

PERENCANAAN RADIATOR MINIBUS DAIHATSU ZEBRA ESPAS

SKRIPSI

O
L
E
H

RICKY MUHAMMAD FAISAL

NIM : 01.813.0050



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2004

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/12/23

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)14/12/23



PERENCANAAN RADIATOR MINIBUS DAIHATSU ZEBRA ESPAS

TUGAS AKHIR

Oleh :

Ricky Muhammad Faisal
NIM : 01.813.0050

Menyetujui :
Komisi Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

(Ir. Darianto, M.Sc)

(Ir. Syafrilan Lubis)

Mengetahui,

Dekan,

Ketua Jurusan,

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

(Ir. Darianto, M.Sc)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/12/23

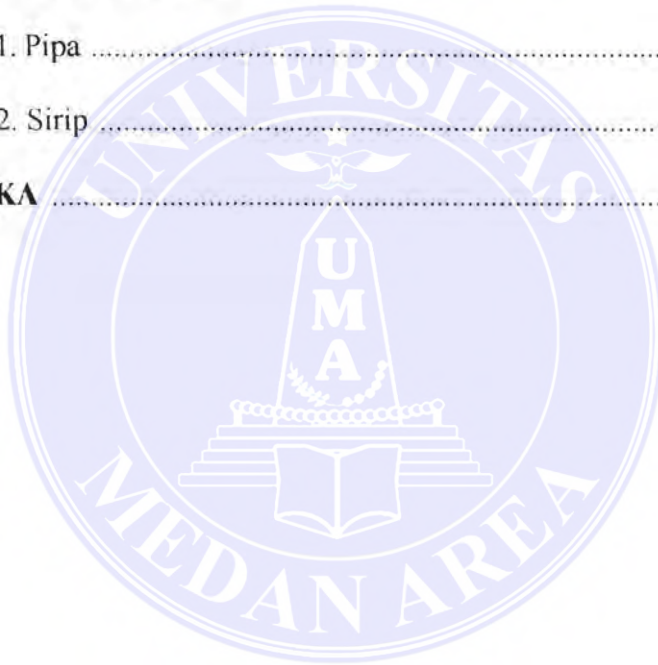
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR NOTASI	vii
BAB III PENDAHULUAN	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Latar Belakang Masalah	1
1.3. Batasan Masalah	2
BAB II LANDASAN TEORI	3
2.1. Pengertian Penukar Kalor	3
2.2. Jenis-Jenis Penukar Kalor	3
2.2.1. Berdasarkan kepada bentuk dan konstruksinya	3
2.2.2. Berdasarkan kepada pengaturan alirannya penukar kalor ini	5
2.3. Proses-Proses Perpindahan Panas	10
2.3.1. Konduksi	10
2.3.2. Konveksi	14
2.3.3. Radiasi I	9
2.4. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh	20

2.5. Penurunan Tekanan (Pressure Drop)	22
BAB III RADIATOR	23
3.1. Panas Yang Diserap Oleh Air	25
3.2. Bahan Radiator	26
3.3. Saluran Radiator (Radiator by Pass)	26
BAB IV ANALISA THERMODINAMIKA	28
4.1. Pemilihan Sirkulasi Motor Otto	28
4.2. Perhitungan Pada Setiap Proses	30
BAB V PERENCANAAN PIPA DAN SIRIP	36
5.1. Alat Penukar Kalor	36
5.2. Luas Permukaan	36
5.2.1. Pipa	37
5.2.2. Sirip	39
BAB VI PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR	42
6.1. Laju Aliran Panas	42
6.2. Konveksi	45
6.2.1. Internal Flow	45
6.2.2. External Flow	46
6.3. Kalor Yang Dibuang Oleh Udara	48
6.4. Koefisien Perpindahan Panas	54
6.4.1. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)	54
6.4.2. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h)	56

6.5. Penurunan Tekanan/Pressure Drop (ΔP)	57
6.6. Efektivitas (ϵ)	61
BAB VII KESIMPULAN	63
7.1. Perencanaan Radiator	63
7.2. Ukuran-Ukuran Utama	64
7.2.1. Pipa	64
7.2.2. Sirip	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Maksud dan tujuan tugas akhir ini adalah merancang sistem heat exchanger dari sistem yang dirancang selanjutnya berguna untuk :

- a. Mengetahui efektivitas sebuah heat exchanger dan mendapatkan efektivitas perpindahan panas.
- b. Dapat menghitung jumlah kalor yang bertukar pada heat exchanger itu
- c. Memperkirakan kapasitas kemampuan heat exchanger pada sebuah perencanaan heat exchanger.

1.2. Latar Belakang Masalah

Untuk ikut menggalakan program hemat energi nasional sebagai mahasiswa sekaligus generasi penerus dituntut untuk dapat mengembangkan sistem-sistem hemat energi. Jadi salah satu dari sistem tersebut adalah perencanaan alat penukar kalor pada mobil yaitu radiator. Kalor yang diserap air pendingin dari mesin didinginkan pada radiator dengan memanfaatkan fluida udara luar sebagai fluida pendingin, sehingga air yang didinginkan dapat disirkulasikan kembali melalui pompa air.

Rancangan ini wujud nyata dari penerapan ilmu yang didapat selama masa perkuliahan. Pada perencanaan ini perpindahan panas terjadi secara konveksi. Dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

perencanaan ini diharapkan bias memprediksi temperature masuk dan keluar suatu heat exchanger di lapangan, bahan-bahan dipilih dengan koefisien thermal yang sesuai bagi pemindah panas yaitu tembaga salah satu bahan yang diambil 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 ada proses pencampuran.

1.3. Batasan Masalah

Masalah yang dibahas pada perencanaan heat exchanger ini adalah :

- a. Merancang sistem heat exchanger pada radiator
- b. Perhitungan perpindahan panas di heat exchanger dilakukan sederhana mungkin. Dalam perhitungan perpindahan panas konveksi menggunakan perhitungan external flow dan internal flow.
- c. Perhitungan efektivitas heat exchanger
- d. Tidak membahas mengenai steam generator
- e. Tidak membahas perpindahan panas secara radiasi

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Penukar Kalor

Penukar kalor adalah sebuah media penghantar yang memindahkan atau mentransfer energi atau kalor yang ada pada suatu sisi yang lain. Energi atau kalor yang di transfer diakibatkan oleh berbagai hal misalnya :

- a. Adanya perbedaan temperature, yakni dari sistem yang bertemperatur tinggi akan mengalir kalor ke sistem bertemperatur lebih rendah.
- b. Untuk tujuan kemudahan analisa dilakukan analogi ke sistem listrik.

Pokok bahasan ini lebih ditekankan pada penukar kalor dengan parameter temperatur, perpindahan kalor di idealisasi tanpa adanya aliran massa, sehingga temperatur bisa di analogikan sebagai potensial penggerak perpindahan energi kalor.

2.2. Jenis-Jenis Penukar Kalor

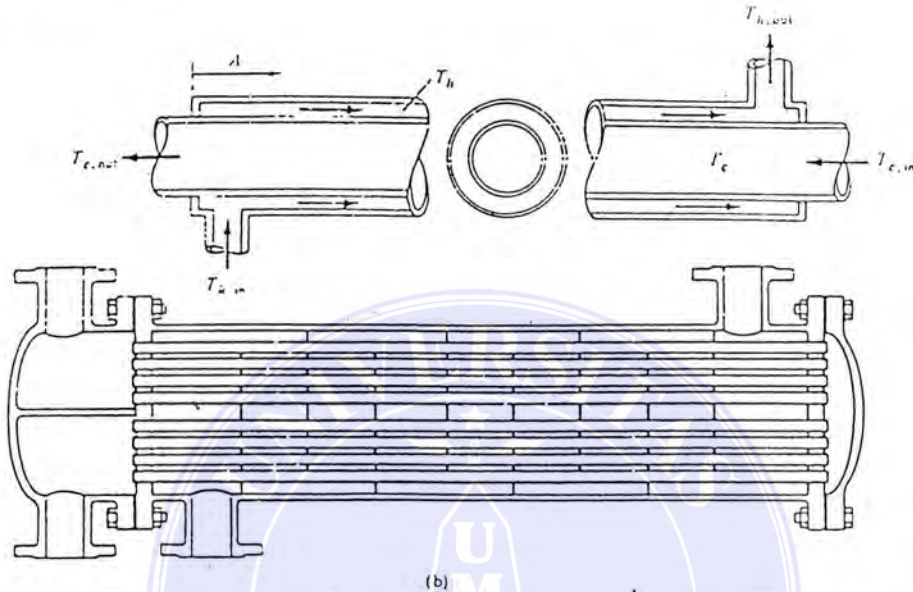
2.2.1. Berdasarkan kepada bentuk dan konstruksinya

