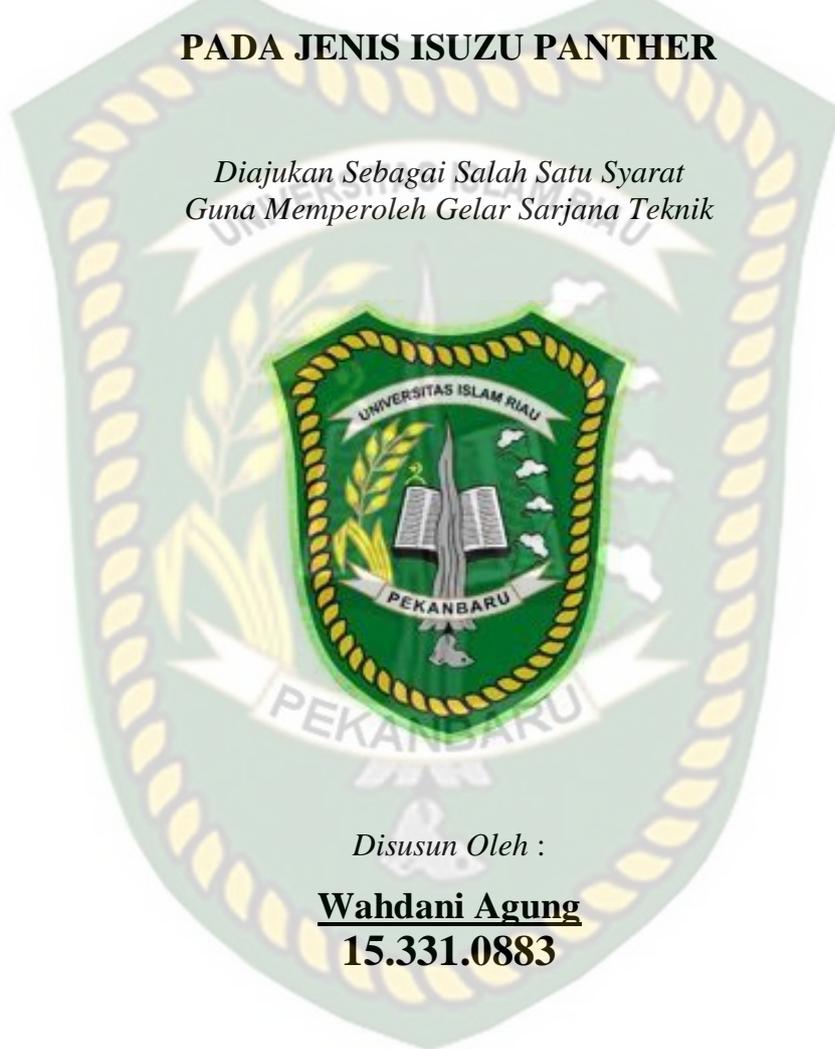


TUGAS AKHIR

**PENGARUH WATER COOLANT TERHADAP
EFEKTIVITAS RADIATOR MESIN DIESEL
PADA JENIS ISUZU PANTHER**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



Disusun Oleh :

Wahdani Agung
15.331.0883

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2020

PENGARUH *WATER COOLANT* TERHADAP EFEKTIVITAS RADIATOR PADA MESIN DIESEL PADA JENIS ISUZU PANTHER

Wahdani Agung*, Eddy Elfiano
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
*Corresponding author : wahdaniatagung1996@gmail.com
wahdaniatagung@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Sistem pendingin pada mesin menggunakan suatu alat yang dinamakan sebagai radiator, dimana radiator berfungsi untuk mendinginkan temperatur fluida radiator yang telah menyerap panas dari mesin, sehingga temperatur kerja mesin dapat dipertahankan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui efektivitas radiator dari beberapa jenis *water coolant* yang digunakan termasuk air mineral. Penelitian ini menggunakan mesin Diesel Isuzu Panther yang diberi nama *Engine Stand*. Pengambilan data dilakukan dalam waktu 15 menit pada setiap variasi putaran 1000, 1500, 2000 dan 2300 rpm dari masing-masing *water coolant* yang digunakan termasuk air mineral. Dari penelitian tersebut adapun data yang diambil antara lain temperatur fluida radiator yang masuk dan yang keluar dari radiator, temperatur udara di depan dan di belakang radiator, mengukur kecepatan udara di depan dan di belakang radiator dan yang terakhir melihat debit aliran dari fluida radiator. Hasil penelitian dari beberapa jenis *water coolant* dan air mineral menunjukkan bahwa *coolant C* memiliki efektivitas rata-rata lebih tinggi dari pada *coolant* yang lainnya, dengan nilai sebesar 0,2636 untuk *coolant B* efektivitas rata-rata sebesar 0,2205 sedangkan *coolant A* efektivitas rata-rata sebesar 0,2129 dan untuk air mineral memiliki efektivitas rata-rata yang paling terendah dengan nilai sebesar 0,1832. Pada laju perpindahan panas berbanding lurus dengan nilai efektivitas radiator, yaitu semakin cepat laju perpindahan panas maka semakin tinggi nilai efektivitas radiator. Sehingga dalam penelitian ini dapat dikatakan *coolant C* adalah *coolant* yang lebih baik dalam efektivitas radiator dan perpindahan panasnya.

Kata kunci : Radiator, *water coolant*, efektivitas dan laju perpindahan panas.

***EFFECT OF WATER COOLANT ON EFFECTIVENESS
RADIATOR ON DIESEL ENGINE ON ISUZU PANTHER TYPE***

Wahdani Agung*, Eddy Elfiano
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
*Corresponding author : wahdaniatagung1996@gmail.com
wahdaniatagung@student.uir.ac.id

ABSTRACT

The cooling system on the engine uses a device called a radiator, where the radiator functions to cool the temperature of the radiator fluid which has absorbed heat from the engine, so that the engine working temperature can be maintained. This study aims to determine the effectiveness of the radiator of several types of water coolants, including mineral water. This study uses an Isuzu Panther Diesel engine named Engine Stand. Data were collected within 15 minutes at each variation of the 1000, 1500, 2000 and 2300 rpm rotation of each water coolant used, including mineral water. From this research, the data taken include the temperature of the radiator fluid that enters and leaves the radiator, the air temperature in front of and behind the radiator, measures the air velocity in front of and behind the radiator and finally looks at the flow rate of the radiator fluid. The results of research from several types of water coolant and mineral water show that coolant C has an average effectiveness higher than the other coolants, with a value of 0.2636 for coolant B, the average effectiveness is 0.2205, while coolant A has an average effectiveness. an average of 0.2129 and mineral water has the lowest average effectiveness with a value of 0.1832. The heat transfer rate is directly proportional to the effectiveness value of the radiator, that is, the faster the heat transfer rate, the higher the radiator effectiveness value. So in this study it can be said that coolant C is a better coolant in terms of radiator effectiveness and heat transfer.

Keywords: Radiator, water coolant, effectiveness and heat transfer rate

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya yang berupa kemampuan, kesehatan dan juga kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang berjudul **“Pengaruh Water Coolant Terhadap Efektivitas Radiator Mesin Diesel Pada Jenis Isuzu Panther”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan dan bimbingan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini, yaitu kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Syaiful Ambri dan Ibu Suryana yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial. Serta seluruh keluarga terimakasih atas do'a dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT Selaku Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Bapak Ir. Syawaldi, M.sc Selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizna, ST., M.Eng Selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

5. Bapak Eddy Elfiano, ST., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing yang bersedia meluangkan waktu tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis dalam pembuatan Proposal Tugas Akhir ini.
6. Bapak dan Ibu dosen pembina pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin yang selalu memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Dan juga penulis berharap semoga pengorbanan dan keikhlasan mendapat balasan pahala yang berlimpat ganda hendaknya (amin). Penulis juga menyadari begitu banyak kekurangan dan kelemahan yang terdapat di dalam Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu kesempurnaan Tugas Akhir ini akan penulis terima dengan senang hati dan penulis mengucapkan banyak temakasih.

Wassalamu'alaikum Wr Wb

Pekanbaru, Agustus 2020

Wahdani Agung

15.331.0883

DAFTAR ISI

ABSTRA	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Sistem Pendingin	6
2.1.1 Mencegah terjadinya <i>over heating</i>	7
2.1.2 Mempertahankan temperatur motor	7
2.1.3 Mempercepat motor mencapai temperatur kerja.....	7
2.2 Macam-Macam Sistem Pendingin	7
2.2.1 Sistem Pendingin Udara (<i>Air Cooling system</i>)	8
2.2.2 Sistem Pendingin Air (<i>Water Cooling system</i>)	9

2.2.2.1 Sirkulasi Secara Alamiah.....	9
2.2.1.2 Sirkulasi Dengan Tekanan.....	10
2.3 Komponen-Komponen Sistem Pendinginan Air	11
2.3.1 Radiator	12
2.3.2 Tutup Radiator	16
2.3.3 Pompa Air (<i>Water Pump</i>)	17
2.3.4 Kipas Pendingin	19
2.3.5 Tangki Cadangan	21
2.3.6 Mantel Pendingin (<i>Water Jacket</i>).....	21
2.3.7 <i>Thermostat</i>	22
2.3.8 Pipa-Pipa Saluran (Selang)	23
2.3.9 <i>Coolant</i> (Caira Pendingin)	25
2.4 Cara Kerja Sistem Pendingin.....	27
2.5 Mekanisme Perpindahan Energi Panas	28
2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi	28
2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi	31
2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi	33
2.6 Alat Penukar Kalor (<i>Heat Exchanger</i>)	33
2.6.1 Tipe Aliran Alat Penukar Kalor	34
2.7 Klasifikasi Alat Penukar Kalor	36
2.7.1 Secara Kontak Langsung	36
2.7.2 Secara Kontak Tidak Langsung	37
2.8 Metode Perhitungan	37

2.8.1 Metode Perhitungan Nilai Efektivitas Radiator (ϵ).....	40
---	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	43
3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian	44
3.3 Alat Dan Bahan	44
3.4.1 Alat	44
3.4.2 Bahan	49
3.4 Prosedur Pengujian	49
3.4.1 Persiapan Pengujian	49
3.4.2 Pelaksanaan Pengujian	51
3.4.3 Tabel Data Yang Digunakan Dalam Penelitian	53
3.5 Jadwal Kegiatan Penelitian	54

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian.....	55
4.2 Perhitungan Untuk Pengujian Air Mineral.....	58
4.3 Perhitungan Untuk Pengujian <i>coolant</i> A.....	67
4.4 Perhitungan Untuk Pengujian <i>coolant</i> B.....	68
4.5 Perhitungan Untuk Pengujian <i>coolant</i> C.....	69
4.8 Analisis Grafik.....	74

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pendingin Udara	8
Gambar 2.2 Sirkulasi Dengan Tekanan	11
Gambar 2.3 Komponen-Komponen Sistem Pendingin Air	11
Gambar 2.4 Radiator	12
Gambar 2.5 Inti Radiator.....	13
Gambar 2.6 Radiator 1 ply	15
Gambar 2.7 Radiator 2 ply	15
Gambar 2.8 Radiator 3 ply	16
Gambar 2.9 Tutup Radiator	17
Gambar 2.10 Pompa Air	18
Gambar 2.11 Kipas Konvensional	19
Gambar 2.12 Kipas Radiator Elektrik	20
Gambar 2.13 Tangki Cadangan	21
Gambar 2.14 <i>Water Jacket</i>	22
Gambar 2.15 Thermostat.....	23
Gambar 2.16 <i>Water Coolant</i>	26
Gambar 2.17 Kerja Sistem Pendingin Keadaan Mesin Dingin	27
Gambar 2.18 Kerja Sistem Pendingin Keadaan Mesin Panas.....	28
Gambar 2.19 Skema Perpindahan Panas Konduksi.....	29
Gambar 2.20 Konveksi Bebas (<i>Free Convection</i>).....	32
Gambar 2.21 Konveksi Paksa (<i>Force Convection</i>)	32

Gambar 2.22 Konveksi Pendidihan Dan Pengembunan	32
Gambar 2.23 Aliran Berlawanan (<i>Counter Flow</i>)	35
Gambar 2.24 Aliran Searah (<i>Parallel Flow</i>)	35
Gambar 2.25 Aliran Silang (<i>Cross Flow</i>)	36
Gambar 2.26 Faktor Koreksi <i>Cross Flow</i>	47
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 3.2 <i>Thermocouple</i>	44
Gambar 3.3 <i>Thermometer</i> Air Raksa	45
Gambar 3.4 <i>Anemometer</i>	45
Gambar 3.5 <i>Tachometer</i>	46
Gambar 3.6 <i>Flowmeter Type Tube</i>	46
Gambar 3.7 Jangka Sorong	47
Gambar 3.8 <i>Stopwatch</i>	47
Gambar 3.9 Kunci-Kunci	48
Gambar 3.10 Radiator Tipe 3 Ply	48
Gambar 4,1 grafik perbandingan efektivitas radiator	70
Gambar 4.2 Grafik hubungan koefisien perpindahan panas menyeluruh	72

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Spesifikasi <i>Edditive Coolant</i>	26
Table 2.2 Konduktivitas Termal Beberapa Bahan	30
Table 3.1 Tabel Data Yang Digunakan Pada Setiap Putaran	53
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian	54
Tabel 4.1 Data Pengujian Air Mineral Dengan Waktu Konstan 15 Menit	56
Tabel 4.2 Data Pengujian <i>Coolant A</i> Dengan Waktu Konstan 15 Menit	56
Tabel 4.3 Data pengujian <i>Coolant B</i> Dengan Waktu Konstan 15 Menit	57
Tabel 4.4 Data pengujian <i>Coolant C</i> Dengan Waktu Konstan 15 Menit	57
Tabel 4.5 Data pengujian air galon dengan ditambah $D_{in. \text{ pipa}}$ dan $A_{\text{ radiator}}$	58
Tabel 4.6 Hasil dari semua perhitungan dari air mineral dan \dot{m}_w, V_U, C_h, C_c	66
Tabel 4.7 Hasil semua perhitungan air mineral dari setiap putaran	66
Tabel 4.8 Hasil dari semua perhitungan dari <i>Colant A</i> dan \dot{m}_w, V_U, C_h, C_c	67
Tabel 4.9 Hasil semua perhitungan <i>Colant A</i> dari setiap putaran	67
Tabel 4.10 Hasil dari semua perhitungan dari <i>Colant B</i> dan \dot{m}_w, V_U, C_h, C_c	68
Tabel 4.11 Hasil semua perhitungan <i>Colant B</i> dari setiap putaran	68
Tabel 4.12 Hasil dari semua perhitungan dari <i>Colant C</i> dan \dot{m}_w, V_U, C_h, C_c	69
Tabel 4.13 Hasil semua perhitungan <i>Colant C</i> dari setiap putaran	69
Tabel 4.14 Hasil semua rata-rata perhitungan efektivitas radiator	70
Tabel 4.15 Hasil semua perhitungan koefisien perpindahan panas menyeluruh ..	72

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Q_{air}	Debit aliran fluida radiator	(m^3/s)
v	Volume aliran fluida radiator	(m^3)
t	Waktu	(s)
V_a	Kecepatan aliran fluida radiator	(m/s)
A_{pipa}	Luas penampang pipa radiator	(m^2)
$A_{radiator}$	Luas penampang radiator	(m^2)
$D_{in,pipa}$	Diameter pipa dalam	(m)
L	<i>Lengthy</i> (panjang)	(m)
W	<i>Width</i> (lebar)	(m)
ρ_a	Massa jenis fluida radiator	(kg/m^3)
U	Koefisien perpindahan menyeluruh	$(W/m^2\text{ }^\circ\text{C})$
h_i	Koefisien perpindahan panas pada fluida radiator	$(W/m^2\text{ }^\circ\text{C})$
h_o	Koefisien perpindahan panas pada udara	$(W/m^2\text{ }^\circ\text{C})$
\dot{q}_a	Laju perpindahan panas fluida radiator	(W)
ΔT_{lm}	<i>Log mean temperature difference</i>	$(^\circ\text{C})$
\dot{m}_a	Laju aliran massa fluida radiator	(kg/s)
\dot{m}_u	Laju aliran massa udara	(kg/s)
C_{pa}	Kalor spesifik fluida radiator	$(J/kg. \text{ }^\circ\text{C})$
C_{pu}	Kalor spesifik udara	$(J/kg. \text{ }^\circ\text{C})$
ΔT_h	Selisih temperatur fluida radiator	$(^\circ\text{C})$
$t_1 = T_{h,out}$	Temperatur aliran fluida keluar radiator	$(^\circ\text{C})$

$t_2 = T_{h.in}$	Temperatur aliran fluida yang masuk radiator	(°C)
$T_1 = T_{c.in}$	Temperatur udara masuk yang di depan radiator	(°C)
$T_2 = T_{c.out}$	Temperatur udara keluar yang di belakang radiator	(°C)
ε	Efektivitas radiator	-
\dot{q}_{aktual}	Laju perpindahan panas <i>actual</i>	(W)
\dot{q}_{max}	Laju perpindahan panas maksimum	(W)
$C_c = C_{min}$	Laju kapasitas udara	(W/°C)
C_h	Laju kapasitas fluida radiator	(W/°C)
C_c	Laju kapasitas udara	(W/°C)
$C_{min} = C_h$	Laju kapasitas minimum dari udara	(W/°C)
C_{max}	Laju kapasitas maksimum fluida radiator	(W/°C)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi semakin hari semakin meningkat pada dunia otomotif. Pada umumnya sebagian besar dari orang-orang sudah memiliki kendaraan baik roda dua maupun roda empat. Penggunaan kendaraan selalu disertai dengan bahan bakar, dimana bahan bakar digunakan dalam proses pembakaran di dalam silinder yang akan menimbulkan panas pada mesin. Panas tersebut jika tidak mendapatkan pendinginan yang baik, itu akan menjadi penyebab berubahnya sifat-sifat mekanis beserta bentuk dari komponen mesin. Sifat serta komponen mesin bila telah berubah akan menyebabkan komponen mesin terganggu dan mengurangi usia pakai dari suatu mesin.

