

**ANALISIS PENGARUH PUTARAN MESIN PADA TRANSFER
PANAS DALAM SISTEM PENDINGINAN MOTOR
BAKAR *DIESEL***

SKRIPSI

OLEH:

**PERDY HERIAWAN GINTING
188130068**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 9/11/23

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

Access From (repository.uma.ac.id)9/11/23

**ANALISIS PENGARUH PUTARAN MESIN PADA TRANSFER
PANAS DALAM SISTEM PENDINGINAN MOTOR
BAKAR *DIESEL***

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh

PERDY HERIAWAN GINTING

188130068

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 9/11/23

Access From (repository.uma.ac.id)9/11/23


HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Putaran Mesin Pada Transfer Panas Dalam Sistem Pendinginan Motor Bakar Diesel
Nama Mahasiswa : Perdy Heriawan Ginting
NIM : 188130068
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Muhammad Idris, ST, MT
Pembimbing I


Dr. Rahmadsyah, S.kom, M.kom
Dekan


Muhammad Idris, ST, MT
Ka. Prodi/WD 1

Tanggal Lulus: 03 Oktober 2023

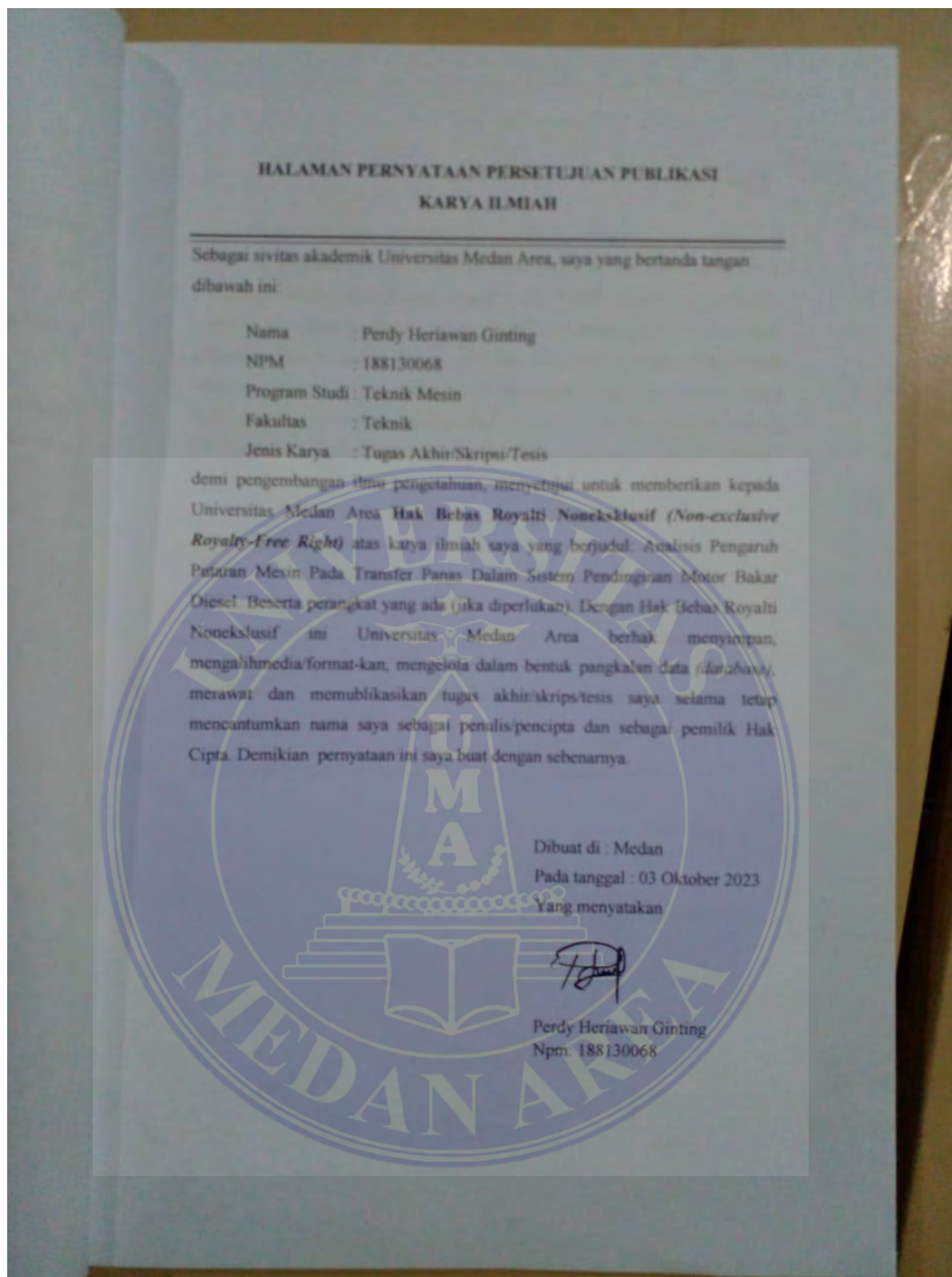
HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai Norma, Kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 03 Oktober 2023