Berdasarkan kepada bentuk dan konstruksinya penukar kalor mempunyai jenis-jenis berikut :

2.2.1.1. Konstruksi Tabular (*shell dan tube*)

Merupakan jenis yang paling sederhana yang terdiri dari sebuah pipa yang konsentrik didalam dan aliran lainnya merupakan tube. Salah satu fluida mengalir

melalui pipa dalam, fluida lainnya mengalir melalui pipa luar. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2-1 Alat penukar kalor aliran-lawan pipa di dalam pipa yang sederhana

Shell dan Tube terdiri atas :

- a. Tube ganda
- b. Konstruksi shell dan tube

Konstruksi shell dan tube yang terdiri dari :

- ✓ Sekat plat (plate baffle)
- ✓ Sekat batang (rod baffle)
- ✓ Konstruksi tube spiral

2.2.1.2. Konstruksi type plat

- a. Type plat

- b. Type lamella

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/12/23

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)14/12/23

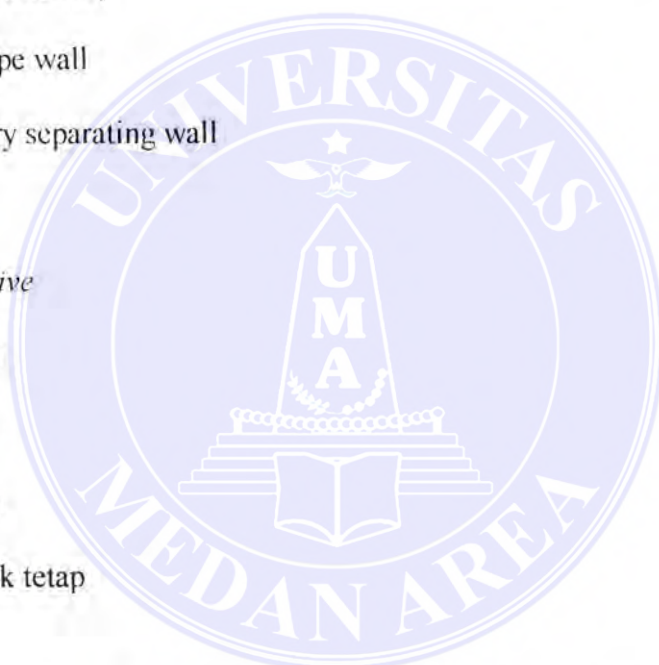
- c. Type spiral
- d. Type plat koil

2.2.1.3. Konstruksi dengan luar permukaan diperluas (*extended surface*)

- a. Sirip pelat (plate fin)
- b. Sirip tube (tube fin)
 - ✓ Heat tupe wall
 - ✓ Ordinary separating wall

2.2.1.4. Regenerative

- a. Type rotari
- b. Type disk
- c. Type drum
- d. Type matrik tetap



2.2.2. Berdasarkan kepada pengaturan alirannya penukar kalor ini terbagi atas :

2.2.2.1. 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

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

2.2.2.2. Aliran Multipass

- a. Permukaan yang diperbesar (extended force)
 - 1. Aliran counter menyilang
 - 2. Aliran parallel yang menyilang
 - 3. aliran kompond
- b. Multipass plat
 - N- Paralel plat multipass

2.2.2.3. Berdasarkan fungsinya pengelompokan penukar kalor adalah :

2.2.2.3.1. Chiller

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

2.2.2.3.2. 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. Mislanya, pada pembangkit listrik tenaga uap yang mempergunakan Condensing Turbine, 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.

2.2.2.3.3. Cooler

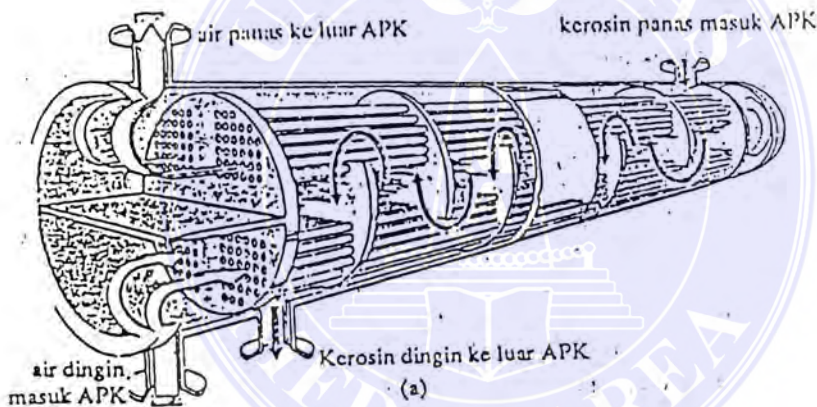
Alat penukar kalor digunakan untuk mendinginkan (menurunkan suhu) cairan atau gas dengan mempergunakan air sebagai pendingin. Disini tidak dimasalahkan terjadinya perubahan fasa atau tidak seperti kondensor. Pendingin cooler pada saat ini dipergunakan untuk udara, dengan mempergunakan bantuan kipas.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

2.2.2.3.4. Exchanger atau Heat Exchanger

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

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

Suhu yang masuk dan keluar beda jenis fluida diatur sesuai dengan kebutuhannya. Seperti pada gambar terlihat bahwa konstruksi sebuah alat penukar kalor (Heat Exchanger), dimana cairan yang berada dalam tube adalah air. Di sebelah luar dari tube adalah shell (shell-shell) adalah kerosene masuk dan melintasi sekat-sekat yang ada hingga keluar pada bagian 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.



Gambar 2-2. Konstruksi APK, menunjukkan arah aliran fluida di dalam dan di luar tube

2.2.2.3.5. Reboiler

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk mendidihkan kembali (reboil) serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Adapun media pemanas yang sering dipergunakan 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.

2.2.2.3.6. Heater

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

2.2.2.3.7. 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 pemanas berupa nyala api dan gas asap berada di luar 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.

2.2.2.3.8. Evaporator

Alat penukar kalor digunakan untuk menguapkan cairan yang ada pada larutan, sehingga dari larutan tersebut diperoleh larutan yang lebih pekat (thick liquor). Sistem yang dipergunakan adalah sistem uap dengan tekanan rendah, dan panas yang dimanfaatkan adalah “latent heat”, yaitu panas yang dihasilkan dari perubahan fasa uap menjadi fasa cair. Jenis evaporator yang umumnya dipergunakan adalah evaporator sirkulasi bebas (alami), evaporator sirkulasi paksa, evaporator efek tunggal, evaporator efek ganda, dll.

2.3. Proses-Proses Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas ada 3 macam yaitu :

2.3.1. 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 atau gas) atau sistem yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Sebagai dasar dari perpindahan panas secara konduksi ditemukan oleh ilmuwan Perancis, J.B.J. Fourer, 1882, dimana hubungan laju aliran panas dengan cara konduksi suhu bahan dapat diperoleh dari [1].

$$q_k = -k.A.\frac{dT}{dX} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

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

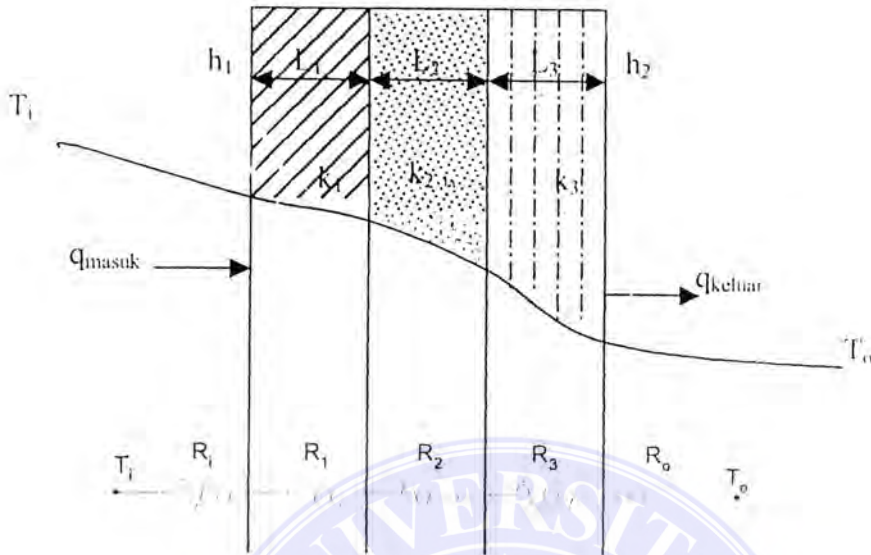
k = Konduktivitas thermal bahan (W / m.K)