Temperatur mesin harus dapat distabilkan dengan sistem pendingin dalam menghasilkan kinerja mesin yang optimal. Sistem pendinginan pada kendaraan ada 2 jenis, sistem pendinginan air (*water cooling system*) dan sistem pendinginan udara (*air cooling system*). Sistem pendinginan air pada umumnya bertujuan untuk menyerap sebagian panas mesin yang ditimbulkan oleh proses pembakaran di dalam silinder. Secara prinsip dapat dikatakan bahwa sistem ini bekerja berdasarkan konveksi paksa, karena fluidanya bersirkulasi secara terus-menerus (*continuous*) dalam menyerap panas mesin. Kalau sistem pendinginan udara, proses perambatannya dilakukan dengan menggunakan sirip-sirip (*fins*) yang berfungsi untuk menambah luas perpindahan panasnya. Panas tersebut diserap

oleh udara luar yang bersirkulasi dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur sirip pendingin. Pendinginan udara seperti ini, sering dijumpai pada sepeda motor atau mesin-mesin yang berkapasitas kecil.

Sistem pendinginan pada kendaraan dahulu pada umumnya menggunakan air putih biasa sebagai fluida radiator pada saat sekarang ada berbagai jenis yang dikeluarkan perusahaan untuk fluida radiator yang dikenal sebagai sebutan *coolant*. *Coolant* adalah cairan pendingin pada radiator yang berfungsi sebagai media penyerap panas mesin, sehingga kerja mesin akan menjadi stabil. *Coolant* di pasaran terdapat berbagai jenis dengan harga yang beragam dan temperatur didihnya juga berbeda. Sehingga akan ada pengaruh yang ditimbulkan dari perbedaan temperatur didih, merek dan harga dari masing-masing jenis *coolant* yang digunakan. Tetapi beberapa merek *coolant* mengklaim dapat menjadi media pemindah panas terbaik untuk radiator. Jadi penjelasan dari merek *coolant* ini membuat penulis tertarik untuk mengkaji tentang pengaruh *water coolant* terhadap efektivitas radiator pada mesin Isuzu panther. Efektivitas radiator diartikan seberapa cepat radiator menurunkan suhu mesin. Dilihat dari suhu udara disekitar radiator, suhu cairan yang masuk ke radiator, dan suhu cairan saat keluar dari radiator (Nazaruddin, 1999). Semakin cepat radiator mendinginkan suhu pada mesin maka semakin efektif kerja radiator (Fachruddin MA, 2018). Efektivitas radiator pernah dilakukan penelitian oleh (Saragih, 2017) bahwa dikatakan semakin rendah titik beku dan semakin tinggi titik didih pada suatu *coolant* maka nilai efektivitas radiator semakin tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang di tentukan adalah:

1. Apa pengaruh dari jenis *water coolant* yang berbeda termasuk air mineral terhadap efektivitas radiator pada mesin Diesel dengan variasi putaran mesin (1000,1500,2000, dan 2300) rpm.
2. Apa pengaruh dari jenis *water coolant* yang berbeda termasuk air mineral terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh dari jenis *water coolant* yang berbeda termasuk air mineral terhadap efektivitas radiator pada mesin Diesel dengan variasi putaran mesin (1000,1500,2000, dan 2300) rpm.
2. Untuk mengetahui pengaruh dari jenis *water coolant* yang berbeda termasuk air mineral terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh.
3. Untuk mengetahui jenis *water coolant* yang terbaik pada radiator.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan banyak permasalahan-permasalahan yang akan muncul. Oleh karna itu penulis membatasi penelitian ini, agar tidak menyimpang dari materi pembahasan. Dimana pembahasan meliputi:

1. Pengujian dilakukan dalam waktu 15 menit pada setiap variasi putaran dari masing-masing *water coolant* yang digunakan termasuk air mineral.
2. Pengujian meliputi uji koefisien perpindahan panas menyeluruh dan mencari efektivitas pada setiap jenis dari *water coolant* yang digunakan termasuk air mineral dengan melihat temperatur dari masing-masing fluida.

1.5 Sistematika Penulisan

Agar penyusunan laporan ini dapat dipahami maka penulis menyusun bagian-bagian tersebut antara lain sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penguraian dasar teori yang dipakai dalam pembahasan atau penyelesaian yang berhubungan langsung dengan dengan pemecahan masalah.

BAB III: METOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tempat penelitian, diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, tabel data yang digunakan dalam penelitian, dan jadwal kegiatan penelitian.

BAB IV: ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengemukakan tentang hasil penelitian dan pembahasan hasil penelitian.

BAB V : PENUTUP

Bab ini akan didapatkan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Sistem Pendingin

Sistem pendinginan adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *over heating* (panas yang berlebihan) pada mesin agar mesin bisa bekerja secara optimal. Sistem pendingin menyerap panas mesin lalu didinginkan dengan bantuan media fluida air atau udara yang ditimbulkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dengan udara di dalam silinder. Sistem pendinginan pada motor bakar berfungsi untuk menurunkan temperatur pada mesin yang terjadi dalam proses pembakaran. Proses pembakaran selanjutnya akan menghasilkan tenaga mekanis yang dapat menggerakkan mesin. Akan tetapi dari proses pembakaran juga menghasilkan panas, panas yang berlebihan apabila tidak didinginkan akan memuai dan merusak komponen dari mesin itu sendiri. Hasil pembakaran pada motor bakar yang menjadi tenaga mekanis hanya sekitar 23%, sebagian panas keluar menjadi gas bekas dan sebagian lagi hilang melalui proses pendinginan.

Pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin menyalurkan energi panas ke dalam bentuk tenaga putar. Tetapi energi panas dari bahan bakar tidak sepenuhnya dapat dikonversikan ke dalam bentuk tenaga. Hanya kurang lebih 25% dari energi yang dikonversikan menjadi tenaga. Kurang lebih 45% dari energi panas hilang menjadi gas buang atau gesekan dan 30 % diserap oleh sistem pendinginan.

Fungsi dari sistem pendinginan pada kendaraan dapat dibagi menjadi tiga yaitu:

2.1.1 Mencegah terjadinya *over heating*.

Panas yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dengan udara dapat mencapai temperatur sekitar 2500 °C pada ruang bakar. Panas yang cukup tinggi ini dapat merusak logam atau bagian lain yang digunakan pada motor, hal ini disebabkan karena logam dan minyak pelumas pada suhu yang tinggi akan merusak komponen-komponen pada mesin dan apabila motor tidak dilengkapi dengan sistem pendinginan dapat merusak bagian-bagian dari motor tersebut.

2.1.2 Mempertahankan temperatur motor.

Temperatur motor harus dipertahankan, agar selalu pada temperatur kerja yang efisien. Hal ini dapat dilakukan dengan menyerap panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran yang berlebihan, berputarnya kipas pendingin ketika mesin dalam kondisi panas, dan katup *thermostat* yang membuka dalam kondisi mesin pada temperatur kerja.

2.1.3 Mempercepat motor mencapai temperatur kerja

Mempermudah pencapaian suhu kerja pada awal pengoperasian mesin (Ade Irfan S, 2007).

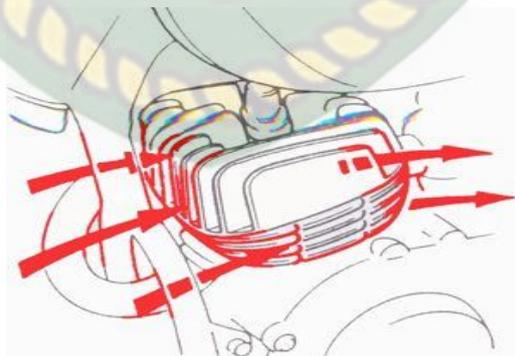
2.2 Macam-macam Sistem Pendingin Mesin

Sistem pendinginan yang biasa digunakan pada mesin ada dua macam yaitu pendinginan udara dan pendinginan air, kedua cara ini dapat menyerap panas

sekitar 33% ke atmosfer (udara luar) dengan daya konveksi, yaitu fluida dikeluarkan ke permukaan bahan logam yang panas.

2.2.1 Sistem Pendingin Udara (*air cooling system*)

Pendingin udara adalah pendinginan menggunakan media udara sebagai penyerap panas pada mesin. Panas dari mesin yang bekerja dilewatkan melalui sirip, rusuk, atau *fins* ke udara luar. Biasanya digunakan pada mesin satu silinder atau kendaraan berdaya kecil. Panas yang dihasilkan dari pembakaran gas dalam silinder pada sistem pendinginan udara dirambatkan keluar. Proses perambatannya dilakukan dengan menggunakan sirip – sirip yang dipasang dibagian luar dari silinder dan ruang bakar. Panas tersebut selanjutnya diserap udara luar yang bersirkulasi dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur sirip pendingin. Udara yang menyerap panas dari sirip–sirip pendingin harus berbentuk aliran atau dengan kata lain udaranya harus mengalir agar temperatur udara sekitar sirip tetap rendah sehingga penyerapan panas berlangsung sempurna. (Maleev, 1982 : 385).



Gambar 2.1 Pendinginan Udara
(Sumber: Fahmi, 2014)

2.2.2 Sistem Pendinginan Air (*water cooling system*)

Sistem pendingin air adalah pendingin yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Dimana air difungsikan sebagai media penyerap panas pada mesin. Panas dari pembakaran gas dalam silinder pada sistem pendinginan air sebagian diserap oleh air pendingin. Secara prinsip dapat dikatakan bahwa sistem ini bekerja berdasarkan prinsip pertukaran panas (*heat changer*). Panas hasil pembakaran akan diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi. Air pendingin tersebut kemudian didinginkan oleh udara luar yang bertekanan yang dihembuskan oleh *blower* radiator. (Maleev, 1982 : 388).

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

1. Sirkulasi alamiah (*Natural Circulation*)
2. Sirkulasi dengan tekanan

2.2.2.1 Sirkulasi Secara Alamiah (*Natural Circulation*)

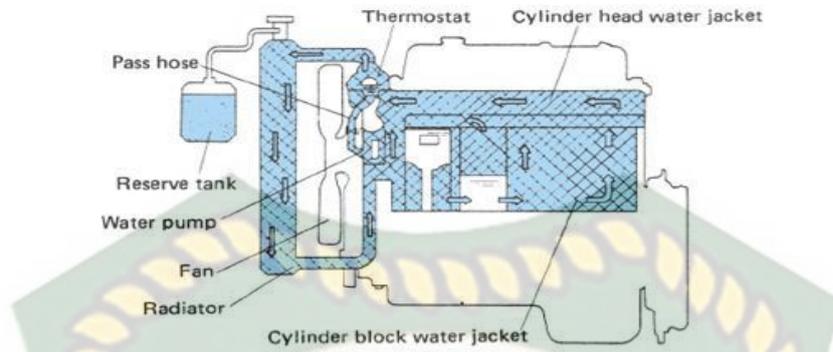
Sistem pendinginan jenis ini terjadi diakibatkan oleh perbedaan massa jenis air yang telah panas dan air yang masih dingin, maka air yang telah panas akan bergerak menempati bagian atas dari tangki dan mendesak air yang berada di atasnya segera mengalir ke pipa, air yang mengalir memasuki bagian bawah dari tangki dimana setelah dipanaskan air akan mengalir ke atas. (Maleev, 1982 : 387).

Air yang berada di dalam tangki pada mesin disamakan dengan air yang berada pada mantel - mantel air. Panas diambil dari panas hasil pembakaran, sedangkan radiator dipakai untuk mengubah air yang panas menjadi dingin. Air panas yang berada di dalam mantel – mantel air dipanaskan oleh panas

pembakaran di dalam ruang bakar dan silinder sehingga air tadi akan menyerap panas dan temperaturnya akan naik mengakibatkan turunnya berat jenis. Air panas akan didesak ke atas oleh air yang masih dingin dari radiator sehingga akan mengalir ke bagian atas radiator yang selanjutnya akan turun panasnya karena telah dibuang sebagian pada radiator. Pada saat yang bersamaan dengan turunnya air pada radiator terjadi pembuangan panas yang besar sehingga mempercepat turunnya air pada radiator.

2.2.2.2 Sirkulasi dengan tekanan

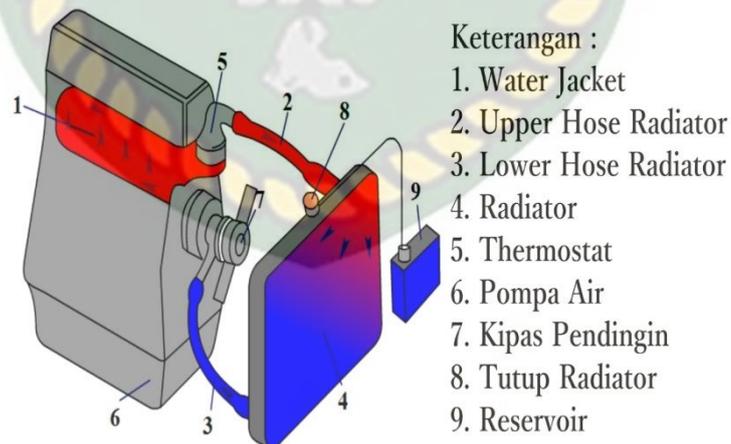
Sirkulasi jenis ini hampir sama dengan sirkulasi jenis aliran hanya ditambahkan pompa air untuk mempercepat terjadinya sirkulasi air pendingin,. Pompa air ini ada yang ditempatkan pada saluran antara radiator dengan mesin dimana air yang mengalir ke mesin ditekan oleh pompa, ada juga yang ditempatkan pada saluran antara mesin dengan radiator. Sirkulasi jenis ini karena dapat berlangsung dengan sempurna dan air yang berada di dalam mantel - mantel air tetap dalam keadaan penuh tanpa ada gelembung udara. Sirkulasi jenis ini kecenderungan air untuk mendidih sangatlah kecil sekali karena tekanannya melebihi tekanan atmosfer yang berarti titik didihnya akan berada jauh di atas 100°. (Maleev, 1982 : 388)



Gambar 2.2 Sirkulasi Dengan Tekanan
(Sumber: Prasetyadi Juan, 2017)

2.3 Komponen-komponen Sistem Pendingin Air

Sistem pendinginan air memiliki bagian-bagian yang bekerja secara integrasi satu dengan yang lainnya, komponen-komponen tersebut akan bekerja untuk mendukung kerja sistem pendinginan air. Adapun bentuk dari komponen-komponen sistem pendinginan air bisa dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Komponen-Komponen Sistem Pendingin Air
(Sumber: Haryanto Fachry, 2017)

2.3.1 Radiator

Radiator berfungsi sebagai alat untuk mendinginkan air pendingin yang menyerap panas dari mesin dengan cara membuang panas tersebut melalui sirip-sirip radiator. Air dari radiator tersebut dikirim ke bagian yang didinginkan melalui selang radiator, baik dari radiator ke blok silinder ataupun dari blok silinder ke radiator



Gambar 2.4 Radiator.
(Sumber: Kurniawan, 2015)

Konstruksi radiator terdiri dari beberapa komponen antara lain:

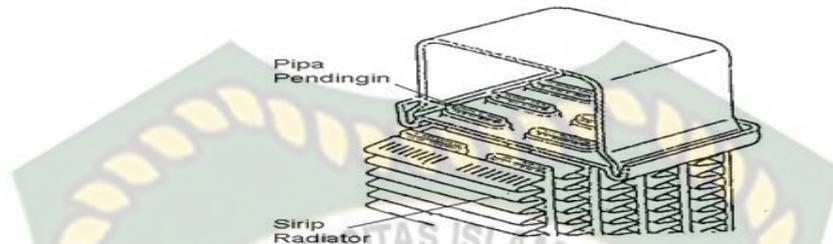
➤ Tangki atas (*Upper Tank*)

Tangki atas berfungsi untuk menampung air panas dari mesin. Tangki ini juga dilengkapi dengan lubang pengisian, pipa pembuangan berhubungan dengan tangki *reservoir* untuk membuang kelebihan air sehingga tidak terdapat gelembung air dalam sistem.

