edisi ketiga, Mc. Glaw-Hill Book Company, New York
5. V.L Maleev. 1989. **Internal-Combution Engine** , edisi kedua, Mc. Glaw-Hill Book Company
6. Lester C. Lichty. 1951. **Internal-Combution Engine** , edisi keenam, Mc. Glaw-Hill book Company
7. S.P. SEN. 198 **Internal-Combution Engine Theory and Practicse**, Edisi kedua.
8. Tunggul M. Sitompul, **Alat Penukar Kalor**, PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
9. Daryanto. 2004. **Pemeliharaan Sistem Pendinginan dan Pelumasan Mobil**, Yrama Widya. Bandung.