Perdy Heriawan Ginting
Npm: 188130068



ABSTRAK

Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat sudah terbiasa menggunakan air mineral untuk mengisi radiator, hal ini dapat menyebabkan korosi pada sistem pendingin sehingga mengganggu kinerja mesin. Untuk menghindari terjadinya korosi pada sistem pendingin sebaiknya menggunakan *coolant* radiator agar temperatur dan komponen sistem pendingin tetap dalam kondisi baik. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui laju perpindahan kalor fluida, pengaruh debit aliran terhadap efektivitas, dan variasi jenis *coolant*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperiment yang termasuk kedalam metode kuantitatif. Teknik analisis data yang digunakan adalah statistika deskriptif. Sampel dalam penelitian ini menggunakan berbagai jenis *coolant* dengan beragam jenis putaran mesin pada 1000,1500,2000 rpm. Berdasarkan perhitungan yang diperoleh nilai rata-rata perpindahan panas *Coolant* A (3780,34W), *Coolant* C (2374,98W), air mineral (2012,90W), *Coolant* B (1621,92W), dan *Coolant* D (1513,82W). Penelitian ini dilakukan pada saat kondisi temperatur kerja mesin optimal atau saat thermostat terbuka. Hasil dan kesimpulan ini yaitu semakin besar nilai perpindahan kalor maka semakin baik temperatur kinerja mesin.

Kata kunci: Sistem Pendingin, Jenis *Coolant*, Perpindahan Panas

ABSTRACT

In everyday life, people are accustomed to using mineral water to fill radiators, this can cause corrosion in the cooling system, thereby disrupting engine performance. To avoid corrosion in the cooling system, it is best to use a coolant radiator so that the temperature and components of the cooling system remain in good condition. The aim of this research is to determine the rate of fluid heat transfer, the influence of flow rate on effectiveness, and variations in coolant types. The research method used is an experimental method which is included in the quantitative method. The data analysis technique used is descriptive statistics. The samples in this study used various types of coolant with various types of engine speed at 1000, 1500, 2000 rpm. Based on the calculations obtained, the average heat transfer value for Coolant A (3780.34W), Coolant C (2374.98W), mineral water (2012.90W), Coolant B (1621.92W), and Coolant D (1513.82W). This research was carried out when the engine operating temperature conditions were optimal or when the thermostat was open. These results and conclusions are that the greater the heat transfer value, the better the engine performance temperature.

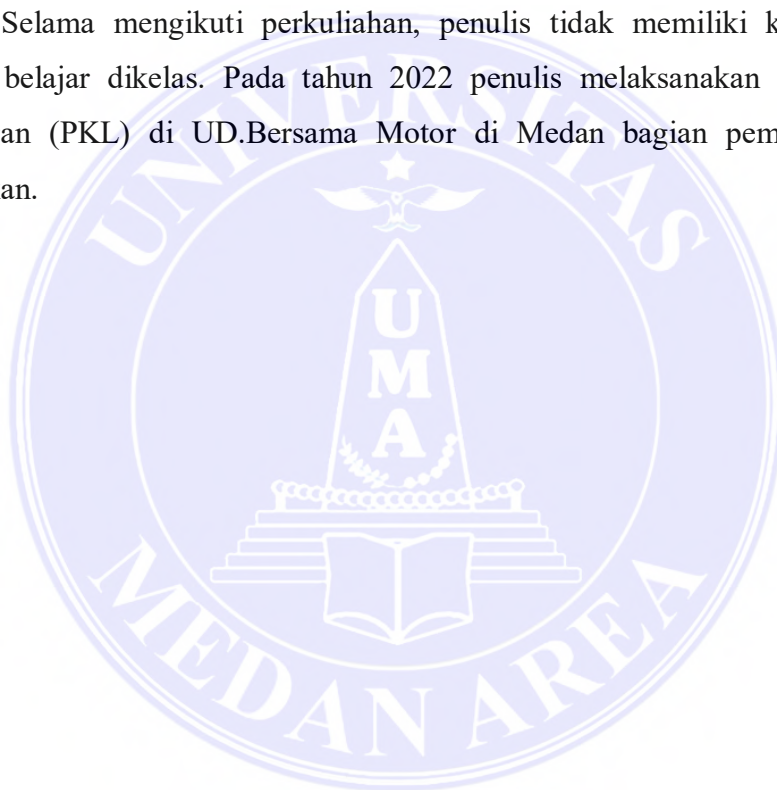
Keywords: *Cooling System, Coolant Type, Heat Transfer*