➤ Inti radiator (*Tubes*)

Inti radiator berfungsi untuk membuang panas dari air ke udara agar temperatur menjadi lebih rendah dari sebelumnya. Inti radiator terdiri dari

pipa-pipa air untuk mengalirkan air dari tangki atas ke tangki bawah dan sirip-sirip pendingin untuk membuang panas air yang ada pada pipa.



Gambar 2.5 inti radiator
(Sumber: Ade Irfan S, 2007)

➤ Tangki bawah (*Lower Tank*)

Tangki bawah berfungsi untuk menampung air yang telah didinginkan oleh inti radiator dan selanjutnya disalurkan ke mesin melalui kerja pompa. Selain itu tangki bawah juga berhubungan dengan saluran pembuangan air pada saat dilakukan pengurasan air radiator.

➤ Tangki Atas (*Upper Tank*)

Berfungsi sebagai penampung fluida panas yang keluar dari *water jacket* sebelum fluida masuk ke dalam inti radiator yang menghubungkan tangki atas dan tangki bawah.

➤ Sambungan selang atas

Berfungsi sebagai jalan pehubung atau jalan masuk air dari head silinder ke tangki bagian atas radiator.

➤ Sambungan selang bawah.

Berfungsi sebagai jalan pehubung atau jalan masuk air dari tangki bagian bawah radiator ke blok silinder.

➤ Sirip-sirip (*Fin*)

Berfungsi untuk membuat meningkatkan tekanan (turbulensi) udara disekitar kisi-kisi (tube) supaya pendinginan air lebih efisien.

➤ Kran pembuangan (*Drain cock*)

Berfungsi untuk membuang air yang ada didalam radiator padasaat ingin menguras atau mengganti air radiator yang lama.

➤ Tangki Cadangan

Berfungsi sebagai tempat cadangan fluida radiator dan tempat untuk fluida keluar dari saluran *overflow* karena tekanan fluida dalam radiator yang mendorong pegas pada tutup radiator sehingga air keluar menuju tangki cadangan.

Walaupun memiliki fungsi yang sama yaitu menampung air radiator dan tempat proses pendinginan. Tetapi ada beberapa jenis bahan untuk pembuatan tabung radiator yang digunakan di dunia otomotif diantaranya tembaga dan kuningan. Jenis yang terbuat dari tembaga dan kuningan lebih cepat mendinginkan fluida radiator karena nilai konduktivitasnya tinggi ketimbang dari aluminium dan besi. Akan tetapi yang sering diperhatikan ialah besar kecilnya tabung radiator yang digunakan, karena apabila tabung radiator lebih besar maka otomatis tabung tersebut dapat menampung fluida radiator lebih banyak dan juga memiliki jumlah inti radiator yang lebih banyak pula. Jumlah inti radiator tersebut sangat berpengaruh pada saat terjadinya proses pendinginan fluida radiator dikarenakan semakin banyak jumlah inti radiator semakin cepat terjadinya proses

pendinginan dan semakin efektif kerja radiator tersebut (Wiguna RC, 2018).

Adapun jenis radiator antara lain adalah :

1. Radiator 1 ply

Radiator 1 ply adalah radiator yang memiliki satu baris inti radiator saja, dimana radiator ini digunakan pada daya kecil seperti sepeda motor yang memiliki sistem pendingin radiator.



Gambar 2.6 Radiator 1 ply

2. Radiator 2 ply

Radiator 2 ply adalah radiator yang memiliki dua baris inti radiator, yang berguna untuk membantu proses pendinginan fluida radiator. Pada umumnya radiator 2 ply ini banyak digunakan pada kendaraan yang memiliki daya sedang seperti mobil pribadi.



Gambar 2.7 Radiator 2 ply
(Sumber: Wiguna RC, 2018)

3. Radiator 3 ply

Radiator 3 ply adalah radiator yang memiliki tiga baris inti radiator, dimana radiator 3 ply lebih cepat dalam proses pendinginan, dikarenakan inti radiator yang digunakan lebih banyak sehingga agak tebal dibandingkan dengan 2 ply.



Gambar 2.8 Radiator 3 ply
(Sumber: Wiguna RC, 2018)

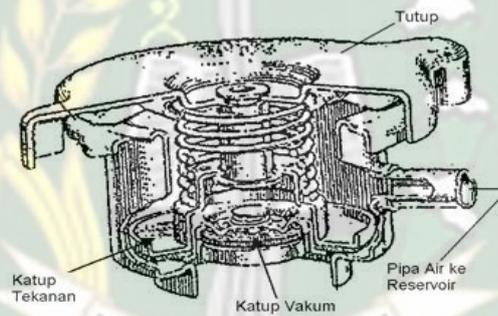
2.3.2 Tutup Radiator

Tutup radiator memiliki dua fungsi pertama untuk penutup radiator agar air tidak tumpah yang kedua berfungsi sebagai katup otomatis yaitu ketika suhu dan tekanan naik katup tersebut akan membuka secara otomatis sehingga fluida yang ada di dalam radiator akan mengalir di saluran *overflow* ke dalam tangki cadangan dan begitu juga sebaliknya fluida tersebut akan di tarik kembali ketika fluida mulai dingin sehingga volume air tidak berkurang di dalam radiator.

Fungsi tutup radiator antara lain :

1. Penutup radiator agar tidak terjadi kebocoran.

2. Membuat sistem menjadi bertekanan sehingga dapat mencegah terjadinya penguapan air dalam sistem (fungsi *relief valve*) dan mempercepat pencapaian suhu kerja mesin.
3. Untuk mengurangi tekanan apabila tekanan di dalam sistem berlebihan sehingga dapat mencegah kerusakan dari bagian sistem.
4. Mengalirkan air dari radiator ke penampung atau *reservoir* dan memasukkan kembali pada saat tekanan dalam radiator turun (fungsi katub *vacum*)

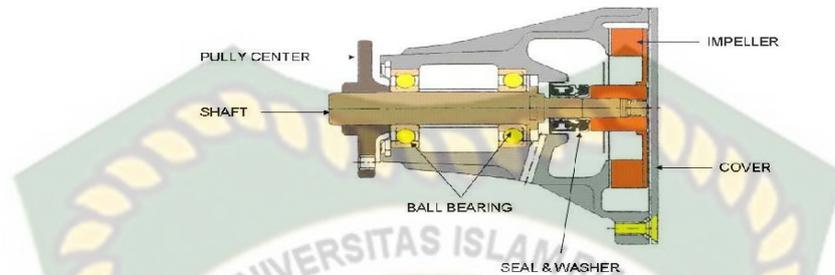


Gambar 2.9 Tutup Radiator
(Sumber: Ade Irfan S, 2007)

2.3.3 Pompa air (*Water Pump*)

Pompa air pada radiator berfungsi membantu mensirkulasikan cairan radiator dari *water jacket* ke tangki atas radiator untuk didinginkan karena fluida tersebut udah menyerap panas mesin yang disebabkan oleh pembakaran di dalam silinder. Pompa akan bekerja terus-menerus (*countinuous*) selama mesin hidup, ada yang bekerja menggunakan putaran poros engkol atau *crankshaft* dan ada yang menggunakan putaran noken as atau *camshaft*. Pompa air radiator biasanya menggunakan tipe pompa sentrifugal yang menggunakan sudu-sudu atau impeler

untuk menimbulkan tekanan agar dapat bersirkulasi ke seluruh jalur sistem pendingin radiator.



Gambar 2.10 Pompa Air
(Sumber: Ade Irfan S, 2007)

Bagian – bagian dari *Water Pump*:

➤ Poros (*shaft*)

Merupakan komponen utama pada pompa dimana bagian depannya dihubungkan dengan puli untuk mendapatkan tenaga dari putaran poros engkol sedangkan bagian belakang dihubungkan dengan *impeler* pompa.

➤ *Impeler*

Impeler berfungsi untuk membuat perbedaan tekanan pada saat pompa bekerja. Pada mesin Isuzu Panther menggunakan sudu *impeler* yang berlawanan dengan arah putarnya, hal ini bertujuan untuk menciptakan aliran yang sempurna tanpa adanya *kavitasi*.

➤ *Water Pump seal*

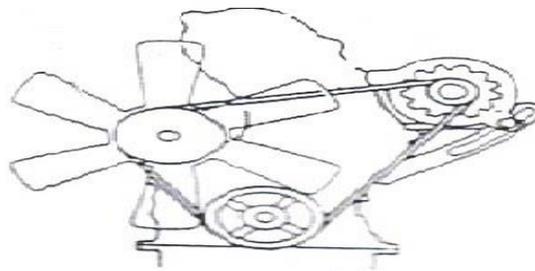
Water pump seal berfungsi untuk mencegah kebocoran air dari sistem pendingin pada poros pompa

2.3.4 Kipas Pendingin

Fluida di dalam radiator didinginkan oleh aliran udara luar yang menumbuk sirip-sirip pada radiator ketika kendaraan berjalan, sehingga fluida panas di dalam inti radiator bisa diserap panasnya oleh udara. Tetapi ketika kendaraan berhenti aliran udara tidak akan cukup untuk mendinginkan fluida di dalam radiator. Untuk mengatasi hal tersebut maka dibelakang radiator dipasanglah kipas pendingin untuk membantu agar aliran udara selalu cukup untuk mendinginkan fluida di dalam radiator. Ada dua jenis kipas yang sering digunakan pada kendaraan yaitu (Wiguna RC, 2018):

1. Kipas Konvensional

Kipas ini disebut konvensional karena bekerja secara otomatis berdasarkan mesin, sehingga ketika mesin hidup kipas juga langsung hidup dan semakin tinggi RPM mesin semakin cepat putaran kipas. Ini terjadi karena ada *V-belt* yang menghubungkan poros engkol (*pulley* mesin) dengan poros kipas pendingin. Dan kelemahan kipas konvensional adalah tidak dapat membantu mengatur suhu mesin ketika suhunya masih dingin (di bawah suhu kerja mesin).



Gambar 2.11 Kipas Konvensional

(Sumber: Ade Irfan S, 2007)

2. Kipas Elektrik

Pada versi terbaru, kipas tidak lagi dihubungkan dengan *pulley* mesin, Namun sudah bekerja menggunakan sebuah motor listrik. Sebuah motor listrik diletakkan pada poros *cooling fan* dan akan bekerja pada waktu tertentu saja. Kipas *elektrik* bekerja disaat suhu mesin mengalami peningkatan di atas suhu kerjanya kemudian kipas akan berhenti saat suhu mesin turun ke suhu kerja. Dan proses ini terus berlangsung selama mesin hidup, namun *electric fan* juga akan menyala dikala AC diaktifkan meski suhu mesin berada di bawah suhu kerjanya. Kontrol kipas ini sudah diatur oleh sistem *electrical* secara otomatis melalui sensor sehingga tidak perlu memusingkan masalah pendinginan mesin-mesin moderen. Ini membuat rpm mesin tidak mempengaruhi kinerja kipas, dengan kata lain kipas bisa mati meski mesin bekerja cukup kencang. Selain itu, kelebihan lain dari *electric fan* ini juga tidak membebani tenaga mesin sehingga power mesin bisa dimaksimalkan untuk menjalankan roda. Untuk kelemahannya ada pada penggerak itu sendiri, saat baterai atau kelistrikan mobil *drop* maka ini juga akan mempengaruhi kinerja kipas pendingin.

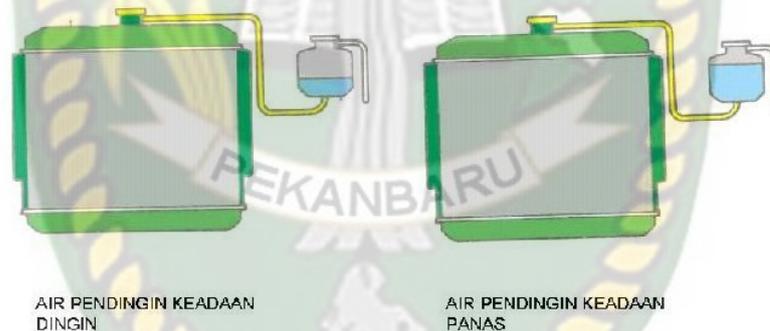


Gambar 2.12 Kipas Radiator Elektrik

(Sumber: Kurniawan, 2015)

2.3.5 Tangki Cadangan

Tangki cadangan (*reservoir tank*) dihubungkan ke radiator dengan selang *over flow*. Apabila tempertur dan tekanan air pendingin naik menyebabkan cairan pendingin berekspansi. Saat tekanan dan volume melebihi kemampuan kerja tutup radiator maka cairan pendingin yang berlebihan akan dikirim ke *reservoir*. Apabila temperatur turun, maka cairan pendingin yang ada di dalam tangki cadangan akan kembali ke radiator. Hal ini untuk mencegah terbuangnya cairan pendingin saat diperlukan agar jumlahnya tetap. Pada Isuzu Panther menggunakan *reservoir tank* berbahan dasar plastik dan berwarna putih, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam pengecekan volume air pendingin dalam radiator.



Gambar 2.13 Tangki Cadangan
(Sumber: Ade Irfan S, 2007)

2.3.6 Mantel Pendingin (*Water Jacket*)

Mantel pendingin pada mesin Isuzu Panther mengelilingi silinder-silinder dan kepala silinder, yang berfungsi untuk mendinginkan bagian-bagian pendingin silinder dan ruang bakar secara efektif. Mantel pendingin pada kepala silinder dan blok silinder berhubungan langsung dengan tangki radiator bagian atas.



Gambar 2.14 *Water Jacket*
(Sumber: Kurniawan, 2015)

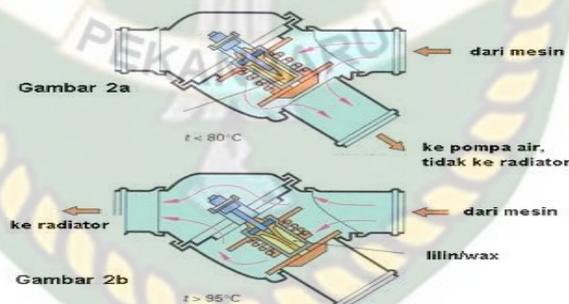
2.3.7 *Thermostat*

Thermostat berfungsi untuk menutup dan membuka sirkulasi pada fluida radiator. *Thermostat* berbentuk semacam katup otomatis yang bekerja atas dasar pengaruh suhu fluida pendingin yang berada di *water jacket* dan *thermostat* biasanya terpasangkan pada saluran fluida panas yang keluar dari kepala silinder. *Thermostat* sangat sensitif terhadap kotoran, *thermostat* dapat seketika berhenti bekerja karena tertahan debu, kotoran ataupun pasir. Bila mesin dalam keadaan dingin maka *thermostat* akan menutup untuk mempercepat proses pemanasan fluida yang berada di dalam *water jacket*. Setelah mencapai suhu kerja mesin atau *thermostat* yaitu antara 80-90°C (derajat celcius) maka *thermostat* akan mulai membuka dan akan terbuka penuh pada suhu 90°C. *Thermostat* bekerja seperti katup otomatis yang bekerja berdasarkan suhu pada fluida (wiguna RC,2018).