$\frac{dT}{dX}$ = Gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu T

terhadap jarak dalam arah aliran panas X $\left(\frac{k}{m}\right)$

qk = Laju perpindahan panas oleh konduksi (Watt)

Pada perpindahan panas konduksi selain ada mempunyai satu dinding konduksi, tetapi ada juga mempunyai dua atau lebih dinding dengan beda konduktivitas, sistem demikian disebut dinding komposit. Lapisan dalam dinding bersinggungan dengan fluida yang mempunyai serta luas penampang masing-masing. Sedangkan fluida lain yang mempunyai temperatur (T_0), dimana akan lebih jelas lagi bila proses perpindahan panas konduksi digambarkan sebagai berikut :



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

Dari gambar di atas aliran panas terjadi akan melalui dinding. Karena aliran panas melalui lapisan dinding dengan luas A maka laju perpindahan panas (q) dapat diperoleh dari [2]

$$\begin{aligned}
 q &= h_i \cdot A \cdot (T_i - T_o) = \frac{k_1}{L_1} \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \\
 &= \frac{k_2}{L_2} \cdot A \cdot (T_1 - T_3) = \frac{k_3}{L_3} \cdot A \cdot (T_3 - T_4) \\
 &= h_o \cdot A \cdot (T_4 - T_{o1}) \dots\dots\dots (2.2)
 \end{aligned}$$

Persamaan di atas dapat dituliskan dengan rangkaian thermal dalam bentuk tahanan thermal didapat dari [2].

$$q = \frac{T_i - T_1}{R_i} = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = \frac{T_4 - T_o}{R_o} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana tahanan-tahanan (R) tersebut ditentukan dengan :

$$R \text{ untuk konveksi} = hc \cdot A$$

$$R \text{ untuk konduksi} = \frac{k}{X} \cdot A$$

Dengan menentukan T_0 dan T_i persamaan 2.3 dapat ditulis dari [3]

$$T_i - T_1 = q \cdot R_i$$

$$T_1 - T_2 = q \cdot R_1$$

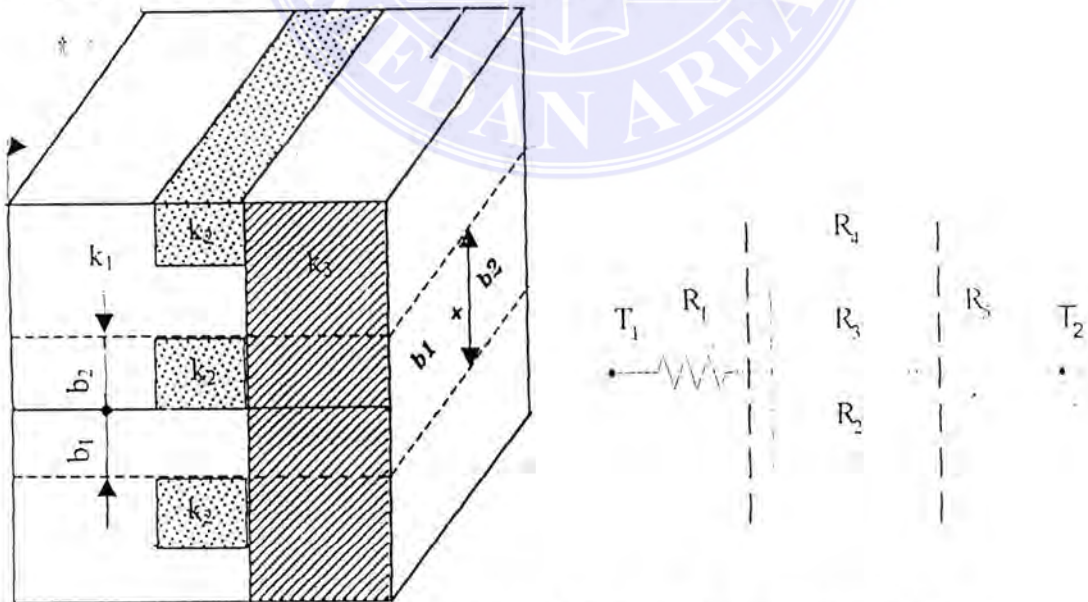
$$T_2 - T_3 = q \cdot R_2$$

$$T_3 - T_4 = q \cdot R_3$$

$$T_4 - T_0 = q \cdot R_0$$

$$T_i - T_0 = q \cdot (R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_0) \dots \dots \dots (2.4)$$

Pada rangkaian thermal jenis parallel-seri mempunyai konduktivitas masing-masing lapisan konveksi yang sama baik itu untuk T_0 maupun T_i .



Gambar 2-4. Rangkaian thermal untuk lapisan dinding yang parallel

Persamaan untuk tahanan thermal rangkaian parallel-seri dari [4] adalah sebagai berikut :

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

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

$$= \frac{L_1}{k_1} + \frac{b_1 + b_2}{\frac{k_1 \cdot b_2}{L_2} + \frac{k_2 \cdot b_1}{L_2}} + \frac{L_3}{k_3} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.3.2. Konveksi

Konveksi adalah proses 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 dari [5] adalah sebagai berikut :

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

q_c = Laju perpindahan panas dengan konveksi (Watt)

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

A = Luas permukaan perpindahan panas konveksi (m²)

ΔT = Beda temperatur permukaan dengan temperatur fluida pada suatu

UNIVERSITAS MEDAN AREA (F,K)

Persamaan 2.6 tersebut diajukan oleh Isaac Newton pada tahun 1701.

Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi digunakan persamaan yang didapat dari buku “Fundamental of Heat And Mass Transfer”. Perpindahan panas konveksi pada sistem pemindah panas terdapat dua jenis konveksi yaitu lapisan konveksi di dalam pipa dan lapisan konveksi di luar pipa.

2.3.2.1. Lapisan konveksi luar (External Flow)

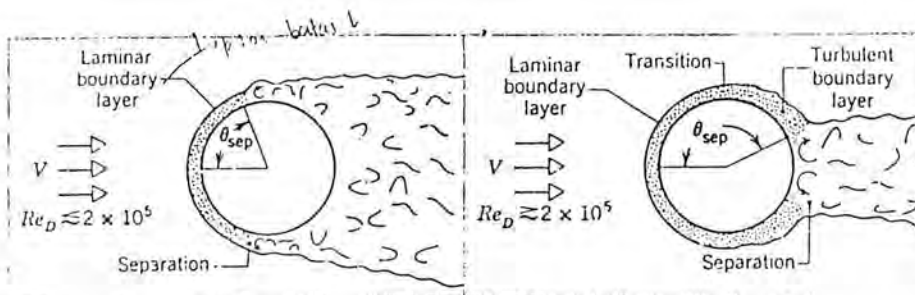
Pada lapisan diluar pipa persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Bilangan Reunolds (Re)

Bilangan Reunolds digunakan sebagai petunjuk jenis aliran fluida dalam pipa atau tabung diperoleh dari [6], untuk :

* Aliran Laminar, $Re \leq 2300$

* Aliran Turbulen, $Re \geq 4000$



Gambar 2-5. Pemisahan pada efek turbulen

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/12/23

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)14/12/23

maka :

$$\begin{aligned} \text{Red} &= \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots (2.7) \\ &= \frac{V \cdot D}{\nu} \end{aligned}$$

dimana :

- ρ = Massa jenis (kg/m^3)
- V = Kecepatan rata-rata (m/s)
- D = Diameter pipa hidroulik (m)
- ν = Viskositas kinematik (m^2/s)
- μ = Viskositas absolute ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)

b. Bilangan Nusselt

Dapat dituliskan dalam bentuk persamaan dari [7] yaitu :

$$\text{Nud} = C \cdot \text{Red}^m \cdot \text{Pr}^{1/3} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

- Nud = Bilangan nusselt
- Red = Bilangan Reynold
- Pr = Bilangan Pranal

Harga Pr didapat dari table dan harga m serta C tergantung pada bilangan

Reynolds sebagai berikut :

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 [8] berikut ini :

$$h_c = \frac{k}{D_{IT}} \cdot Nu_{IT} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

h_c = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot k$)

k = konduktivitas bahan ($W/m \cdot k$)

D_{IT} = Diameter hidrroulik pipa atau tabung (m)

2.3.2.1. Lapisan konveksi dalam (internal flow)

Sedangkan untuk lapisan di dalam pipa maka digunakan persamaan internal flow seperti dibawah ini :

a. Angka Reynolds

Angka Reynolds ≥ 4000 adalah aliran turbulen

Angka Reynolds ≤ 2300 adalah aliran laminar

Angka Reynolds [9] dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$Red = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots (2.10)$$

atau :

$$\text{Red} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D \cdot \mu} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