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Medan pada tanggal 02 maret 2001 dari Ayah Pelita Ginting dan Ibu Yasmaria br Sembiring. Penulis merupakan putra kedua dari empat bersaudara.

Pada bulan mei tahun 2018 penulis lulus dari SMK PALAPA MEDAN dan pada bulan agustus tahun 2018 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Mesin, Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis tidak memiliki kendala dalam proses belajar dikelas. Pada tahun 2022 penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di UD.Bersama Motor di Medan bagian pemeliharaan dan perbaikan.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Adapun judul Tugas akhir ini adalah: "Analisis Pengaruh Putaran Mesin Pada Transfer Panas Dalam Sistem Pendinginan Motor Bakar *Diesel*".

Terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Muhammad Idris, ST, MT selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam tugas akhir ini. Bapak Dr. Iswandi, ST, MT selaku Sekretaris program studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah memberikan saran dan masukan. Orang tua saya yang sangat saya sayangi dan cintai, yang telah banyak memberikan perhatian, motivasi, nasihat, doa, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis


Perdy Heriawan Ginting

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Mesin <i>Diesel</i>	4
2.2 Prinsip Kerja Motor <i>Diesel</i>	4
2.3 Firing Order (urutan Pembakaran).....	6
2.4 Perpindahan Panas	6
2.4.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi	8
2.4.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi	9
2.4.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi	10
2.5 Perhitungan Laju Perpindahan Panas dan Efektivitas Radiator	11
2.5.1 Kecepatan Fluida Radiator.....	11
2.5.2 Laju Aliran Massa Fluida Radiator	11

2.5.3	Efektivitas Radiator	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		14
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.1.1	Waktu.....	14
3.1.2	Tempat	14
3.2	Bahan dan Alat.....	15
3.2.1	Bahan	15
3.2.2	Alat	19
3.3	Metode Penelitian	25
3.3.1	Studi Literatur	25
3.3.2	Pengumpulan Data	25
3.3.3	Pengolahan Data	25
3.3.4	Simpulan dan Saran	26
3.4	Populasi dan Sampel	26
3.4.1	Populasi	26
3.4.2	Sampel	26
3.5	Prosedur Kerja	27
3.5.1	Parameter Pengukuran	28
3.5.2	Langkah Pelaksanaan Penelitian	29
3.5.3	Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Hasil	31
4.1.1	Perpindahan Panas Fluida Radiator	31
4.1.2	Pengaruh Debit Aliran Fluida Terhadap Efektivitas Radiator	32
4.1.3	Variasi Jenis <i>Coolant</i> Terhadap Efektivitas Pendingin Radiator	33
4.2	Pembahasan	34
4.2.1	Perhitungan Laju Perpindahan Panas Radiator Menggunakan Air Mineral	34
4.2.2	Debit Aliran Fluida Radiator.....	38
4.2.3	Efektivitas Radiator	39