Proses kerja thermostat:

Ketika mesin baru hidup, suhu air radiator masih dingin, thermostat masih tertutup dan air radiator yang dipompa oleh water pump masuk ke samping silinder atau water jaket di sekeliling silinder dan masuk ke silinder head. Dari

silinder head air pendingin karena dipompa oleh water pump akan kembali ke water pump melewati saluran bypass yang mana lubang saluran bypass dengan waterpump masih terbuka karena bypas valve pada thermostat belum menutup saluran bypass. Perlu dimengerti dahulu beda Saluran bypass dengan bypass valve, saluran bypass berada di blok mesin sedangkan bypass valve di thermostat. Dari sirkulasi pendek cairan pendingin mesin tersebut, akan mempercepat temperatur kerja mesin tercapai. Ketika air pendingin yang berada pada bagian mesin (water jaket) temperaturnya sudah naik dan berada pada suhu buka thermostat, maka valve utama thermostat terbuka dan bypass valve menutup saluran bypass pada mesin. Pada saat saluran bypass tertutup oleh bypass valve thermostat, saat itu juga valve utama thermostat terbuka dan mengalirkan air dari radiator yang telah didinginkan oleh kipas radiator untuk mendinginkan mesin.



Gambar 2.15 Thermostat.
 (Sumber Bintoro, 2014)

2.3.8 Pipa-Pipa Saluran (Selang)

Pemasangan saluran pendingin memerlukan pipa saluran yang fleksibel, seperti saluran utama bagian atas dan bagian bawah radiator serta saluran *bypass* dan saluran lainnya bisa digunakan untuk memindahkan zat pendingin menuju

atau keluar dari mesin. Saluran radiator membentuk suatu hubungan fleksibel dengan mesin dan radiator, sehingga memungkinkan untuk disirkulasikan dan meredam dari getaran mesinyang bergerak. Pipa atau selang terbuat dari karet, agar dapat menjaga kestabilan temperatur, dan tekanan dalam sistem (Daryanto, 2002 : 25). Bagian luar selang dibalut dengan selang penjepit yang berfungsi membalut permukaan, menjaga tekanan dalam sistem dengan menahan kelenturanya dan menjadi peredam temperatur dalam sistem pendinginan (Daryanto, 2002 : 11). Macam-macam selang dalam sistem pendingin antara lain :

- Selang Radiator atas
Selang radiator atas berfungsi menghubungkan bagian atas dari radiator ke pengeluar (*outlet*) ruang pengukur panas dan menyalurkan air panas dari mesin ke radiator.
- Selang radiator bawah
Selang radiator bawah berfungsi menghubungkan bagian lebih rendah pada ruang *thermostat* ke sisi jalan masuk pompa air dan menyalurkan air hangat dari radiator ke mesin.
- Selang *bypass* (ketika dipasang)
Selang *bypass* (ketika dipasang) berfungsi untuk menghubungkan bagian lebih rendah pada ruang *thermostat* ke sisi jalan masuk pompa air dan menyediakan sirkulasi ke pompa ketika *thermostat* tertutup.
- Selang pemanas
Selang pemanas biasanya digunakan untuk mengedarkan air ke pemanas kendaraan atau saluran masuk pompa. Satu selang menghubungkan bagian

terendah ruang *thermostat* atau kepala silinder dan melangsungkan air panas ke pemanas. Selang yang lain menghubungkan ke sisi jalan masuk pada pompa air untuk menyalurkan air hangat kembali ke mesin.

➤ Selang penjepit

Selang penjepit digunakan untuk melindungi kerapatan selang untuk macam-macam hubungan (pada ujung selang). Beberapa jenis dari selang penjepit pada kendaraan antara lain jubilee, tipe skrup, dan tipe kancing atau spring.

2.3.9 Coolant (Caira Pendingin)

Coolant adalah cairan pendingin yang merawat seluruh sistem pendingin radiator, dimana *coolant* memiliki titik beku yang rendah dan titik didih yang tinggi sehingga dapat mencegah mesin dari panas yang berlebih. Hal ini dapat dibuktikan pada penelitian (Saragih, 2017) bahwa semakin rendah titik beku dan semakin tinggi titik didih pada suatu *coolant* maka nilai efektivitas radiat semakin tinggi. *Coolant* juga melindungi logam sistem pendingin seperti kuningan, tembaga, baja, besi cor dan aluminium dari korosi. *Coolant* merupakan pendingin premium, campuran 30% konsentrat dengan 70% air murni tanpa ion mineral dan diformulasikan dari *ethylene glycol* dan adiktif yang seimbang. *Coolant* memiliki kandungan silikat yang rendah, bebas nitrit, amina dan postat. Teknologi pendingin ini meningkatkan efisiensi, kinerja dan umur mesin. *Coolant* memiliki tingkatan mutu internasional ASTM D 3306 dan JIS K 2234 seperti tabel 2.1 di bawah ini.

Table 2.1 Spesifikasi *Edditive Coolant* (petermina, 2011)

Characteristics	Specification	PERTAMINA COOLANT
Density at 20°C, g/cm ³	min 1.112	1.129
Boiling Point, °C	min 155	165
Foaming Property, ml	max 4	0
Water Content, %	max 5.0	4.2
pH Value	7.0 to 11.0	7.9
Freezing Point, °C		
50 vol%	max -34.0	-36.6
30 vol%	max -14.5	-15.7

Adapun keunggulan dari *coolant* yaitu (petermina, 2011):

- Sifat perpindahan panasnya lebih baik.
- Siap digunakan dan tidak membutuhkan pengeceran untuk pengisian pertama dan penambahan.
- Titik didih yang tinggi untuk mencegah mesin kendaraan dari pemanasan berlebih.
- Mempertahankan suhu mesin kendaraan stabil untuk menghasilkan kinerja mesin yang optimum.
- Memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap korosi

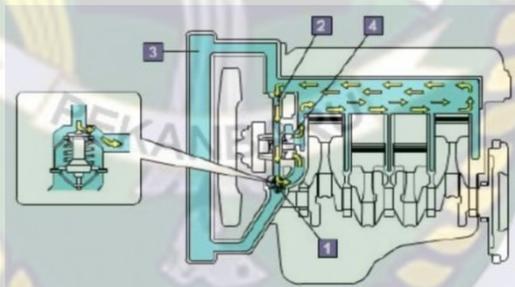


Gambar 2.16 *Water Coolant*

(Sumber: Gatot Soebiakto, 2012)

2.4 Cara Kerja Sistem Pendingin

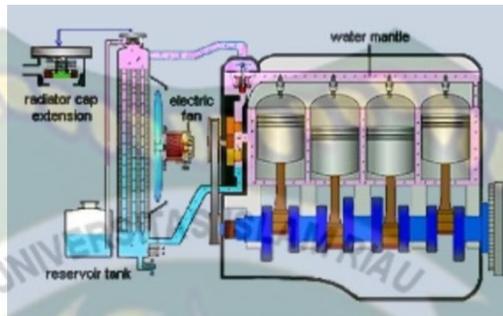
Saat mesin masih dalam keadaan dingin sirkulasi cairan pendingin hanya terjadi di dalam mesin saja, tanpa melalui radiator seperti yang ditunjukkan arah panah pada gambar 2.17 di bawah ini. Ketika mesin masih dalam keadaan dingin, cairan pendingin masih dalam keadaan dingin dan *thermostat* masih tertutup. Sehingga cairan pendingin yang bersirkulasi ke radiator tertutup oleh *thermostat* dan fluida hanya bisa melewati saluran *bypass* untuk kembali bersirkulasi kedalam mesin. Proses ini juga bertujuan untuk mempercepat mesin mencapai suhu kerja normal yaitu sekitar 80-90 °C (Kurniawan, 2015) sehingga ketika *thermostat* telah terbuka dengan adanya kenaikan suhu pada fluida, terjadilah sirkulasi secara *continuous*.



Gambar 2.17 Kerja Sistem Pendingin Keadaan Mesin Dingin
 (SMK N 1 Wonoasri, 2013)

Setelah mesin menjadi panas dan melebihi temperatur kerja mesin, maka *thermostat* akan terbuka dan katup *bypass* akan tertutup dalam *bypass sirkuit*. Sehingga cairan pendingin akan menyerap panas dari mesin, kemudian cairan pendingin didinginkan dengan bantuan kipas radiator pada saat melewati radiator. Selanjutnya cairan pendingin yang sudah didinginkan di dalam radiator akan di hisap kembali oleh pompa radiator menuju ke dalam *water jacket* untuk

mendinginkan mesin kembali, begitu seterusnya sampai temperatur kembali turun hingga *thermostat* kembali menutup (Kurniawan, 2015).



Gambar 2.18 Kerja Sistem Pendingin Keadaan Mesin Panas
(Sumber : SMK N 1 Wonoasri, 2013)

2.5 Mekanisme Perpindahan Energi Panas

Pada umumnya energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja. Energi merupakan besaran yang kekal artinya bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi energi dapat berubah dari suatu bentuk menjadi bentuk yang lain. Energi biasanya berpindah dari zat bertemperatur tinggi ke zat yang bertemperatur rendah. Secara umum mekanisme perpindahan panas dibagi menjadi tiga macam antara lain yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Dermawan RM, 2013).

2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada benda padat akibat dari beda temperatur atau perpindahan panas yang terjadi dengan cara kontak langsung antara benda-benda yang *relative* diam tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Untuk perpindahan panas konduksi menggunakan hukum Fourier, yaitu Fourier adalah nama seorang ahli matematika

fisika bangsa perancis yang bernama Joseph Fourier yang telah menemukan persamaan untuk perpindahan panas konduksi. Untuk perpindahan panas konduksi dipengaruhi oleh nilai k (konduktivitas termal suatu benda) semakin tinggi nilai k maka semakin cepat perpindahan panas yang terjadi. k diartikan sebagai kemampuan suatu *material* atau benda dalam menghantarkan panas. Karena mengingat panas akan mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah, maka perpindahan panas akan positif bila gradien temperaturnya negatif. Sehingga persamaan dasar konduksi dapat ditulis sebagai berikut :

$$q_{\text{cond}} = - k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots \text{Pers.2.1}$$

Dimana :

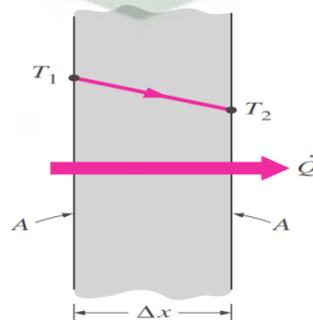
q_{cond} = Perpindahan panas konduksi (W)

k = Konduktivitas termal suatu benda (W/m.°C)

A = Luas penampang (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = Temperatur gradien (°C/m)

(-) = Perpindahan temperatur tinggi ke temperatur rendah



Gambar 2.19 Skema Perpindahan Panas Konduksi
 (Sumber : Yunus A. Cengel, 2004)

Beberapa bahan mempunyai nilai konduktivitas yang berbeda-beda dari masing-masing jenis bahan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2 di bawah ini.

Table 2.2 *Konduktivitas Termal* Beberapa Bahan (Yunus A. Cengel, 2004)

<i>Konduktivitas Termal</i> dari beberapa bahan pada temperatur ruang	
Bahan	<i>Konduktivitas Termal, k (W/m.°C)</i>
Berlian	2300
Perak	429
Tembaga	401
Emas	317
Aluminium	237
Besi	80.2
Air raksa	8.54
Kaca	0.78
Bata	0.72
Air	0.613
Kulit manusia	0.37
Kayu	0.17
Helium	0.152
Karet lunak	0.13
Serat kaca	0.043
Udara	0.026
Urethane, Busa kaku	0.026

2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena gerakan molekul-molekul fluida. Pada perpindahan panas konveksi berlaku hukum Newton tentang pendinginan. Konveksi sering dikaitkan dengan mekanisme perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida. Untuk persamaan perpindahan panas konveksi dinyatakan sebagai berikut :

$$q_{conv} = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots \text{Pers.2.2}$$

Dimana :

q_{conv} = Perpindahan panas konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

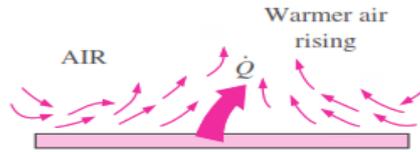
A = Luas penampang (m^2)

ΔT = Selisih Temperatur ($^\circ\text{C}$)

Laju perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh luas penampang perpindahan panas A dan selisih temperatur ΔT , semakin tinggi nilai keduanya semakin besar laju perpindahan panasnya. Secara umum perpindahan panas konveksi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu :

1. Konveksi bebas (*free convection*)

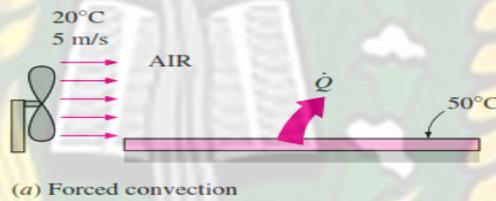
Konveksi bebas adalah laju perpindahan panasnya terjadi begitu saja tanpa ada alat bantu. konveksi bebas ini sangat memakan waktu yang sangat lama untuk memindahkan atau mengeluarkan panas tersebut. Untuk konveksi bebas bisa dilihat pada gambar 2.22 dibawah ini.



Gambar 2.20 Konveksi Bebas (*Free Convection*)
(Sumber : Yunus A. Cengel, 2004)

2. Konveksi paksa (*force convection*)

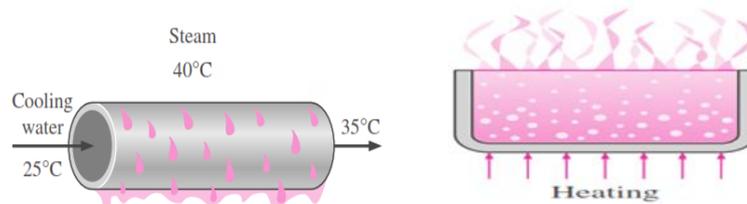
Konveksi paksa adalah proses perpindahan panasnya menggunakan alat bantu untuk mempercepat proses mengeluarkan panasnya.



Gambar 2.21 Konveksi Paksa (*Force Convection*)
(Sumber : Yunus A. Cengel, 2004)

3. Konveksi dengan perubahan fase

Yaitu sama seperti pendidihan (*boiling*) dan pengembunan (*condensation*) biasanya sering digunakan pada *power plane* (pembangkit listrik).



Gambar 2.22 Konveksi Pendidihan Dan Pengembunan
(Sumber : Yunus A. Cengel, 2004)

2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena gerakan-gerakan gelombang elektromagnetik yang dapat berlangsung walaupun diantara kedua benda tersebut ruang hampa udara. Perpindahan panas radiasi ini lebih banyak dimanfaatkan oleh orang seperti energi cahaya matahari yang tidak pernah habis dan ketika digunakan tidak menimbulkan folusi. Perpindahan panas radiasi ini menggunakan persamaan Stefan Boltzmann dimana nilai emisivitas untuk benda yang berwarna hitam sempurna adalah satu dan sementara objek sesungguhnya memiliki emisivitas kurang dari satu. Emisivitas adalah satuan yang tidak berdimensi.

$$q_{\text{rad}} = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \dots\dots\dots \text{Pers.2.3}$$

Dimana :

q_{rad} = Perpindahan panas radiasi (W)

σ = Konstanta Stefan Boltzmann ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

ϵ = Emisivitas permukaan material

A = Luas penampang (m^2)

T_s^4 = Temperatur permukaan benda ($^{\circ}\text{C}$)

T_{sur}^4 = Temperatur *surrounding* ($^{\circ}\text{C}$)

2.6 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Heat exchanger adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan energi dalam bentuk panas dari sistem ke sistem lain atau perpindahan panas yang

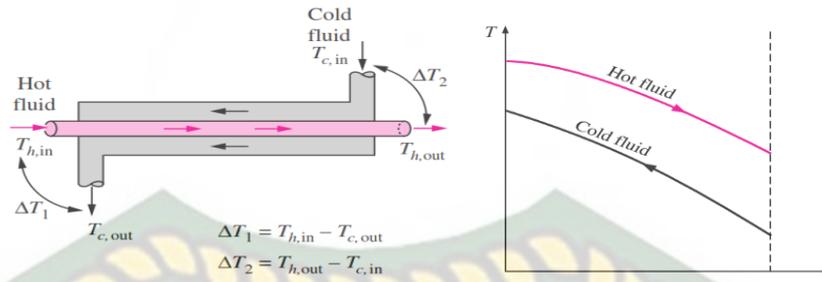
terjadi antara dua fluida yang berbeda temperatur biasanya berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Alat penukar kalor sangat banyak digunakan di dunia ini, karena merupakan hal yang penting untuk menstabilkan pendinginan seperti panas pada mesin, pembangkit tenaga listrik dan sampai pada peralatan rumah tanggapun menggunakan alat penukar kalor seperti *refrigerator* dan *air conditioning* tetapi hanya untuk merubah suhu bukan menstabilkan pendinginan.