Red = Bilangan reynolds untuk lapisan dalam

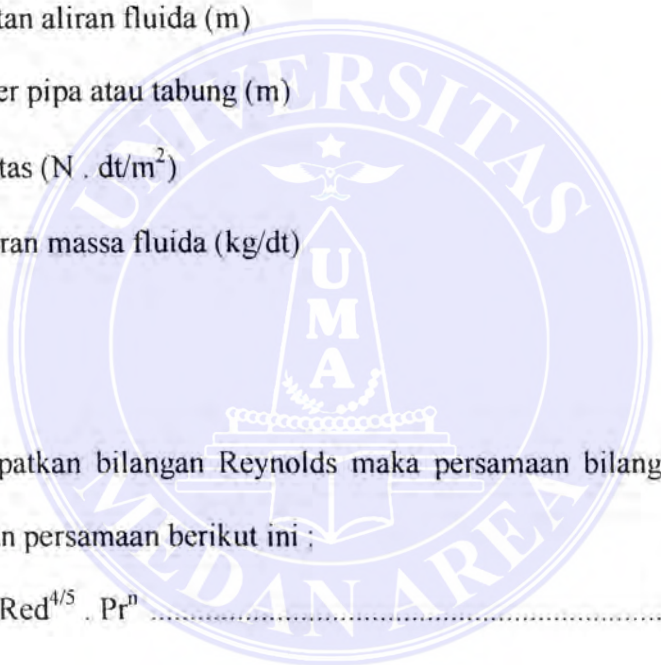
ρ = Massa jenis (kg/m^3)

v_m = Kecepatan aliran fluida (m)

D = Diameter pipa atau tabung (m)

μ = Viskositas ($\text{N} \cdot \text{dt/m}^2$)

m = Laju aliran massa fluida (kg/dt)



b. Bilangan Nusselt

Dengan mendapatkan bilangan Reynolds maka persamaan bilangan nusselt didapat dari [10] dengan persamaan berikut ini :

$$\text{Nud} = 0,023 \cdot \text{Red}^{4/5} \cdot \text{Pr}^n \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

n = 0,4 untuk pemanasan ($T_o > T_i$)

n = 0,3 untuk pendinginan ($T_i < T_o$)

n di atas berlaku dengan salah satu syarat :

$$0,7 \leq \text{Pr} \leq 160$$

$$\text{Red} \geq 10.000$$

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

Maka dengan didapatnya bilangan Nusselt maka koefisien perpindahan panas konveksi didapat dari [11] persamaan berikut ini :

$$h = Nud \cdot \frac{k}{D} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.3.3. 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 [12].

$$c = \lambda \cdot V \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

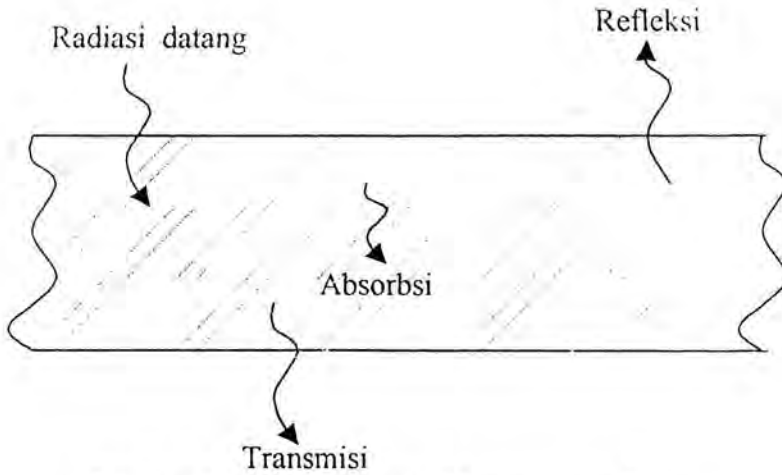
c = Kecepatan cahaya

λ = Panjang gelombang

V = Frekuensi

Perambahan radiasi thermal mengandung energi sebesar :

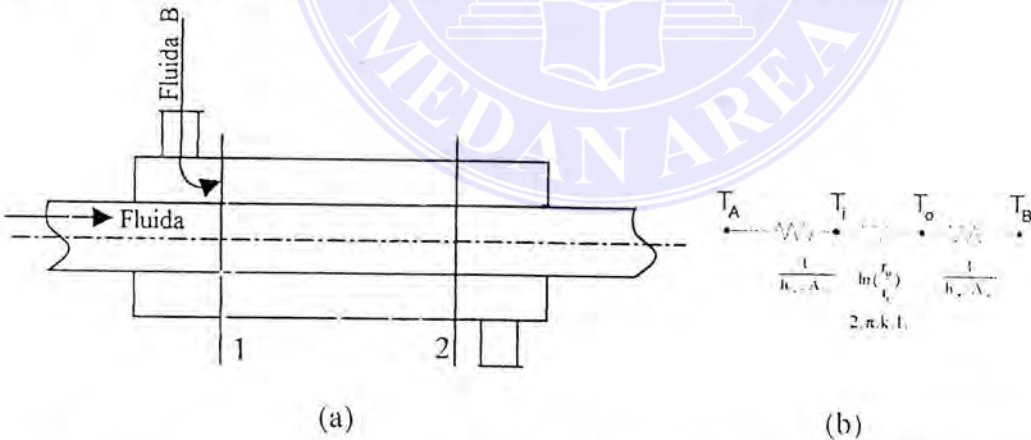
$$E = h \cdot V \text{ dimana, } h \text{ adalah konstanta Plank, } h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$



Gambar 2-6. Proses perpindahan panas radiasi

2.4. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Untuk perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi yang akan digunakan dalam 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 :



Gambar 2-7. Analogi tahanan untuk silinder bolong dengan kondisi batas konveksi

Pada gambar 2-6 di atas 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 bisa didasarkan atas luas-dalam atau luar-luar pipa. Untuk koefisien perpindahan panas menyeluruh didasarkan atas luas-dalam pipa (U_i) dapat diperoleh dari [12].

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{A_i \cdot \ln\left[\frac{r_o}{r_i}\right]}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \left[\frac{A_i}{A_o} \times \frac{1}{h_o}\right]} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dan untuk koefisien perpindahan panas menyeluruh didasarkan atas luar-luar pipa (U_o) dapat diperoleh dari [12]

$$U_o = \frac{1}{\left[\frac{A_o}{A_i} \times \frac{1}{h_i}\right] + \frac{A_o \cdot \ln\left[\frac{r_o}{r_i}\right]}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

- U_i = Koefisien perpindahan panas menyeluruh di dalam pipa ($W/m^2 K$)
- h_i = Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam pipa ($W/m^2 K$)
- A_i = Luas perpindahan panas pada bagian dalam pipa (m^2)
- r_i = Jari-jari di dalam pipa (m)
- U_o = Koefisien perpindahan panas menyeluruh di luar pipa ($W/m^2 K$)
- h_o = Koefisien perpindahan panas konveksi di luar pipa ($W/m^2 K$)
- A_o = Luas perpindahan panas pada bagian luar pipa (m^2)
- r_o = Jari-jari di luar pipa (m)
- k = Konduktivitas thermal dari pipa ($W/m K$)

L = Panjang pipa (m)

2.5. 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 di bawah ini, di dapat dari [13].