2.6.1 Tipe Aliran Alat Penukar Kalor

Adapun tipe aliran pada alat penukar kalor (*heat exchanger*) terbagi menjadi beberapa macam diantaranya (Dermawan RM, 2013) :

1. Aliran Berlawanan (*Counter Flow*)

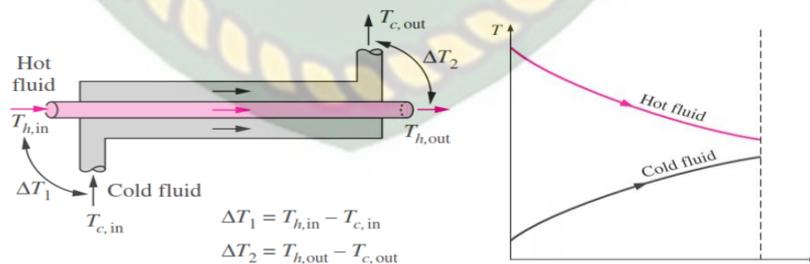
Fluida-fluida yang mengalir pada *heat exchanger* tipe ini saling sejajar, akan tetapi memiliki arah dari fluida saling berlawanan. Tipe aliran seperti ini memiliki perpindahan panas lebih cepat ketimbang dari jenis *heat exchanger* lainnya. Pada grafik temperatur terlihat bahwa temperatur air panas ketika keluar temperturnya akan menurun drastis dan temperatur air dingin ketika keluar temperturnya akan meingkat drastis dari temperatur air panas yang keluar. Karena itu tipe dari *counter flow* lebih bagus untuk digunakan dalam alat penukar kalor. Pada contoh *heat exchanger* yang sederhana seperti gambar 2.23 di bawah ini untuk perhitungan mencari *logarithmic mean temperature difference* (LMTD) pada *counter flow* berdeda dengan *parallel flow* perbedaannya pada temperatur ΔT_1 dan ΔT_2 -nya.



Gambar 2.23 Aliran Berlawanan (*Counter Flow*)
 (Sumber : Yunus A. Cengel, 2004)

2. Aliran Searah (*Parallel Flow*)

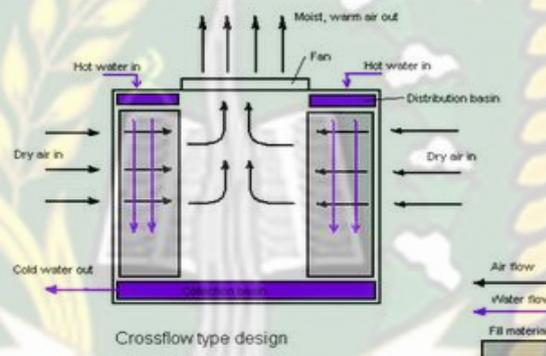
Aliran searah adalah aliran yang kedua fluidanya ketika mengalir sejajar tanpa tercampur. Kedua fluida masuk dari sisi yang berbeda dan keluarpun dari sisi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.24 di bawah ini. Pada grafik temperatur terlihat bahwa temperatur fluida panas ketika keluar akan menurun dan begitu juga sebaliknya fluida dingin setelah keluar akan menjadi panas tetapi panasnya tidak bisa sama dengan fluida panas keluar.



Gambar 2.24 Aliran Searah (*Parallel Flow*)
 (Sumber : Yunus A. Cengel, 2004)

3. Aliran Silang (*Cross Flow*)

Aliran silang adalah kedua fluida yang mengalir di *heat exchanger* saling tegak lurus atau bersilangan. Pada tipe ini aliran udara bergerak memotong secara tegak lurus terhadap aliran air yang jatuh ke bawah. Penukar kalor ini menggunakan kipas untuk menghisap udara sehingga panas pada fluida akan ditarik ke atas dan dibuang ke udara. Untuk jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.25 di bawah ini.



Gambar 2.25 Aliran Silang (*Cross Flow*)

(Sumber : Dermawan RM, 2013)

2.7 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida yang berbeda temperature, dimana perpindahan panasnya dapat dilakukan secara kontak langsung dan tidak langsung.

2.7.1 Secara Kontak Langsung

Adapun ciri-ciri perpindahan panas secara kontak langsung yang ada dalam *heat exchanger* yaitu fluida panas dicampur secara langsung dengan fluida dingin pada akhirnya temperatur fluida dingin akan sama dengan fluida panas. Jumlah

perpindahan panas dapat diperkirakan dengan menyamakan energi yang diberikan fluida panas kepada fluida dingin. Biasanya perpindahan panas seperti ini digunakan di daerah dingin untuk mendapatkan air hangat atau fluida hangat yang digunakan untuk mandi di pagi hari dan untuk keperluan lainnya.

2.7.2 Secara Kontak Tidak Langsung

Ciri-ciri tipe kontak tidak langsung adalah mekanisme perpindahan panasnya dari fluida panas ke permukaan terlebih dahulu, kemudian ke fluida dingin atau perpindahan panas terjadi karena adanya zat perantara. Perpindahan panas yang tidak langsung sangat banyak digunakan dalam alat penukar kalor (*heat exchanger*). Seperti pembangkit tenaga uap yang menggunakan air sebagai media pertama kemudian dipanaskan di dalam *boiler* secara tidak langsung dengan hasil pembakaran batubara dapat memanaskan air yang ada di dalam *boiler*. Sehingga air tersebut akan mendidih dan menjadi uap kemudian diproses lagi untuk digunakan memutar sudu-sudu turbin.

2.8 Metode Perhitungan

Metode perhitungan pada penelitian ini menggunakan rumus LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) dan efektivitas radiator untuk menganalisa jenis *water coolant* yang bagus digunakan pada sistem pendingin radiator dan berapa efektivitas radiator dalam menyerap panas dari mesin. Adapun beberapa rumus-rumus pendukung lainnya adalah :

- Debit aliran fluida radiator

$$Q_a = \frac{V}{t} \dots\dots\dots \text{Pers.2.4}$$

Dimana :

Q_a = Debit aliran fluida radiator (m^3/s)

v = Volume aliran fluida radiator (m^3)

t = Waktu (s)

- Kecepatan aliran fluida radiator

$$V_a = \frac{Q_a}{A_{\text{pipa}}} \dots\dots\dots \text{Pers.2.5}$$

Dimana :

V_a = Kecepatan aliran fluida radiator (m/s)

Q_a = Debit aliran fluida radiator (m^3/s)

A_{pipa} = Luas penampang pipa radiator (m^2)

Untuk mencari luas penampang pada pipa dan untuk luas penampang pada radiator menggunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$A_{\text{pipa}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{in. pipa}}^2 \dots\dots\dots \text{Pers.2.6}$$

Dan

$$A_{\text{radiator}} = L \cdot W \dots\dots\dots \text{Pers.2.7}$$

Dimana :

$D_{\text{in. pipa}}$ = Diameter pipa dalam (m)

L = *Lengthy* (panjang) (m)

W = *Width* (lebar) (m)

- Laju Aliran Massa

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \dots\dots\dots \text{Pers.2.8}$$

Dimana :

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

v = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang (m²)

- Laju Perpindahan Panas fluida dalam pipa radiator

$$\dot{q}_a = \dot{m}_a \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_h \dots\dots\dots \text{Pers.2.9}$$

Dimana :

\dot{q}_a = Laju perpindahan panas fluida radiator (W)

\dot{m}_a = Laju aliran massa fluida radiator (kg/s)

C_{pa} = Kalor spesifik fluida radiator (kJ/kg. °C)

ΔT_h = Selisih temperatur fluida panas (°C)

- Untuk Mencari Metode ΔT_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \dots\dots\dots \text{Pers.2.10}$$

Dimana :

Untuk *counter flow*

$$\Delta T_1 = T_{h.in} - T_{c.out} \dots\dots\dots \text{Pers.2.11}$$

$$\Delta T_2 = T_{h.out} - T_{c.in} \dots\dots\dots \text{Pres.2.12}$$

Dimana :

$T_{h.in}$ = Temperatur air panas masuk ke radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{h.out}$ = Temperatur air panas keluar radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c.in}$ = Temperatur udara masuk yang didepan radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c.out}$ = Temperatur udara keluar yang dibelakang radiator ($^{\circ}\text{C}$)

- Koefisien perpindahan menyeluruh

$$U = \frac{\dot{q}_a}{A_{\text{radiator}} \cdot \Delta T_{lm}} \dots\dots\dots \text{Pres.2.13}$$

Dimana :

U = Koefisien perpindahan menyeluruh ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

h_i = Koefisien perpindahan panas konveksi fluida radiator ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

h_o = Koefisien perpindahan panas konveksi fluida udara ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

\dot{q}_a = Laju perpindahan panas fluida radiator (W)

A_{radiator} = Luas penampang radiator (m^2)

ΔT_{lm} = *Log mean temperature difference* ($^{\circ}\text{C}$)

2.8.1 Metode Perhitungan Nilai Efektivitas Radiator (ϵ)

Efektivitas merupakan perbandingan antara laju energi yang sebenarnya terjadi dengan batas maksimum menurut kaidah termodinamika. Adapun persamaan dari efektifitas radiator yaitu :

- Untuk Mencari Efektivitas Radiator

$$\epsilon = \frac{\dot{q}_{\text{aktual}} \text{ (actual heat transfer rate)}}{\dot{q}_{\text{max}} \text{ (maximum heat transfer rate)}} = \dots\dots\dots \text{Pers.2.14}$$

Dimana :

ε = Efektivitas radiator

\dot{q}_{aktual} = Laju perpindahan panas *actual* (W)

\dot{q}_{max} = Laju perpindahan panas maksimum (W)

Untuk mencari nilai \dot{q}_{aktual} dan \dot{q}_{max} bisa ditentukan dengan persamaan di bawah ini :

$$\dot{q}_{\text{aktual}} = C_c (T_{c, \text{out}} - T_{c, \text{in}}) = C_h (T_{h, \text{in}} - T_{h, \text{out}}) \dots\dots\dots \text{Pers.2.15}$$

Dan

$$\dot{q}_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}}) \dots\dots\dots \text{Pers.2.16}$$

Dimana :

\dot{q}_{aktual} = Laju perpindahan panas *actual* (W)

\dot{q}_{max} = Laju perpindahan panas maksimum (W)

$T_{h, \text{in}}$ = Temperatur air panas masuk ke radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{h, \text{out}}$ = Temperatur air panas keluar radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c, \text{in}}$ = Temperatur udara masuk yang di depan radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c, \text{out}}$ = Temperatur udara keluar yang di belakang radiator ($^{\circ}\text{C}$)

$C_h = C_{\text{min}}$ = Laju kapasitas fluida panas (kW/ $^{\circ}\text{C}$)

C_c = Laju kapasitas dari udara (kW/ $^{\circ}\text{C}$)

ΔT_{max} = $T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}}$

Untuk laju kapasitas fluida panas atau fluida radiator dianggap sama dengan C_{min} karena penelitian ini mengenai tentang fluida radiator bukan udara. C_h dan C_c dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$C_h = \dot{m}_a \cdot C_{pa} \dots\dots\dots \text{Pers.2.17}$$

Dan

$$C_c = \dot{m}_u \cdot C_{pu} \dots\dots\dots \text{Pers.2.18}$$

Dimana :

C_h = Laju kapasitas fluida radiator (kW/°C)

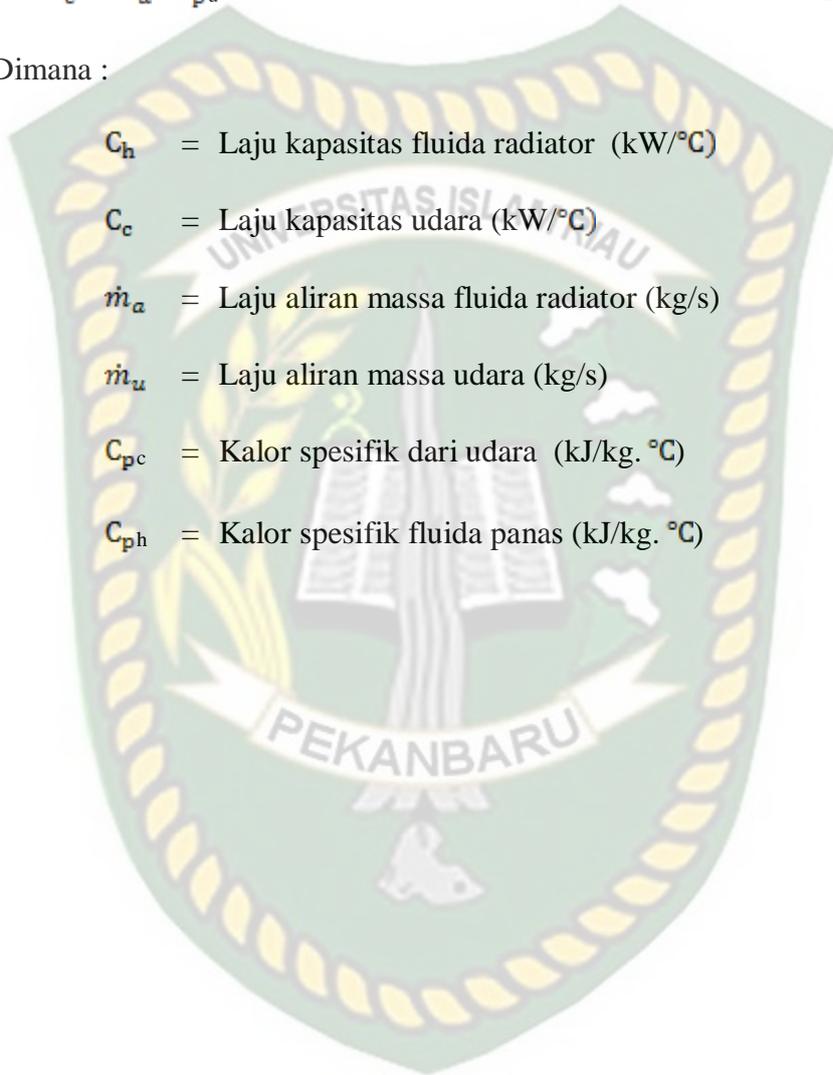
C_c = Laju kapasitas udara (kW/°C)

\dot{m}_a = Laju aliran massa fluida radiator (kg/s)

\dot{m}_u = Laju aliran massa udara (kg/s)

C_{pc} = Kalor spesifik dari udara (kJ/kg. °C)

C_{ph} = Kalor spesifik fluida panas (kJ/kg. °C)

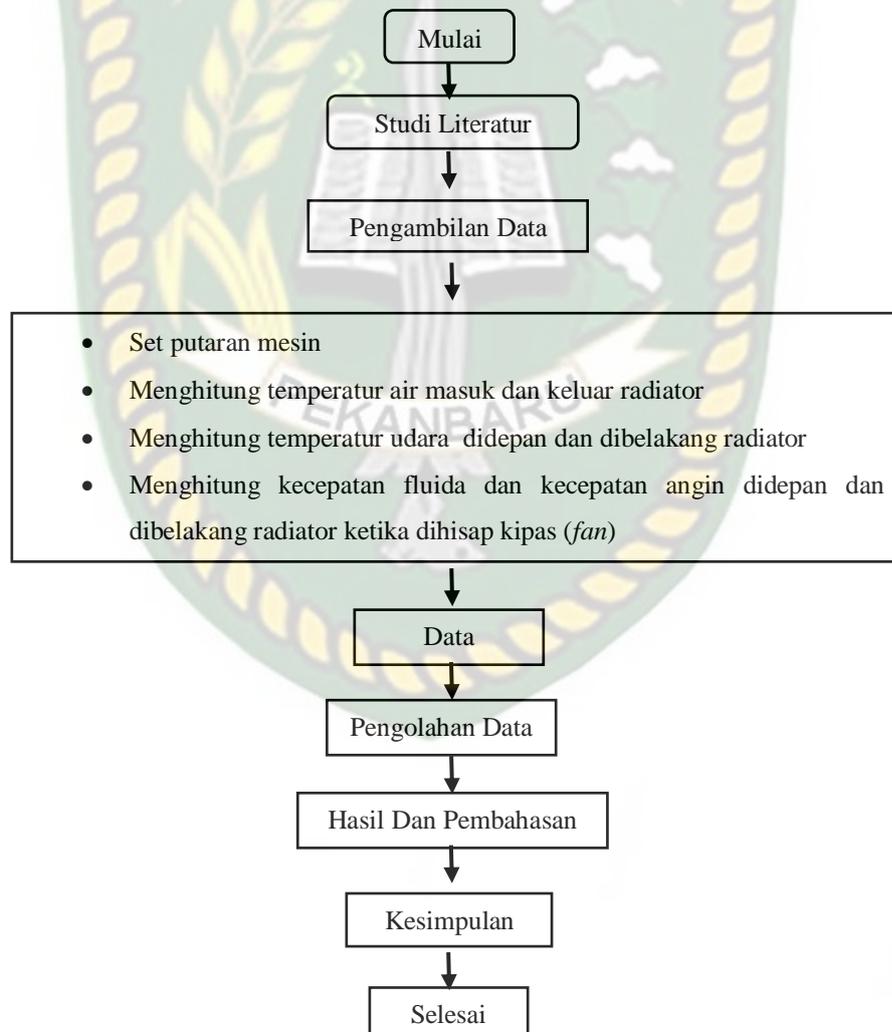


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir bertujuan untuk mempermudah dalam pelaksanaan proses penelitian. Dimana proses-proses tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Waktu pelaksanaan berlangsung selama enam bulan.

3.3 Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada saat penelitian antara lain adalah:

3.3.1 Alat

1. *Thermocouple*

Thermocouple digunakan untuk mengukur suhu udara di depan dan di belakang radiator ketika mesin hidup. Yang diukur adalah temperatur udara yang dihisap oleh kipas pendingin radiator.



Gambar 3.2 *Thermocouple*

2. *Thermometer Air Raksa*

Thermometer air raksa digunakan untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar pada aliran fluida radiator. Biasanya dipasang pada selang atas dan selang bawah radiator. Selang atas adalah fluida panas

yang masuk ke radiator dan selang bawah adalah fluida panas yang telah didinginkan oleh radiator dengan bantuan kipas pendingin.



Gambar 3.3 *Thermometer Air Raksa*

3. *Anemometer*

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara di depan dan di belakang radiator ketika mesin hidup. Yaitu udara yang dihisap kipas radiator.



Gambar 3.4 *Anemometer*

4. *Tachometer*

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk menentukan putaran pada mesin yaitu putaran pada *crankshaft*. Dimana putaran yang diambil adalah putaran tanpa menggunakan beban dalam semua jenis fluida radiator yang digunakan.



Gambar 3.5 Tachometer

5. *Flowmeter Type Tube*

Flowmeter type tube adalah alat yang digunakan untuk mengukur debit aliran pada fluida. Pada penelitian *flowmeter* sangat diperlukan karena untuk menghitung debit aliran fluida, untuk bisa nantinya menghitung kecepatan aliran fluida. *Flowmeter* ini memiliki dua satuan disisi kanan GPM (Galon Per Menit) dan disisi kiri LPM (Liter Per Menit) untuk mempermudah dalam memilih satuan. Apakah GPM atau LPM yang dipilih untuk satuan debit tersebut. Kemudian baru dikonversi ke satuan (Meter Kubik Per Detik).



Gambar 3.6 *Flowmeter Type Tube*

6. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter dalam pada pipa radiator dengan menggunakan bagian atas pada jangka sorong. Yaitu pengukuran untuk silinder yang berlobang.



Gambar 3.7 Jangka Sorong

7. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mendapatkan batasan waktu dalam pengambilan data. Disini penulis menggunakan *stopwatch* dari jam Hp (*handphone*), karena lebih praktis dan mudah dalam menyetel waktunya.



Gambar 3.8 Stopwatch

8. Kunci-Kunci

Kunci-kunci digunakan untuk memperbaiki *Engine Stand* ketika sebelum pengujian. Untuk memastikan *Engine Stand* yang digunakan bisa stabil ketika pengambilan data.



Gambar 3.9 Kunci-Kunci

9. Radiator Tipe 3 Ply

Radiator tipe 3 ply adalah radiator yang memiliki tiga baris inti radiator yang terbuat dari tembaga yang membantu mempercepat proses pendinginan pada fluida radiator karena nilai konduktivitas termalnya sangat tinggi dan pendinginan akan dibantu juga dengan kipas pendingin radiator. Radiator tipe 3 ply dimana radiator inilah yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.10 Radiator Tipe 3 Ply

3.3.2 Bahan

1. *Coolant*

Coolant adalah cairan pendingin yang digunakan pada radiator untuk menstabilkan pendinginan pada mesin. Pada penelitian ini penulis menggunakan tiga *coolant* yang berbeda merek dan juga berbeda harga. Masing-masing *coolant* memiliki titik didih berbeda, *coolant* A memiliki titik didih $+100^{\circ}\text{C}$, *coolant* B memiliki titik didih 118°C dan *coolant* C memiliki titik didih $+126^{\circ}\text{C}$.

2. Air Mineral

Cairan pendingin yang biasa digunakan sebagian masyarakat untuk kendaraan adalah air mineral, dimana air mineral memiliki titik didih 100°C pada tekanan 1 *atmosphere*. Oleh karena itu, penulis juga mencoba fluidanya menggunakan air mineral. Karena itu penulis berpikir bahwa air mineral bisa digunakan dalam penelitian ini, untuk mengetahui berapa efektivitas dari air mineral.

3.4 Prosedur Pengujian

Sebelum melakukan pelaksanaan pengujian, peralatan serta komponen harus diperiksa terlebih dahulu. Agar dapat dioperasikan dengan baik. Hal-hal yang perlu dilakukan sebelum pengujian adalah sebagai berikut:

3.4.1 Persiapan Pengujian

1. Pemeriksaan *Engine Stand*

1) Sistem pelumasan (oli)

Dengan cara membuka stik oli pada mesin kemudian lihat tinggi oli dan cek juga ketetapannya dengan menggunakan tangan secara manual apakah layak digunakan atau diganti.

2) Sistem kelistrikan

Mengecek sambungan kabel aki apakah terpasang dengan kuat atau tidak. Jika longgar harus dikencangkan terlebih dahulu.

3) Bahan bakar

Mengecek bahan bakar yang digunakan, apakah masih ada atau tidak jika tidak ada tambahkan sampai dengan ukuran yang telah ditentukan untuk melakukan pengujian.

2. Pemeriksaan Sistem Pendingin (radiador)

1) Periksa air dalam radiator

Pemeriksaan air radiator dengan cara melihat air yang ada di tangki cadangan, jika kurang tambahkan sampai ukuran yang telah ditentukan pada tangki cadangan.

2) Cek sirip-sirip radiator

Pada sirip-sirip ada kemungkinan sirip radiator bengkok atau kurang lurus seperti standarnya. Karena itu harus dicek terlebih dahulu, jika ada yang bengkok harus diluruskan. Sehingga tidak ada terganggu jika udara didepan radiator dihisap kipas (*fan*).

3) Periksa kebocoran pada radiator

Periksa kebocoran pada radiator dengan cara melihat bagian-bagian radiator apakah ada fluida yang keluar atau tidak. Jika tidak ada berarti radiator bisa digunakan pada penelitian.

4) Periksa tutup radiator

Dengan memastikan apakah tutup radiator terkunci dengan baik pada radiator. Jika tidak harus dikunci (dikuatkan agar fluida tidak keluar).

5) Periksa pipa radiator

Periksa pipa radiator apakah terhubung dengan baik atau tidak. Jika tidak harus dikuatkan terlebih dahulu pada klem untuk mengngikat antara pipa dengan radiator.

3. Persiapan Alat Ukur

- 1) *Thermocouple* (alat ukur suhu udara didepan dan dibelakang radiator)
- 2) *Thermometer* air raksa (alat ukur temperatur fluida masuk dan keluar pada radiator)
- 3) *Anemometer* (alat ukur kecepatan udara di depan dan di belakang radiator ketika dihisap kipas)
- 4) *Tachometer* (alat ukur kecepatan mesin)
- 5) *Stopwatch* (alat ukur menentukan waktu pengambilan data)

3.4.2 Pelaksanaan Pengujian

Adapun cara pelaksanaan pengujian untuk pengambilan data yang harus dilakukan antara lain adalah :

1. Pengambilan data pengujian

- 1) Menghidupkan mesin
- 2) Naikkan putaran mesin yang telah ditentukan dan ukur kecepatan mesin dengan menggunakan alat ukur *tachometer*. Putaran mesin sangat berpengaruh terhadap tekanan fluida yang ada di dalam *water jacket*, semakin tinggi rpm semakin cepat putaran pompa dan kipas radiator.
- 3) Pengambilan data dilakukan pada temperatur 80°C saat *thermostat* udah terbuka dengan melihat pada *flowmeter*-nya udah mendapatkan debit aliran atau belum, ketika sudah baru pengambilan data dilakukan lagi. Temperatur yang dilihat adalah temperatur fluida masuk pada mesin.
- 4) Ukur temperatur suhu air masuk dan keluar pada radiator dengan cara melihat *thermometer* air raksa yang sudah terpasang di selang atas dan selang bawah radiator, pengukurang ini digunakan untuk menghitung ΔT_{LMTD} (*log mean temperature difference*).
- 5) Ukur temperatur suhu udara di depan dan di belakang radiator dengan menggunakan *thermocouple*, ini juga berguna untuk menghitung ΔT_{LMTD} (*log mean temperature difference*). Sehingga untuk mencari laju perpindahan panas bisa dicari setelah didapatkan nilai dari ΔT_{LMTD} nya.

- 6) Ukur kecepatan udara di depan dan di belakang radiator dengan menggunakan alat ukur *anemometer*, pengukuran ini digunakan untuk menghitung laju aliran massa udaranya.
- 7) Semua data yang didapatkan dimasukan ke dalam tabel data untuk mempermudah dalam menganalisa data yang didapatkan.
- 8) Menurunkan putaran mesin kemudian baru mesin dimatikan.
- 9) Lakukan langkah-langkah diatas untuk setiap pengambilan data pada masing-masing putaran.

3.4.3 Tabel Data Yang Digunakan Dalam Penelitian

Adapun tabel yang digunakan pada pengambilan data pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Tabel Data Yang Digunakan Pada Setiap Putaran

No	n (rpm)	t (m)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q _{air} (m ³ /s)
1									
2									
3									
4									

Dimana :

T_{h.in} = Temperatur aliran fluida radiator(°C)

T_{h.out} = Temperatur aliran fluida yang masuk radiator (°C)

T_{c.in} = Temperatur udara masuk yang di depan radiator (°C)

$T_{c, out}$ = Temperatur udara keluar yang di belakang radiator ($^{\circ}\text{C}$)

n = Putaran mesin (rpm)

$V_{u, in}$ = Kecepatan udara masuk yang di depan radiator (m/s)

$V_{u, out}$ = Kecepatan udara keluar yang di belakang radiator (m/s)

Q_{air} = Debit aliran fluida (m^3/s)

t = Waktu (m)

3.5 Jadwal Kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang pengaruh *water coolant* terhadap efektivitas radiator dapat berjalan dengan lancar, optimal serta sesuai dengan waktu yang telah ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti tabel 3.2 dibawah ini :

Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Pembuatan proposal									
2	Studi literatur									
3	Persiapan alat dan bahan									
4	Seminar proposal									
5	Pengujian dan pengumpulan data									
6	Analisis data									
7	Seminar dan sidang hasil									



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Tenik Mesin Universitas Islam Riau, dalam mendapatkan data hasil penelitian yang maksimal, maka dilakukan empat kali pengujian secara berulang dan diambil hasil rata-rata dari pengujian tersebut. Proses pengambilan data dilakukan dengan empat variasi putaran dari masing-masing jenis *water coolant* yang digunakan dengan putaran 1000, 1500, 2000 dan 2300 rpm. Temperatur mulai untuk pengambilan data 70°C pada $T_{h.in}$ (temperatur aliran fluida yang masuk radiator) dan juga dilihat pada *flowmeter*-nya apakah sudah ada debit aliran atau belum, ketika sudah ada debit aliran pengambilan data baru bisa dilakukan. Pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur temperatur air, temperatur udara, kecepatan aliran udara di depan serta di belakang radiator dan debit aliran fluida radiator. Alat ukur temperatur fluida radiator $T_{h.in}$ dan $T_{h.out}$ menggunakan *thermometer* air raksa dan untuk mengukur temperatur udara $T_{c.in}$ dan $T_{c.out}$ menggunakan *thermocouple* kemudian untuk mengukur kecepatan udara di depan serta di belakang radiator menggunakan *anemometer* dan debit aliran menggunakan *flowmeter* tipe *tube*. Dari semua alat ukur yang digunakan sangat berguna dalam menentukan nilai parameter dari masing-masing fluida dalam pengolahan data.

Adapun semua data hasil pengujian yang didapatkan saat pengambilan data air mineral dan jenis *coolant* antara lain ialah :

Tabel 4.1 Data Pengujian Air Mineral Dengan Waktu Konstan 15 Menit

n (rpm)	t (m)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q _{air} (m ³ /s)
1000	15	70	62	20,1	27	0,1	2,8	0,000333
1500	15	79	69	21	30	1,4	3,3	0,000444
2000	15	88	75	21,2	33	2,4	4,5	0.0005
2300	15	99	83	21,2	35	2,8	5,3	0,000556

Tabel 4.2 Data Pengujian *Coolant* A Dengan Waktu Konstan 15 Menit

n (rpm)	t (m)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q _{air} (m ³ /s)
1000	15	70	61	20,1	27	0,1	2,8	0,000333
1500	15	80	68	21	30,3	1,4	3,3	0,000444
2000	15	89	74	21,3	35	2,4	4,5	0.0005
2300	15	99	80	22	38	2,8	5,3	0,000556

Tabel 4.3 Data pengujian *Coolant B* Dengan Waktu Konstan 15 Menit

n (rpm)	t (m)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q _{air} (m ³ /s)
1000	15	70	61	20,1	28	0,1	2,8	0,000333
1500	15	80	67	21,1	31	1,4	3,3	0,000444
2000	15	89	74	21,3	36	2,4	4,5	0.0005
2300	15	100	80	22	39	2,8	5,3	0,000556

Tabel 4.4 Data pengujian *Coolant C* Dengan Waktu Konstan 15 Menit

n (rpm)	t (m)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q _{air} (m ³ /s)
1000	15	70	60	20,1	28	0,1	2,8	0,000333
1500	15	82	66	21,3	33	1,4	3,3	0,000444
2000	15	90	71	21,4	38	2,4	4,5	0.0005
2300	15	105	79	22,1	40	2,8	5,3	0,000556

Berdasarkan semua tabel dapat dijelaskan bahwa setiap variasi putaran *crankshaft* akan membuat perbedaan pada kecepatan udara. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi pula kecepatan udaranya. Waktu juga mempengaruhi untuk nilai temperatur dari fluida radiator serta temperatur udara di depan radiator dan di belakang radiator, semakin lama waktu yang diberikan

maka semakin tinggi nilai temperaturnya. Untuk nilai debit aliran air pada tabel sudah di konversi dari (Lpm) ke (m^3/s) dengan $1 \text{ Lpm} = 1,6667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/s$.

Untuk nilai diameter pipa sudah didapatkan saat sebelum pengambilan data dengan cara mengukur diameter dalam pipa dengan menggunakan jangka sorong dengan nilai diameter yang didapatkan yaitu ($D_{\text{in. radiator}} = 0,0375 \text{ m}$) dan untuk luas penampang radiator juga sudah didapatkan dengan panjang kali lebar pada sirip radiator menggunakan meteran ($A_{\text{radiator}} = 0,2397 \text{ m}^2$).

4.2 Perhitungan Untuk Pengujian Air Mineral

Untuk mempermudah perhitungan maka nilai dari diameter pipa dan luas penampang radiator dimasukkan ke dalam tabel 4.5 seperti di bawah ini.