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

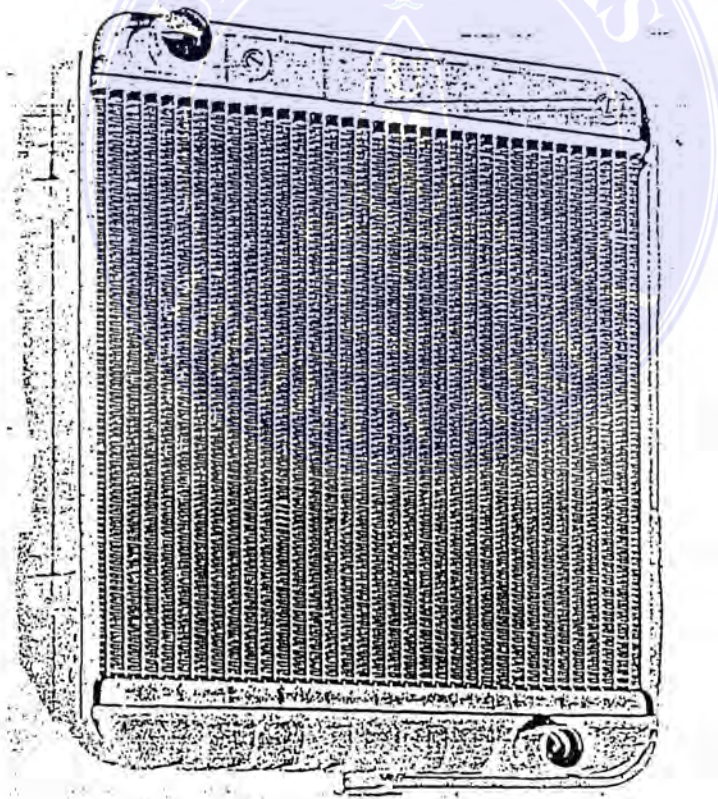
dimana :

- ΔP = Penurunan tekanan (N/m²)
- G = Kecepatan massa fluida yang mengalir (kg/dt)
- g_c = Percepatan gravitasi (kg m/N.dt²)
- v = Viskositas (m²/dt)
- L = Panjang pipa (m)
- r_h = Jari-jari dalam pipa (m)

BAB III

RADIATOR

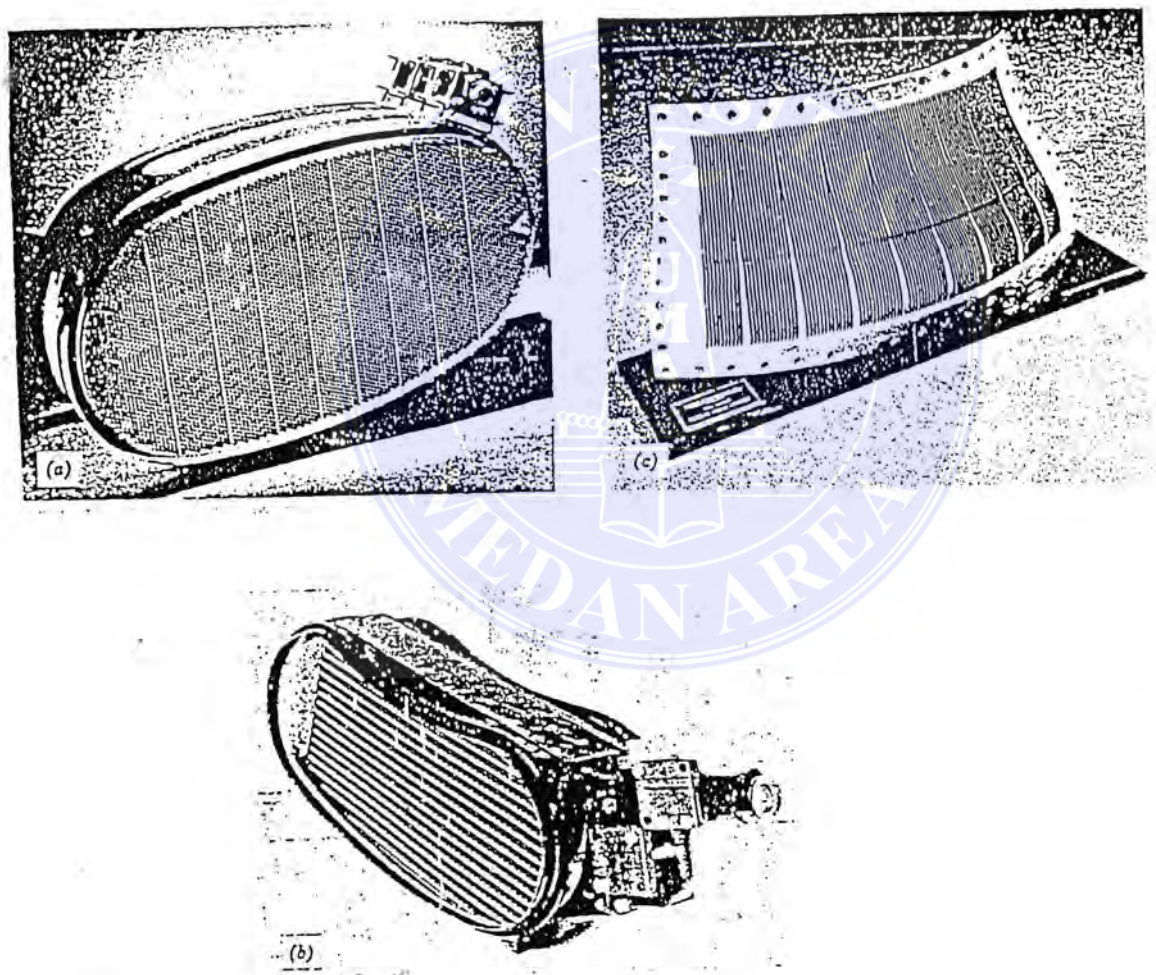
Istilah radiator biasanya digunakan sebagai alat penukar kalor yang bekerja untuk mendinginkan panas disekelilingnya. Yang mana type radiator mobil yang diperlihatkan seperti gambar 3.1 adalah aliran melintang pada perubahan temperatur dimana aliran fluida lain lebih kecil dari perbedaan temperatur.



Gambar 3.1. Gambar Radiator

Dari gambar di atas, dasarnya pembuatan radiator sama dengan menggunakan kondesor dalam pendingin atau pendinginan udara.

Selain pada kendaraan, radiator mempunyai fungsi sama pada alat pendingin minyak pesawat terbang, dimana pembuatan alat premiumnya kecil seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.2. Aircraft engine oil coolers fabricated of aluminium for : (a) tubes expanded into the header sheet; (b) dip-brazed, plate-fin construction and (c) machined fins on the air side, dip-brazed fins and header on the oil side.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/12/23

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)14/12/23

3.1. Panas Yang Diserap Oleh Air

Panas yang diserap oleh air gas pembakaran haruslah dibuang ke udara secepat mungkin. Untuk itu air harus disirkulasi melalui radiator, yang biasanya terletak di depan mesin. Sirkulasi air pendingin dapat diefektifkan dengan menggunakan pompa yang disusun sedemikian rupa sehingga pengembangan air oleh panas yang diserap di dalam lapisan air dan konsekuensinya yang terus meningkat menyebabkan air tersebut bersirkulasi.

Jumlah panas yang diserap oleh lapisan air mengalami peningkatan seiring dengan kecepatan dan beban mesin. Dalam radiator panas haruslah dipindahkan pertama kali dari ke logam ke udara, dan dalam kasus laju transfer ini akan direduksi oleh yang disebut pembentukan film. Hal yang sama seperti bantalan yang dilunasi dengan molekul pelumas akan kontak dengan logam bantalan dimana semua gerakan relative adalah diantara lapisan molekul minyak tersebut, sehingga dalam ini radiator lapisan film dan udara terbentuk pada sisi lembaran logam dan juga molekul yang tidak bergerak serta panas akan dapat melewati lapisan konduksi.

Lapisan pindahan panas yang dibuang oleh permukaan radiasi tergantung pada :

1. Laju sirkulasi air
2. Kecepatan udara yang melewati permukaan radiasi
3. Kedalaman inti
4. Perbandingan permukaan radiasi langsung dan tidak langsung