Tabel 4.5 Data pengujian air galon dengan ditambah $D_{\text{in. pipa}}$ dan A_{radiator}

n (rpm)	t (m)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q _{air} (m ³ /s)	D _{in. pipa} (m)	A _{radiator} (m ²)
1000	15	70	62	20,1	27	0,1	2,8	0,000333	0,0375	0,2397
1500	15	79	69	21	20	1,4	3,3	0,000444	0,0375	0,2397
2000	15	88	75	21,2	23	2,4	4,5	0.0005	0,0375	0,2397
2300	15	99	83	21,2	25	2,8	5,3	0,000556	0,0375	0,2397

Adapun parameter yang digunakan untuk perhitungan dapat dicari dengan cara menentukan temperatur rata-rata dari fluida radiator dan udara seperti di bawah ini:

- Fluida Radiator

$$T_{\text{rata-rata fluida radiator}} = T_{\text{h rata-rata}} = \frac{T_{\text{h. in}} + T_{\text{h. out}}}{2}$$

- Udara

$$T_{\text{rata-rata udara}} = T_{\text{c rata-rata}} = \frac{T_{\text{c. in}} + T_{\text{c. out}}}{2}$$

1. Perhitungan putaran 1000 Rpm

$$T_{\text{h rata-rata}} = \frac{T_{\text{h. in}} + T_{\text{h. out}}}{2} = \frac{70\text{ }^{\circ}\text{C} + 62\text{ }^{\circ}\text{C}}{2} = 66\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Adapun nilai yang dicari setelah hasil yang didapat dari temperatur rata-rata 66 °C adalah sifata fluida seperti:

- ρ_{h} = *Density* (kg/m³)
- C_{ph} = *Specific heat* (J/kg.°C)

Untuk semua nilai parameter diatas dapat dicari di tabel A-9 *properties of saturated water* dengan cara interpolasi dari nilai temperatur rata-rata fluida (66 °C) dengan parameter °C *equivalen* (sama dengan) K, adapunn nilai dari tabel A-9 *properties of saturated water* seperti di bawah ini :

- o Massa jenis air (*Density*)

$$\begin{aligned}
 \rho_h &= 980,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + \left(\frac{66^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}}{70^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}} \right) \times \left(977,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 980,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \\
 &= 979,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

- o Panas spesifik (*Specific heat*)

$$\begin{aligned}
 C_{ph} &= 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} + \left(\frac{66^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}}{70^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}} \right) \times (4190^\circ\text{C} - 4187^\circ\text{C}) \\
 &= 4187,6 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kecepatan *fluida* radiator

Untuk luas penampang pada pipa radiator bisa menggunakan persamaan luas lingkaran untuk bisa mendapatkan perhitungan kecepatan *fluida* seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{in. pipa}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,0375)^2 \\
 &= 0,0011039 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk kecepatan bisa dicari seperti di bawah ini dengan nilai luas penampang sudah didapatkan.

$$\begin{aligned}
 V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\
 &= \frac{0,000333 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0011039 \text{ m}^2} \\
 &= 0,301 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{pipa} \\
 &= 979,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,301 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0011039 \text{ m}^2 \\
 &= 0,3255 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju perpindahan panas fluida radiator ($\dot{q}_h = \dot{q}_{\text{aktual}}$)

$$\begin{aligned}
 \dot{q}_h &= \dot{m}_h \times C_{ph} \times \Delta T_h \\
 &= 0,3258 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4187,2 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (T_{h \text{ in}} - T_{h \text{ out}}) \\
 &= 0,3258 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4187,2 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70 ^\circ\text{C} - 62 ^\circ\text{C}) \\
 &= 10913,518 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Perhitungan mencari Metode ΔT_{LMTD} (*Log mean temperature difference*)

Untuk mencari ΔT_1 dan ΔT_2 bisa menggunakan persamaan dibawah ini dengan aliran *cross flow* yaitu sama dengan persamaan *counter flow*

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= T_{h \text{ in}} - T_{c \text{ out}} \\
 &= 70 ^\circ\text{C} - 27 ^\circ\text{C} \\
 &= 43 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_2 &= T_{h \text{ out}} - T_{c \text{ in}} \\
 &= 62 ^\circ\text{C} - 20,1 ^\circ\text{C} \\
 &= 41,9 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk mencari ΔT_{lm} bisa dilakukan setelah dapat nilai dari ΔT_1 dan ΔT_2 seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{lm} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \\
 &= \frac{43 \text{ }^\circ\text{C} - 41,9 \text{ }^\circ\text{C}}{\ln \left(\frac{43 \text{ }^\circ\text{C}}{41,9 \text{ }^\circ\text{C}} \right)} \\
 &= 42,447 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien perpindahan menyeluruh

$$\dot{q}_h = U_h \times A_{\text{radiator}} \times \Delta T_{lm}$$

Dari persamaan di atas maka dapat mencari koefisien perpindahan panas menyeluruh seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 U_h &= \frac{\dot{q}_h}{A_{\text{radiator}} \cdot \Delta T_{lm}} \\
 &= \frac{10913,518 \text{ W}}{0,2397 \text{ m}^2 \times 42,447 \text{ }^\circ\text{C}} \\
 &= 1072,629 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan untuk udara pada radiator putaran 1000 Rpm

$$T_c \text{ rata-rata} = \frac{T_c \text{ in} + T_c \text{ out}}{2} = \frac{20,1 \text{ }^\circ\text{C} + 27 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 23,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

Adapun nilai yang dicari setelah hasil yang didapat dari temperatur rata-rata 23,55°C adalah sifata fluida udara seperti:

- ρ_c = Density (kg/m³)
- C_{pc} = Specific heat (J/kg.°C)

Untuk semua nilai parameter diatas dapat dicari di tabel A-15 *properties of air at 1 atm pressure* dengan menggunakan interpolasi dari nilai temperatur rata-rata udara (23,55 °C) seperti dibawah ini:

- Massa jenis udara (*Density*)

$$\begin{aligned}
 \rho_c &= 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + \left(\frac{23,55 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}}{25 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}} \right) \times \left(1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \\
 &= 1,1889 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

- Panas spesifik (*Specific heat*)

$$\begin{aligned}
 C_{pc} &= 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{ }^\circ\text{C} + \left(\frac{23,55 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}}{25 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}} \right) \times (1007 \text{ }^\circ\text{C} - 1007 \text{ }^\circ\text{C}) \\
 &= 1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kecepatan rata-rata udara

Kecepatan udara telah didapatkan pada saat pengambilan data tetapi kecepataannya ada dua, karena itu harus dirata-ratakan seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 V_{u \text{ rata-rata udara}} &= \frac{V_{u \text{ in}} + V_{u \text{ out}}}{2} \\
 &= \frac{0,1 \text{ m/s} + 2,8 \text{ m/s}}{2} \\
 &= 1,45 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa udara pada radiator

$$\begin{aligned}\dot{m}_c &= \rho_u \times V_{u \text{ rata-rata}} \times A_{\text{radiator}} \\ &= 1,1889 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,2397 \text{ m}^2 \\ &= 0,4132 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\end{aligned}$$

3. Perhitungan untuk efektivitas radiator pada putaran 1000 Rpm

Untuk mencari efektivitas radiator terlebih dulu mencari parameter yang digunakan dalam perhitungan efektivitas radiator. Adapun parameter yang dicari antara lain yaitu:

Perhitungan laju kapasitas fluida panas

$$\begin{aligned}C_h &= \dot{m}_h \times C_{ph} \\ &= 0,3255 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4187,6 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\ &= 1363,0638 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}}\end{aligned}$$

Perhitungan laju kapasitas dari udara

$$\begin{aligned}C_c &= \dot{m}_c \times C_{pc} \\ &= 0,4132 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1007 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\ &= 416,0924 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}}\end{aligned}$$

Disini karena nilai dari perhitungan C_c lebih sedikit nilainya dari pada C_h maka dianggap C_c sama dengan C_{min} (laju kapasitas minimum dari udara). Dan

untuk perhitungan fluida radiator dianggap C_h sama dengan C_{min} (laju kapasitas minimum dari fluida radiator)

Perhitungan laju perpindahan panas actual fluida radiator ($\dot{q}_{aktual} = \dot{q}_h$)

$$\begin{aligned}
 \dot{q}_{aktual} &= C_h \times \Delta T_h \\
 &= 1363,0638 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \times (T_{h \text{ in}} - T_{h \text{ out}}) \\
 &= 1363,0638 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \times (70 \text{ }^\circ\text{C} - 62 \text{ }^\circ\text{C}) \\
 &= 10904,510 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju perpindahan panas maximum fluida radiator $C_h = C_{min}$

$$\begin{aligned}
 \dot{q}_{maks} &= C_{min} \times \Delta T_{maks} \\
 &= 1363,0638 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \times (T_{h \text{ in}} - T_{c \text{ in}}) \\
 &= 1363,0638 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \times (70 \text{ }^\circ\text{C} - 20,1 \text{ }^\circ\text{C}) \\
 &= 68016,883 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Setelah semua nilai didapatkan selanjutnya masuk ke persamaan untuk mencari nilai efektifitas radiator seperti di bawah ini:

Efektifitas fluida radiator

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{\dot{q}_{aktual} \text{ (actual heat transfer rate)}}{\dot{q}_{max} \text{ (maximum heat transfer rate)}} \\
 &= \frac{10904,510 \text{ W}}{68016,883 \text{ W}} \\
 &= 0,1603
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Hasil dari semua perhitungan dari air mineral dan hasil perhitungan

$$\dot{m}_w, V_u, C_h, C_c$$

n (rpm)	Jenis fluida	C_h W/°C	C_c W/°C	\dot{m}_c kg/s	V_u m/s
1000	Air mineral	1363,0638	416,0924	0,4132	1,45
1500	Air mineral	1814,297	670,4606	0,6658	2,35
2000	Air mineral	2022,152	978,4012	0,9716	3,45
2300	Air mineral	2233,917	1144,656	1,1367	4,05

Tabel 4.7 Hasil semua perhitungan air mineral dari setiap putaran

n (rpm)	V_h (m/s)	\dot{m}_h (kg/s)	\dot{q}_h (W)	ΔT_{lm} (°C)	U_h (W/m ² .°C)	(\dot{q}_{aktual} = \dot{q}_h) (W)	\dot{q}_{maks} (W)	ϵ
1000	0,301	0,3255	10913,518	42,447	1072,629	10904,510	68016,883	0,1603
1500	0,402	0,4328	18142,976	4,8498	1560,690	18142,976	105229,22	0,1724
2000	0,452	0,4842	26298,838	54,397	2016,942	26298,838	135079,75	0,1946
2300	0,503	0,5318	35776,521	62,893	2373,164	35776,521	173798,74	0,2056

4.3 Perhitungan Untuk Pengujian *coolant A*

Tabel 4.8 Hasil dari semua perhitungan dari *Colant A* dan hasil perhitungan

$$\dot{m}_w, V_u, C_h, C_c$$

n (rpm)	Jenis fluida	C_h W/°C	C_c W/°C	\dot{m}_c kg/s	V_u m/s
1000	<i>Colant A</i>	1360,775	416,0924	0,4132	1,45
1500	<i>Colant A</i>	1810,944	669,8564	0,6652	2,35
2000	<i>Colant A</i>	2031,832	330,0946	0,9683	3,45
2300	<i>Colant A</i>	2253,88	1128,847	1,1299	4,05

Tabel 4.9 Hasil semua perhitungan *Colant A* dari setiap putaran

n (rpm)	V_h (m/s)	\dot{m}_h (kg/s)	\dot{q}_h (W)	ΔT_{lm} (°C)	U_h (W/m ² . °C)	(\dot{q}_{aktual} = \dot{q}_h) (W)	\dot{q}_{maks} (W)	ε
1000	0,301	0,3257	12273,353	41,941	1220,833	12273,353	67902,672	0,1803
1500	0,402	0,4327	21766,540	48,337	1878,631	21766,540	106845,69	0,2033
2000	0,452	0,4843	30496,37	53,347	2384,810	30496,37	137555,02	0,2215
2300	0,503	0,5361	42831,709	59,487	3003,829	42831,709	173548,76	0,2467

4.4 Perhitungan Untuk Pengujian *coolant B*

Tabel 4.10 Hasil dari semua perhitungan dari *Colant B* dan hasil perhitungan

$$\dot{m}_w, V_u, C_h, C_c$$

n (rpm)	Jenis fluida	C_h W/°C	C_c W/°C	\dot{m}_c kg/s	V_u m/s
1000	<i>Colant B</i>	1360,775	415,3875	0,4125	1,45
1500	<i>Colant B</i>	1810,944	668,7487	0,6641	2,35
2000	<i>Colant B</i>	2031,832	975,078	0,9683	3,45
2300	<i>Colant B</i>	2250,21	1135,896	1,1280	4,05

Tabel 4.11 Hasil semua perhitungan *Colant B* dari setiap putaran

n (rpm)	V_h (m/s)	\dot{m}_h (kg/s)	\dot{q}_h (W)	ΔT_{lm} (°C)	U_h (W/m ² . °C)	(\dot{q}_{aktual} = \dot{q}_a) (W)	\dot{q}_{max} (W)	ϵ
1000	0,301	0,3257	12273,353	41,447	1235,384	12273,353	67902,672	0,1803
1500	0,402	0,4328	23585,868	47,433	2074,451	23585,868	106664,60	0,2207
2000	0,452	0,4842	30490,074	52,849	2406,875	30490,074	137555,02	0,2248
2300	0,503	0,53510	45012,612	59,487	3156,779	45012,612	175516,38	0,2564

4.5 Perhitungan Untuk Pengujian *coolant C*

Tabel 4.12 Hasil dari semua perhitungan dari *Colant C* dan hasil perhitungan

$$\dot{m}_w, V_u, C_h, C_c$$

n (rpm)	Jenis fluida	C_h W/°C	C_c W/°C	\dot{m}_c kg/s	V_u m/s
1000	<i>Colant C</i>	1360,775	415,3875	0,4125	1,45
1500	<i>Colant C</i>	1810,944	666,4326	0,6618	2,35
2000	<i>Colant C</i>	20313,34	970,1438	0,9634	3,45
2300	<i>Colant C</i>	2251,28	1133,982	1,1261	4,05

Tabel 4.13 Hasil semua perhitungan *Colant C* dari setiap putaran

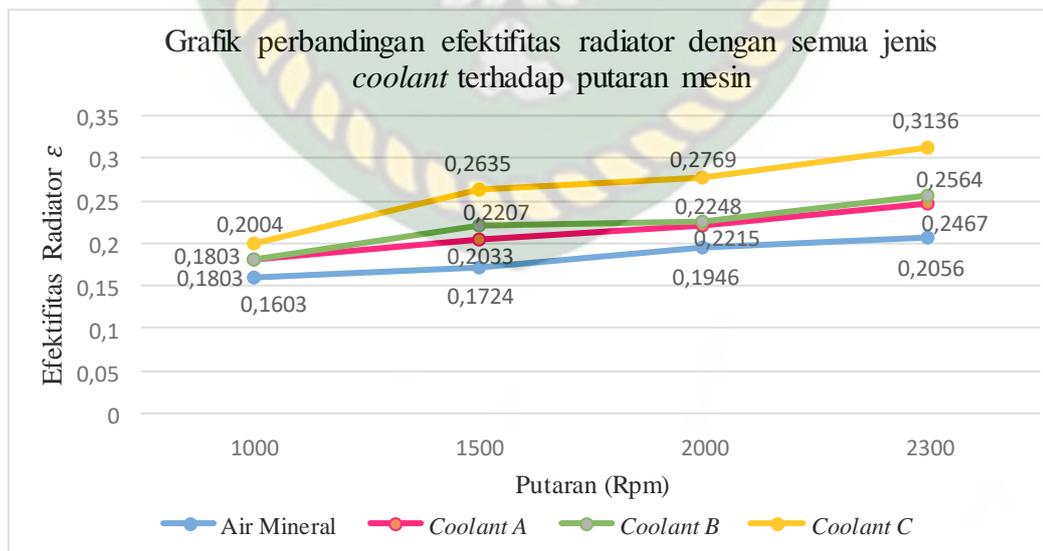
n (rpm)	V_h (m/s)	\dot{m}_h (kg/s)	\dot{q}_h (W)	ΔT_{lm} (°C)	U_h (W/m ² .°C)	$(\dot{q}_{aktual} = \dot{q}_a)$ (W)	\dot{q}_{maks} (W)	ϵ
1000	0,301	0,3257	13633,802	40,941	1389,282	13633,802	67902,672	0,2004
1500	0,402	0,4327	29022,044	46,817	2586,167	29022,044	109924,30	0,2635
2000	0,452	0,4846	38643,457	50,790	3174,167	38643,457	139349,51	0,2769
2300	0,503	0,5351	58544,220	60,860	4013,137	58544,220	186631,11	0,3136

4.6 Analisis Grafik

Dari semua data hasil perhitungan efektivitas radiator terdapat pengaruh berbagai jenis *water coolant* yang berbeda termasuk air mineral, *coolant A*, *coolant B*, dan *coolant C* dengan variasi putaran mesin. maka bisa di buat nilai rata-rata seperti tabel 4.6 di bawah ini. Kemuadian dibuat analisa grafik efektivitas radiatornya

Tabel 4.14 Hasil semua rata-rata perhitungan efektivitas radiator dari semua fluida

Putaran (rpm)	Waktu (m)	Efektivitas radiator (ϵ)			
		Air Mineral	Coolant A	Coolant B	Coolant C
1000	15	0,1603	0,1803	0,1803	0,2004
1500	15	0,1724	0,2033	0,2207	0,2635
2000	15	0,1946	0,2215	0,2248	0,2769
2300	15	0,2056	0,2467	0,2564	0,3136
Rata-rata		0,1832	0,2129	0,2205	0,2636



Gambar 4.1 Grafik perbandingan efektivitas radiator dengan semua jenis *coolant* terhadap putaran mesin