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

3.2. Bahan Radiator

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

3.3. Saluran Radiator (Radiator by Pass)

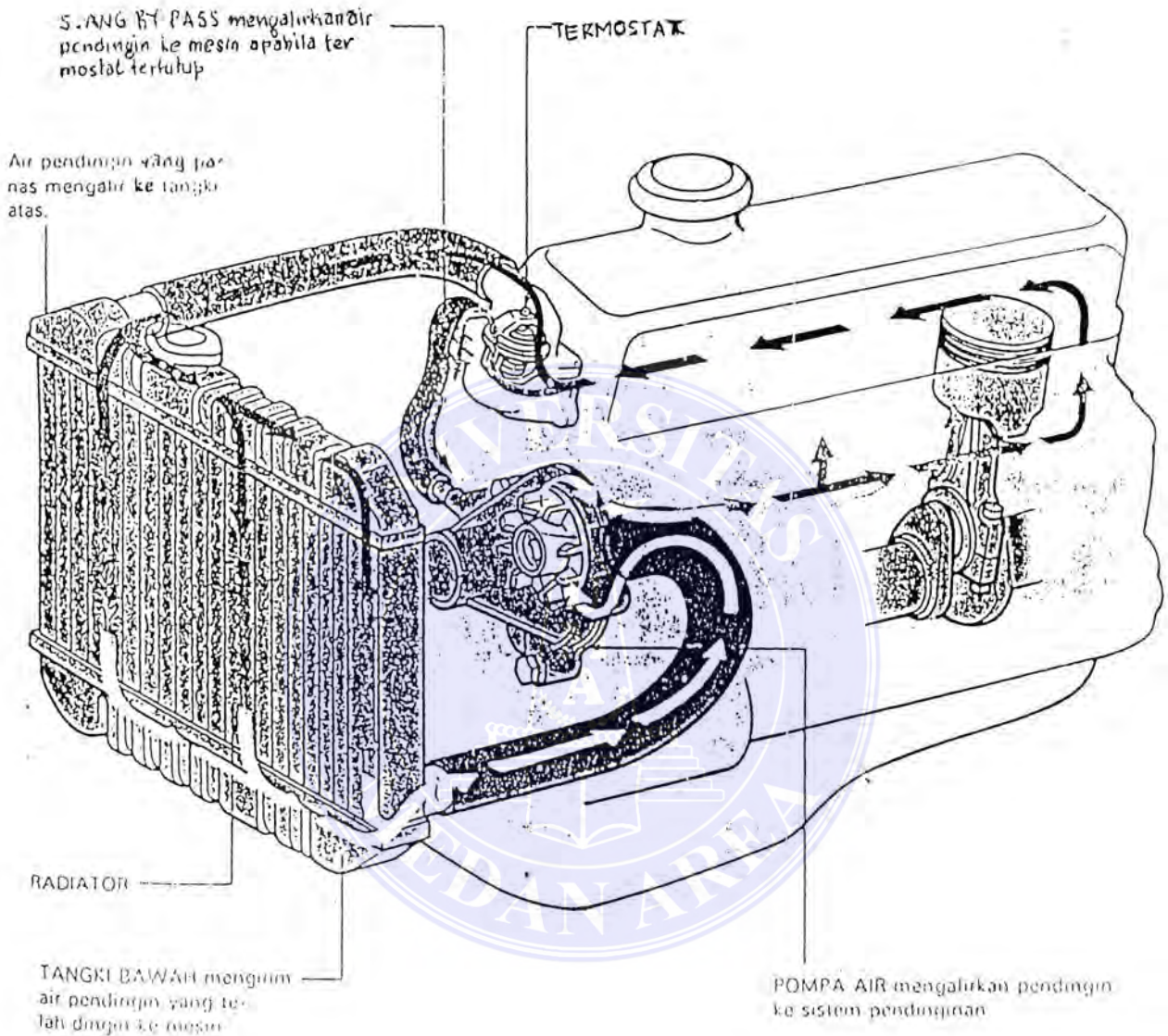
Dalam sistem pendinginan yang terkontrol, air akan dilewatkan melalui radiator panas pada sisi dalam dan udara atmosfer pada sisi luar, maka terlihat kecenderungan antara suhu atmosfer dengan suhu rata-rata di dalam tabung. Tetapi suhu ini jauh lebih tinggi untuk memudahkan pendinginan dalam mesin. Selama pemanasan dalam mesin atau pembakaran dalam mesin semua bagian blok dipanaskan secara merata. Oleh karena itu bila katup di dalam outlet pada radiator yang tertutup oleh thermostat, maka tekanan akan dibangun oleh pompa dan katup, maka untuk by pass akan terbuka secara otomatis. Kemudian akan diteruskan melalui radiator, pompa begitu juga sebaliknya seperti yang terlihat pada gambar di bawah

ini:
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

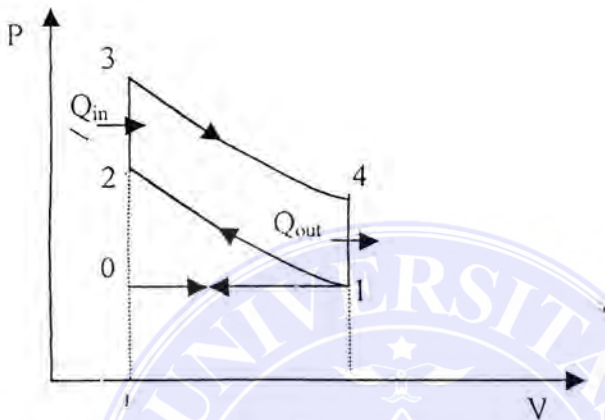
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)14/12/23



Gambar 3.3. Sistem Sirkulasi tertutup pada alat penukar kalor

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 :



Gambar 4.1. Diagram P – V, Siklus volume konstan

0 – 1 = Langkah Isap

Bahan bakar dan udara masuk ke dalam silinder (Proses tekanan konstan)

1 – 2 = Langkah Kompresi

Campuran bahan bakar dan udara di kompressikan di dalam silinder (proses adiabatik)

2 – 3 = Proses Pembakaran

Campuran bahan bakar dan udara terbakar di dalam ruang bakar (Proses pemasukan kalor pada volume konstan)

3 – 4 = Langkah Kerja (Ekspansi)

Belangsung dalam proses isentropik

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/12/23

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)14/12/23

4 – 1 = Proses Pembuangan

Proses pembuangan dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.

1 – 0 = Langkah Buang

Pembuangan gas sisa pembakaran pada tekanan konstan

4.2. Perhitungan Pada Setiap Proses

➤ Proses 0 – 1 Langkah isap

- Kondisi titik 0, merupakan keadaan udara luas

dimana :

$$P_0 = 1 \text{ atm} \\ = 14,7 \text{ Psi}$$

- $T_0 = 28 \text{ C}$
 $= 82,4 \text{ F}$

- Kondisi titik 1, merupakan awal kompresi menurut [15]

$$P_1 = (11,5 \div 13) \text{ Psi} \dots\dots\dots (4.1)$$

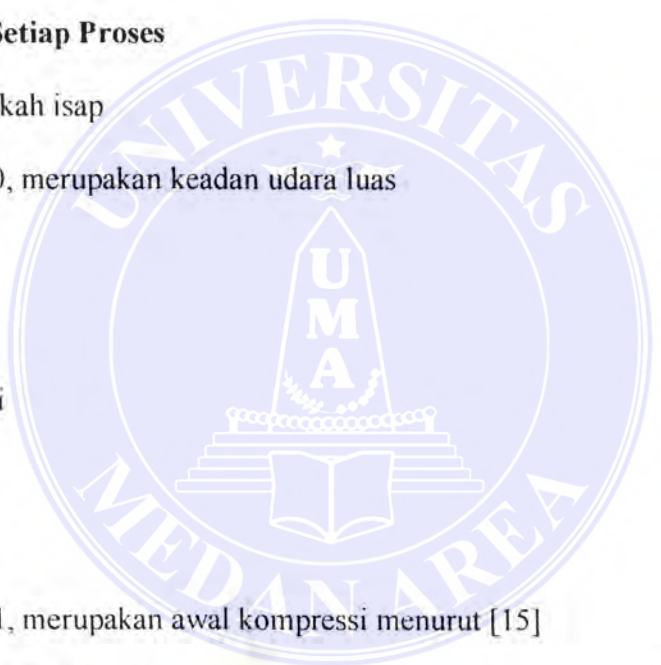
$$P_1 = 12 \text{ Psi (direncanakan)}$$

$$T_1 = T_0 + (F) \dots\dots\dots (4.2)$$

dimana :

t = Kenaikan temperatur akibat campuran bahan bakar udara yang bersinggungan dengan dinding silinder, katup dan saluran masuk.

$$t = (50 \div 85) \text{ F}$$



maka :

$$\begin{aligned} T_1 &= (82,4 + 60) F \\ &= 142,4 F \\ &= 61,33 ^\circ C \end{aligned}$$

➤ Proses 1 – 2 Langkah kompresi

Dengan proses adiabatic dari [16]

$PV^k = \text{Konstan}$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \dots \dots \dots (4.3)$$

dimana :

$$r = \frac{V_1}{V_2} \dots \dots \dots (4.4)$$

= Perbandingan kompresi diperoleh dari [15]

$$= 6$$

$$k = 1,4$$

maka :

$$\begin{aligned} T_2 &= 142,4 \cdot (6)^{1,4-1} \\ &= 291,59 F \\ &= 144,22 ^\circ C \end{aligned}$$

Tekanan pada saat kompresi diperoleh [17]

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \dots \dots \dots (4.5)$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} \\
 &= 12 \text{ Psi} \cdot \left(\frac{291,59 \text{ }^\circ\text{F}}{142,4 \text{ }^\circ\text{F}} \right) \\
 &= 24,572
 \end{aligned}$$

➤ Proses 2 – 3, Proses pembakaran

Panas yang timbul akibat pembakaran adalah :

$$Q_c = B_c \cdot N_e \cdot LHV \dots\dots\dots (4.4)$$

dimana :

Q_c = Panas yang timbul akibat pembakaran (BTU/hr)