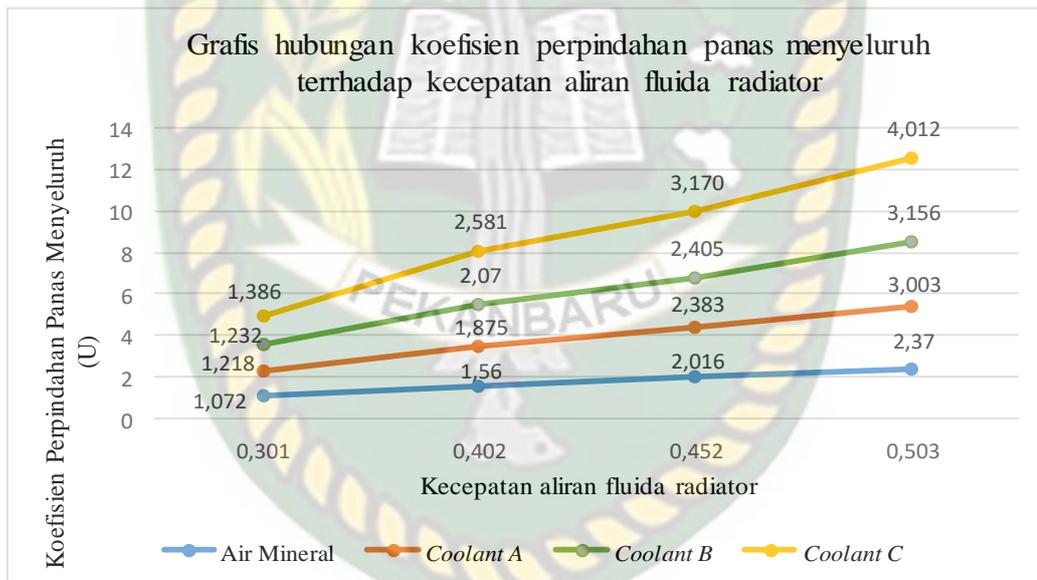
Berdasarkan gambar grafik 4.1 diatas dapat menunjukan efektifitas radiator tertinggi terjadi pada putaran 2300 pada menit konstan yaitu 15 menit dari semua putaran yang digunakan dan mendapatkan nilai efektifitas tertinggi sebesar (0,3136) pada penggunaan *coolant C* dan untuk penggunaan *coolant A* *coolant B* dan air mineral *coolant A* sebesar (0,2467), *coolant B* (0,2564) dan untuk air mineral sebesar (0,2056). Sedangkan efektifitas radiator terendah dari semua fluida terjadi pada air mineral sebesar (0,1603) pada putaran 1000. Waktu dan putaran terlihat juga berpengaruh pada efektifitas radiator, semakin lama waktu yang diberikan maka efektifitas radiator semakin tinggi dan begitu juga dengan putaran.

Pada penelitian ini bermaksud untuk mengetahui bahwa jenis *coolant* dan air mineral juga berpengaruh terhadap efektifitas radiator. Dimana semakin tinggi nilai efektifitas radiator maka semakin bagus pendinginan yang terjadi pada mesin. Disini titik didih pada setiap jenis *coolant* termasuk air mineral juga berpengaruh pada nilai efektifitas radiator. Semakin tinggi nilai titik didih maka semakin bagus digunakan untuk fluida radiator dalam menyerap panas pada mesin. Dari semua jenis *coolant* yang digunakan termasuk air mineral, *coolant C* yang memiliki titik didih yang tertinggi maka terbukti *coolant C* dapat nilai efektifitas radiator yang tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar (0,2636).

Dan dari semua data hasil perhitungan, juga mendapatkan pengaruh koefisien perpindahan panas menyeluruhnya pada Air Mineral, *coolant A*, *coolant B*, *coolant C*, maka bisa di buat nilai rata-rata seperti tabel 4.7 di bawah ini. Kemudian dibuat analisa grafik koefisien perpindahan panas menyeluruh.

Tabel 4.15 Hasil semua rata-rata perhitungan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) radiator dari semua fluida

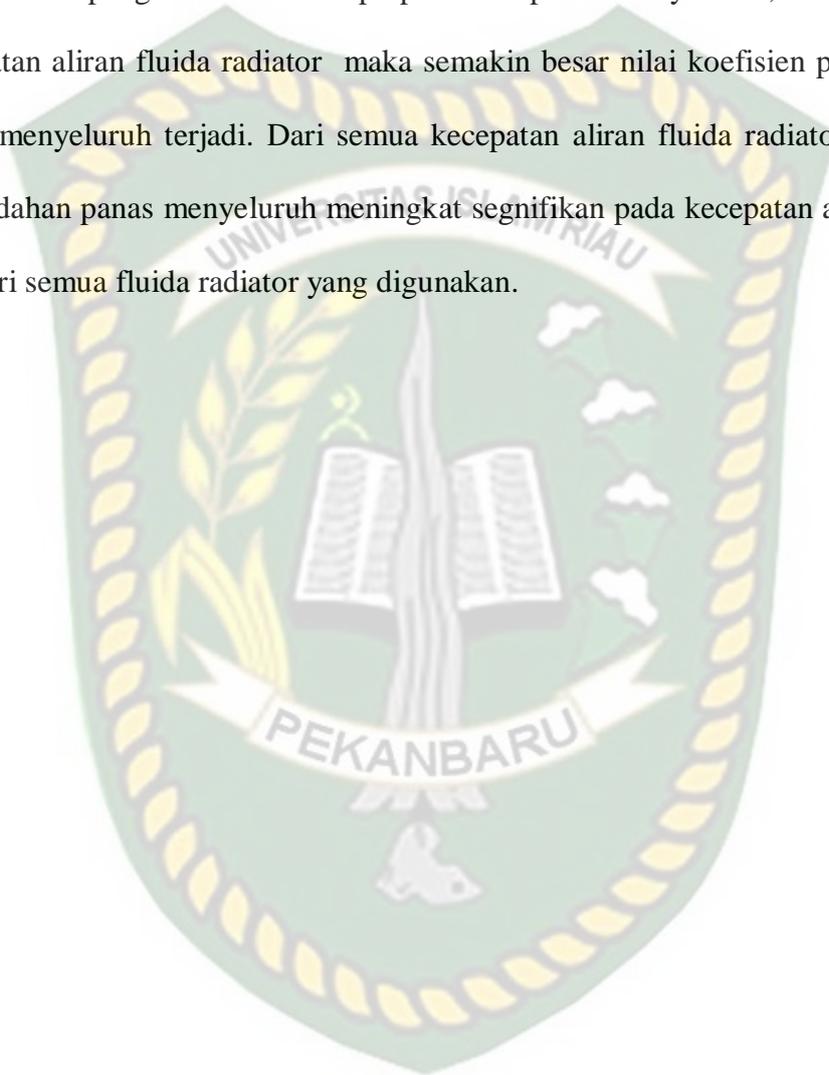
Putaran (rpm)	Kecepatan Aliran Fluida Radiator	Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)			
		Air Mineral	Coolant A	Coolant B	Coolant C
1000	0,301	1,072	1,218	1,232	1,386
1500	0,402	1,560	1,875	2,070	2,581
2000	0,452	2,016	2,383	2,405	3,170
2300	0,503	2,370	3,003	3,156	4,012
Rata-rata		1,7545	2,1197	2,2157	2,7872



Gambar 4.2 Grafik hubungan koefisien perpindahan panas menyeluruh terhadap kecepatan aliran fluida radiator

Pada penelitian ini, diperoleh nilai tertinggi dari koefisien perpindahan panas menyeluruh U_a sebesar $4012,387 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pada *coolant C*, dan *coolant B* mendapatkan peringkat ke dua dalam besarnya nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dan air mineral mendapatkan nilai yang terendah dari semua fluida

yang digunakan sebesar $2370,918 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pada kecepatan aliran fluida radiator $0,503 \text{ m/s}$. Pada gambar grafik 4.2 dapat diketahui bahwa kecepatan aliran fluida radiator mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh, semakin besar kecepatan aliran fluida radiator maka semakin besar nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terjadi. Dari semua kecepatan aliran fluida radiator koefisien perpindahan panas menyeluruh meningkat signifikan pada kecepatan aliran $0,503 \text{ m/s}$ dari semua fluida radiator yang digunakan.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Universitas Islam Riau serta analisa perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya. Maka dapat diambil suatu kesimpulan mengenai efektivitas radiator, antara lain yaitu :

1. Dari hasil analisa yang dilakukan pada jenis *water coolant* yang berbeda terdapat berbagai perbedaan dari titik didih masing-masing *water coolant* semakin tinggi titik didih dari *coolant* akan semakin baik dalam penyerapan panas pada mesin, air mineral memiliki titik didih 100 °C tekanan 1 *atmosphere*, *Coolant A* memiliki titik didih +100°C, *coolant B* memiliki titik didih 118 °C dan *coolant C* memiliki titik didih +126 °C. Dan terbukti dalam pengujian ini, nilai efektivitas radiator *Coolant C* mendapatkan nilai yang tertinggi dari pada *coolant A*, *coolant B* dan air mineral yaitu dengan nilai rata-rata sebesar (0,2827) sedangkan *coolant A* hanya sebesar (0,227), *coolant B* lebih besar dari pada *coolant A* dan air mineral yaitu sebesar (0,2125) dan untuk nilai yang terendah adalah air mineral sebesar (0,1827). Jadi *coolant C* lebih bagus digunakan untuk fluida radiator karena *coolant C* memiliki efektivitas radiator tertinggi. Semakin tinggi efektivitas radiator maka semakin efektif kerja radiator dalam membuang panas pada mesin.

2. Dari hasil analisa data dapat mengetahui beberapa yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh. Di antaranya peningkatan putaran mesin (*crankshaft*) akan berpengaruh terhadap parameter-parameter seperti debit aliran fluida, kecepatan aliran fluida, dan temperatur fluida. Parameter ini akan mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh. Semakin besar nilai dari ketiga parameter itu, akan membuat semakin tinggi nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh yang dihasilkan.

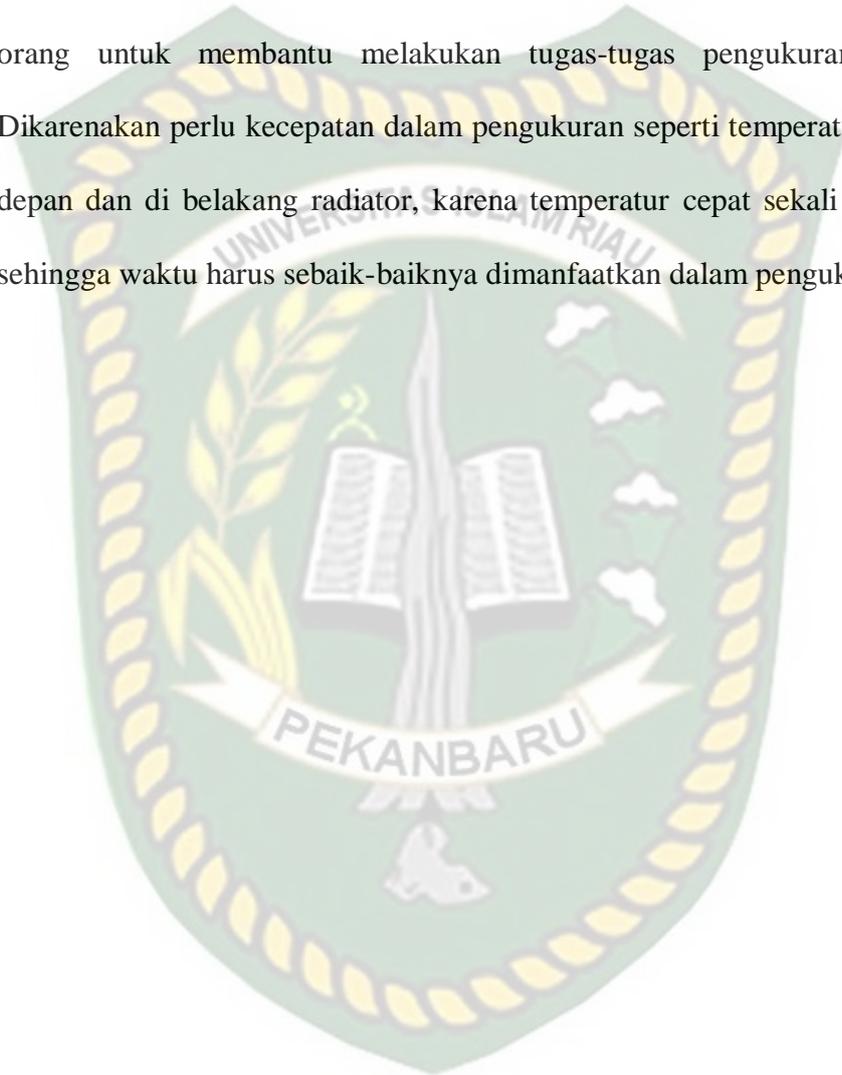
5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau, maka saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut :

1. Untuk mempertahankan temperatur mesin kendaraan tetap stabil dalam menghasilkan kinerja mesin yang optimum. Sebaiknya pakailah *coolant* yang terbaik dengan titik didih yang tinggi. Karena di dalam penelitian ini, *coolant* dengan titik didih yang tinggi mendapatkan efektivitas radiator lebih bagus. Semakin bagus efektivitas radiator maka semakin efektif kerja radiator.
2. Bagi teman-teman mahasiswa yang ingin melanjutkan penelitian ini, hendaklah berhati-hati dalam pengambilan data. Karena data yang diambil harus benar dan akurat, ketika data yang diambil tidak akurat itu akan membuat pengolahan data menjadi bermasalah dalam hasil yang didapatkan.

Dan untuk pengambilan data harus dilakukan berkali-kali jangan dilakukan satu kali saja dalam pengambilan datanya.

3. Pada pengambilan data hendaknya dilakukan dengan bantuan beberapa orang untuk membantu melakukan tugas-tugas pengukuran lainnya. Dikarenakan perlu kecepatan dalam pengukuran seperti temperatur udara di depan dan di belakang radiator, karena temperatur cepat sekali perubahan sehingga waktu harus sebaik-baiknya dimanfaatkan dalam pengukuran.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A. S. E., Elhosseini, M. A., & Ali, H. A. (2018). *Modelling and practical studying of heat recovery steam generator (HRSG) drum dynamics and approach point effect on control valves*. *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 3187–3196. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.06.004>
- Cengel, Y. A. (2004). *Heat transfer*. In McGraw-Hill (2nd ed.). New York.
- Dermawan RM, D. (2013). *Perancangan ulang radiator berdasarkan spesifikasi mesin Toyota Avanza*. Universitas Pasundan Bandung.
- Drs. Bintoro, ST, M. (2014). *Sistem pendinginan air pada mesin mobil*. Malang Bintoro.
- Fahmi, L. dan S. (2014). Perawatan dan perbaikan sistem pendingin mesin *Mitsubishi Galant 2500 CC*. *Jurnal teknovasi*.
- Haryanto Fachry. (2017). Teknik kendaraan ringan. Diambil 7 Maret 2019, dari fachriotomotif.blogspot.com
- Irfan, S. A. (2007). *Analisis pendinginan pada mesin Isuzu Panther*. Universitas Negeri Malang.
- J.P. Holman. (1993). *Perpindahan kalor* (keenam; Ir. Manahan Hariandja, Ed.). penerbit Erlangga jl. kramat IV No. 11 Jakarta 10430 (Anggota IKAPI).
- Kurniawan, A. R. (2015). *Tr-fe, identifikasi dan service sistem pendingin Toyota*

Kijang Innova 1 Tr-fe. Universitas Negri Semarang.

Petermina, Lubricants G. (2011). *Petramina coolant* (hal. 2234). hal. 2234. Specialty/produk khusus.

Prasetyadi Juan. (2017). Komponen-komponen sistem pendingin. Diambil dari teknik-otomotif.com website: <http://www.teknik-otomotif.com>

Saragih, N. L. H. (2017). Pengaruh variasi cairan pendingin (*coolant*) terhadap evektifitas radiator pada engine Diesel. *Teknik otomotif FT UNP*.

SMK N 1 Wonoasri. (2013). *Materi modul teknik kendaraan ringan*. Jawa Timur.

Soebiyakto Gatot. (2012). Pengaruh penggunaan *water coolant* terhadap performance mesin Diesel. *Widya Teknika*.

Wiguna RC. (2018). *Analisis* meningkatkan kemampuan sistem pendingin *Suzuki Katana* spesifikasi speed offroad (Universitas Muhammadiyah Yogyakarta). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>