B_c = Pemakaian bahan bakar spesifik (dari survey)

$$= 0,200 \text{ kg/hp.hr}$$

$$= 0,441 \text{ Lb/hp.hr}$$

$$N_e = 75 \text{ hp}$$

LHV = Nilai pembakaran rendah (dari survey)

$$= 9500 \div 10500 \text{ kcal/kg}$$

$$= 9500 \text{ kcal/kg}$$

$$= 17103,103 \text{ BTU/lb}$$

maka :

$$Q_c = 0,441 \text{ lb/hp.hr} \times 75 \text{ hp} \times 17103,103 \text{ btu/lb}$$

$$= 565.685,132 \text{ btu/hr}$$

$$= 165.777,171 \text{ J/s}$$

Untuk satu kg dari jumlah kerja rata-rata dari panas yang diterima diperoleh dari [18]

$$Q_c = c_v (T_3 - T_2) \dots\dots\dots (4.6)$$

maka :

$$T_3 = \frac{Q_c}{c_v} + T_2$$

dimana :

$$c_v = 0,1727 \text{ BTU/ dt F}$$

jadi :

$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{565.685,132 \text{ BTU / hr}}{0,1727 \text{ BTU / dt.F}} + 291,59 \text{ F} \\ &= 1201,46 \text{ F} \\ &= 649,7 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tekanan yang terjadi pada saat pembakaran diperoleh [16]

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$P_3 = P_2 \cdot \frac{T_3}{T_2}$$

$$= 24,572 \text{ Psi} \cdot \frac{1201,46 \text{ F}}{291,59 \text{ F}}$$

$$= 101,246 \text{ Psi}$$

➤ Proses 3 - 4, Langkah ekspansi

Temperatur pada saat langkah ekspansi [16]

$$T_4 = T_1 \cdot \frac{T_3}{T_2} \dots\dots\dots (4.8)$$

$$142,4 \text{ } F \cdot \frac{1201,46 \text{ } F}{291,59 \text{ } F}$$

$$586,74 \text{ } F$$

$$308,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tekanan yang terjadi diperoleh dari [16]

$$P_4 = P_3 \cdot \frac{P_1}{P_2} \dots\dots\dots (4.9)$$

$$= 101,246 \text{ } Psi \cdot \frac{12 \text{ } Psi}{24,572 \text{ } Psi}$$

$$= 49,445 \text{ } Psi$$

Panas yang diserap oleh pendingin (Q_w) diperoleh [19]

$$Q_w = \eta_w \cdot Q_c \dots\dots\dots (4.10)$$

dimana :

η_w = efisiensi yang diserap oleh air

$$= 0,32 \text{ (survey)}$$

maka :

$$Q_w = 0,32 \cdot 565.685,132 \text{ BTU/hr}$$

$$= 181.019,3 \text{ BTU/hr}$$

$$= 53.048,695 \text{ J/s}$$

Temperatur yang keluar/masuk radiator diperoleh dari [20]

$$Q_{out..} = m \cdot c_p \cdot (T_k - T_0) \dots\dots\dots (4.11)$$

dimana :

m = laju aliran massa udara

$$= 0.963 \text{ kg/s}$$

c_p = panas spesifik udara

$$= 1005 \text{ J/kg K}$$

maka :

$$\begin{aligned} T_l &= T_0 + \frac{Q_{out}}{m \cdot c_p} \\ &= 301 \text{ K} + \frac{53.048,695 \text{ J/s}}{0,963 \text{ kg/s} \cdot 1005 \text{ J/kg} \cdot \text{K}} \\ &= 355,8 \text{ K} \\ &= 82,8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Jadi temperatur yang masuk ke radiator (T_i) adalah $82,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

BAB V

PERENCANAAN PIPA DAN SIRIP

5.1. Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor pada perencanaan ini diambil adalah dengan type radiator compact, yang digunakan untuk memindahkan kalor dari air ke udara. Dimana radiator ini mempunyai aliran dengan sistem sirkulasi tertutup. Yang mana data ini membantu dalam perencanaan radiator diambil dari data survey dilapangan sebagai berikut :

- Daya : 75 hp
- Pemakaian bahan bakar spesifik, (Be) : 0,200 ÷ 0,300 kg/hphr
- Nilai pembakaran rendah, (LHV) : 9500 ÷ 10500 kcal/kg
- Efisiensi yang diserap oleh air, (η_w) : 0,32

5.2. Luas Permukaan

Konstruksi pipa radiator pada perencanaan yang digunakan yaitu dengan bentuk plate dan vertical. Sedangkan perencanaan sirip dapat ditaksir untuk menghitung luas permukaan dengan menggunakan sirip segi empat (rectangular fin).

5.2.1. Pipa

➤ Ukuran luar pipa 18 mm x 4 mm

- Luas penampang luas pipa (A_o) = $72 \text{ mm}^2 = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

- Keliling luas pipa (P_o) = $44 \text{ mm} = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

- Luas selimut luar pipa (A_{os}) = $P_o \times L$
 $= 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m} \times 0,350 \text{ m}$
 $= 1,54 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

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

$$\begin{aligned} A_{o_{tot}} &= (2 A_o) + A_{os} \\ &= (2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2) + 1,54 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ &= 1,5544 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Tebal pipa : 1 mm

➤ Ukuran dalam pipa 16 mm x 2 mm

- Luas penampang dalam pipa (A_i) = $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

- Keliling dalam pipa (P_i) = $3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

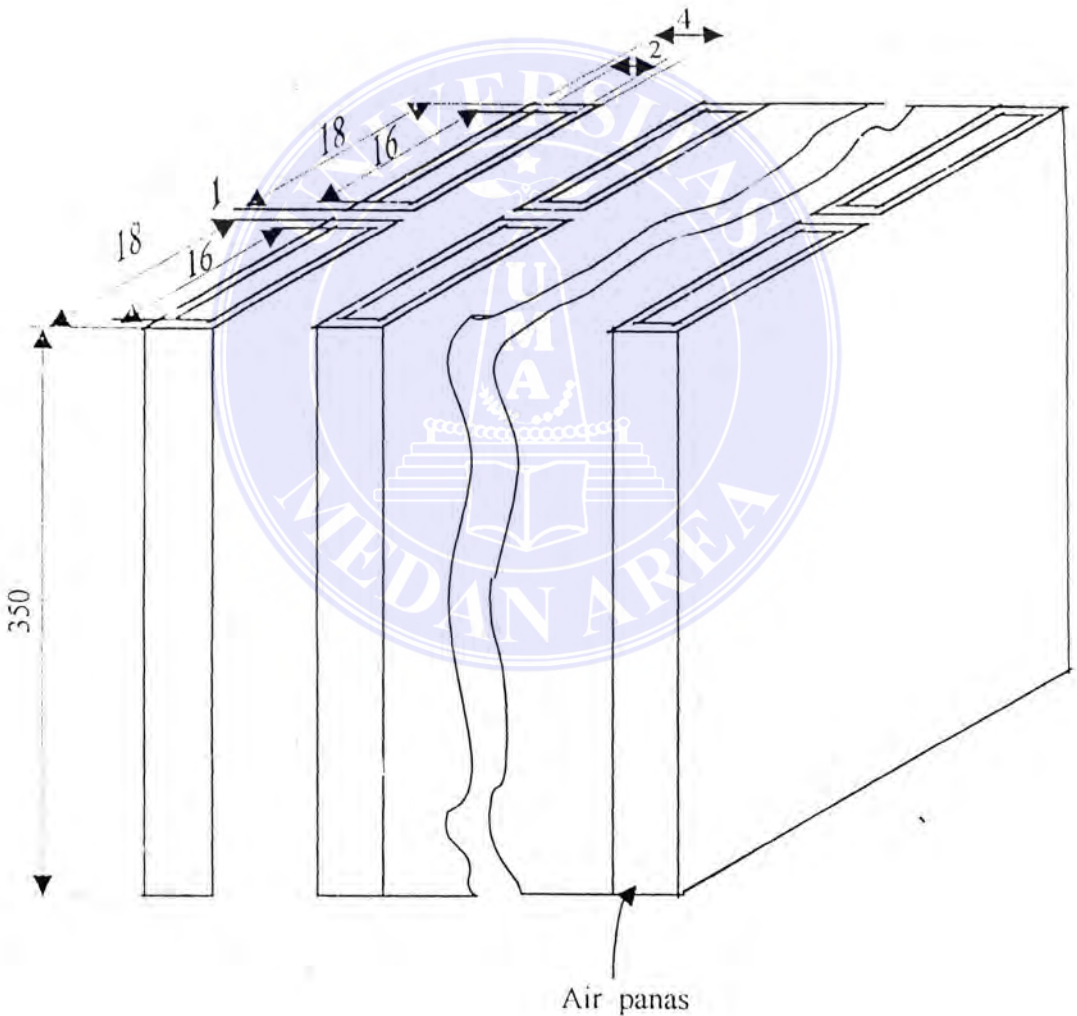
- Luas selimut dalam pipa (A_{is}) = $P_i \times L$
 $= 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \times 0,350 \text{ m}$
 $= 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

- Luas total permukaan dalam ($A_{i_{tot}}$)

$$\begin{aligned} A_{i_{tot}} &= 2 A_i + A_{is} \\ &= (2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2) + 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ &= 1,2664 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas konduksi pipa ($A_1 = Ac_2$)

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{A_{o_{tot}} + A_{i_{tot}}}{2} \\
 &= \frac{1,5544 \cdot 10^{-2} m^2 + 1,2664 \cdot 10^{-2} m^2}{2} \\
 &= 2,677 \cdot 10^{-2} m^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5.1. Pipa radiator

5.2.2. Sirip

Konstruksi sirip akan lebih jelas terlihat pada gambar.

- Tebal, t = 0,101 mm
- Lebar, ω = 37 mm
- Panjang, p = 5 mm
- Panjang yang dikoreksi, L_c = $p + \frac{t}{2}$

$$= 5 \text{ mm} + \frac{0,101 \text{ mm}}{2}$$

$$= 5,051 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Keliling sirip :

$$P_f = 2(p + t)$$

$$= 2(5 + 0,101) \text{ mm}$$

$$= 1,02 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- Luas profil melintang sirip :

$$A_c = \omega \cdot t$$

$$= 37 \text{ mm} \times 0,101 \text{ mm}$$

$$= 3,737 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Luas permukaan sirip :

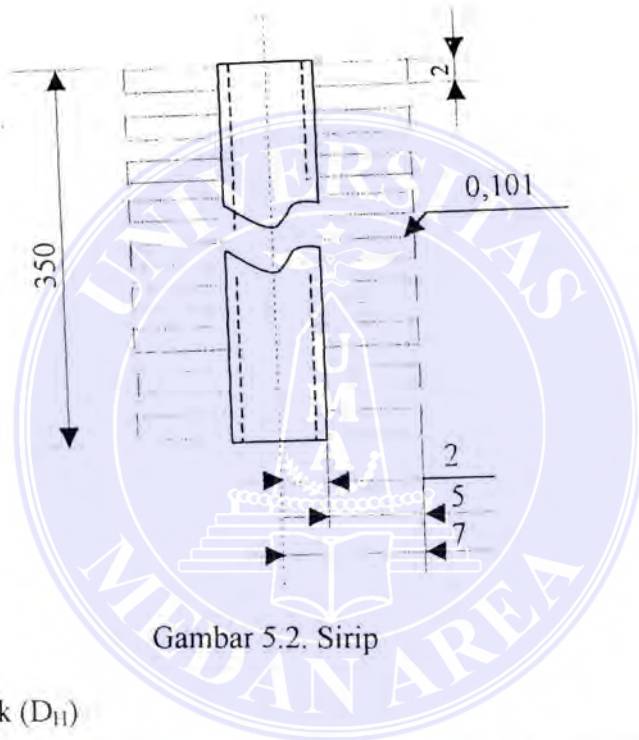
$$A_f = P_f + L_c$$

$$= 1,02 \cdot 10^{-2} \text{ m} + 5,051 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$= 1,5253 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

- Luas konveksi sirip (A_3)

$$\begin{aligned}
 A_3 &= (H - N \cdot t) \cdot (2 \cdot \pi \cdot r_1) \\
 &= [350 - (175 \times 0,101)] \cdot 2\pi \cdot 2 \\
 &= 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5.2. Sirip

➤ Diameter hidroulik (D_{H1})

Pada penampang pipa radiator tidak berbentuk lingkaran (silinder), maka untuk korelasi perpindahan panas yang digunakan adalah diameter hidroulik (D_{H1}) dapat diperoleh dari [21] yaitu :

$$D_{H1} = \frac{4 \cdot A}{P} \dots\dots\dots (5.1)$$

- Diameter hidroulik dalam pipa (D_{Hi})

$$D_{Hi} = \frac{4 \cdot A_i}{P_i}$$

$$= \frac{4,3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 3,556 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Diameter hidroulik luar pipa (D_{Ho})

$$D_{Ho} = \frac{4 \cdot A_o}{P_o}$$

$$= \frac{4,7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 6,545 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Diameter hidroulik pada sirip (D_{Hf})

$$D_{Hf} = \frac{4 \cdot A_f}{P_f}$$

$$= \frac{4,1,28 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2}{1,02 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 5,02 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

BAB VII KESIMPULAN

Pada perencanaan ini radiator 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

➤ Daya	: 75 hp
➤ Pemakaian bahan bakar spesifik, (Be)	: 0,200 – 0,300 kg/hp . hr
➤ Nilai pemakaian rendah, (LHV)	: 9.500 – 10.500 kcal/kg
➤ Efisiensi yang diserap oleh air (η_w)	: 0,32
➤ Temperatur masuk radiator (T_i)	: 82,8 °C
➤ Laju aliran massa (m)	: 0,0387 kg/s
➤ Kecepatan rata-rata (V_r)	: 1,467 . 10 ⁻³ m/s
➤ Debit fluida (Q)	: 0,03912 l/s
➤ Laju perpindahan panas (q)	: 53.048,695 W
➤ Jumlah kalor yang terbuang (q_{tot})	: 1262,39 W
➤ Jumlah pipa (N_i)	: 66 pipa
➤ Efektivitas (ϵ)	: 0,85

7.2. Ukuran-Ukuran Utama

7.2.1. Pipa

➤ Ukuran luar pipa 18 mm x 4 mm

- Luas penampang pipa (A_o) $= 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
- Luas total permukaan pipa ($A_{o_{tot}}$) $= 1,5544 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- Tebal pipa $= 1 \text{ mm}$

➤ Ukuran dalam pipa 16 mm x 2 mm

- Luas penampang pipa (A_i) $= 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
- Luas total permukaan ($A_{i_{tot}}$) $= 1,2664 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- Panjang pipa (L) $= 0,35$

7.2.2. Sirip

- Tebal, t $= 0,101 \text{ mm}$
- Lebar, ω $= 37 \text{ mm}$
- Panjang, p $= 5 \text{ mm}$
- Luas permukaan sirip, A_f $= 1,5253 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
- Luas konveksi sirip, (A_3) $= 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Frank P. Incropera, David P. Dewitt, "**Fundamental of Heat and Mass Transfer**", Edisi Kedua, John Wiley & Sons, Inc, USA 1981 dan 1985, hal. 35.
- [2]. Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc., "**Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas**", Edisi Ketiga, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta 1994 hal. 35.
- [3]. Ibid [2], hal. 36
- [4]. Ibid [2], hal. 37
- [5]. J.P. Holman, "**Perpindahan Kalor**", Edisi Keenam, Penerbit Airlangga, Jakarta 1993, hal. 11
- [6]. Ibid [1], hal. 332
- [7]. Ibid [1], hal. 334
- [8]. Ibid [1], hal. 369
- [9]. Ibid [1], hal. 394
- [10]. Ibid [1], hal. 389
- [11]. Ibid [1], hal. 482
- [12]. W.M. Kays & A. L. London, "**Compct Heat Exchanger**", Edisi Ketiga, Mc. Graw-Hill Book Lompany, New York 1984, hal. 310.
- [13]. Ibid [5], hal. 541
- [14]. V.L. Meleev, "**Internal-Combustion Engines**", Edisi Kedua, Mc. Graw-Hill Book Company, 1989, hal. 34
- [15]. Lester C. Lichty, "**Intenal-Combustion Engines**", Edisi Keenam, Mc. Graw-Hill Book Company, 1951, hal. 53

- [16]. Ibid [15], hal. 54
- [17]. S.P. SEN, “*Internal-Combustion Engine Theory And Practise*”, Edisi Kedua, 1984, hal. 72.
- [18]. Ibid [14], hal. 34
- [19]. Ibid [14], hal. 26
- [20]. Ibid [5], hal. 257
- [21]. Ibid [2], hal. 417
- [22]. Ibid [12], hal. 18
- [23]. Ibid [12], hal. 24
- [24]. Ibid [12], hal. 25
- [25]. Ibid [1], hal. 39
- [26]. Ibid [1], hal. 345
- [27]. Tunggul M. Sitompul, “**Alat Penukar Kalor**”, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, hal. 207.
- [28]. Ibid [12], hal. 39
- [29]. Ibid [12], hal. 16