BAB V SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Tugas Akhir	14
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin	15
Tabel 3.3 Spesifikasi Air Mineral.....	16
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Coolant A</i>	17
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Coolant B</i>	17
Tabel 3.6 Spesifikasi <i>Coolant C</i>	18
Tabel 3.7 Spesifikasi <i>Coolant D</i>	19
Tabel 3.8 Spesifikasi <i>Tachometer</i>	20
Tabel 3.9 Spesifikasi <i>Thermometer infrared</i>	21
Tabel 3.10 Spesifikasi <i>Hygrometer Thermo</i>	22
Tabel 3.11 Spesifikasi <i>Stopwatch</i>	23
Tabel 3.12 Spesifikasi <i>Flowmeter</i>	24
Tabel 3.13 Spesifikasi Jangka Sorong	25
Tabel 3.14 Spesifikasi Mesin	26
Tabel 3.15 Data Pada 1000 rpm	26
Tabel 3.16 Data Pada 1500 rpm	27
Tabel 3.17 Data Pada 2000 rpm	27
Tabel 4.1 Hasil Data Perpindahan Panas Fluida	31
Tabel 4.2 Debit Aliran Fluida Terhadap Efektivitas radiator	32
Tabel 4.3 Variasi <i>Coolant</i> Terhadap Efektivitas radiator	33
Tabel 4.4 Perpindahan Panas Fluida radiator	37
Tabel 4.5 kecepatan Fluida radiator	39
Tabel 4.6 Efektivitas radiator	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja motor <i>diesel</i> 4 langkah	5
Gambar 2.2 Firing Order 4 silinder	6
Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi	8
Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi	10
Gambar 2.5 Perpindahan panas radiasi	10
Gambar 3.1 Air Mineral	16
Gambar 3.2 <i>Coolant A</i>	16
Gambar 3.3 <i>Coolant B</i>	17
Gambar 3.4 <i>Coolant C</i>	18
Gambar 3.5 <i>Coolant D</i>	19
Gambar 3.6 <i>Tachometer</i>	20
Gambar 3.7 <i>Thermometer infrared</i>	21
Gambar 3.8 <i>Hygrometer Thermo</i>	22
Gambar 3.9 <i>Stopwatch</i>	23
Gambar 3.10 <i>Flowmeter</i>	24
Gambar 3.11 Jangka Sorong	25
Gambar 3.12 Titik Pengambilan Data	28
Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1 Grafik Perpindahan Panas Terhadap Putaran Mesin	38
Gambar 4.2 Grafik Efektivitas Radiator	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Penyajian Data Pada 1000 rpm	49
Lampiran 1.2 Penyajian Data Pada 1500 rpm.....	49
Lampiran 1.3 Penyajian Data Pada 2000 rpm.....	49
Lampiran 1.4 Tabel Sifat Air Jenuh (<i>J.V sengers & J.T.R Watson, 1986</i>).....	50
Lampiran 1.5 Perpindahan panas dan efektivitas radiator menggunakan air mineral	51
Lampiran 1.6 Perpindahan panas dan efektivitas radiator menggunakan <i>Coolant A</i> (121°C)	56
Lampiran 1.7 Perpindahan panas dan efektivitas radiator menggunakan <i>Coolant B</i> (134°C)	62
Lampiran 1.8 Perpindahan panas dan efektivitas radiator menggunakan <i>Coolant C</i> (110°C).....	67
Lampiran 1.9 Perpindahan panas dan efektivitas radiator menggunakan <i>Coolant D</i> (128 °C).....	72

DAFTAR NOTASI

q	= Laju perpindahan panas (W)
ΔT	= perbedaan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
T_w	= Temperatur dinding ($^{\circ}\text{C}$)
T_{∞}	= Temperatur keliling ($^{\circ}\text{C}$)
Q_{air}	= Debit aliran fluida radiator (m^3/s)
A_{pipa}	= Luas penampang pipa radiator (m^2)
m_h	= Aliran massa fluida radiator (kg/s)
ρ_h	= Massa jenis fluida radiator (kg/m^3)
V_h	= Kecepatan aliran fluida radiator (m/s)
C_{ph}	= Panas spesifik fluida ($\frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
q_{aktual}	= Laju perpindahan panas aktual (W)
q_{maks}	= Laju perpindahan panas maksimum (W)
C_h	= laju kapasitas fluida panas ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)
$T_{h_{\text{in}}}$	= Temperatur air masuk radiator ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{h_{\text{out}}}$	= Temperatur air keluar radiator ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{c_{\text{in}}}$	= Temperatur udara masuk radiator ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{c_{\text{out}}}$	= Temperatur air keluar radiator ($^{\circ}\text{C}$)
ϵ	= Efektivitas radiator (%)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Meningkatnya jumlah penduduk saat ini yang menuntut terjadinya peningkatan sarana transportasi sebagai mobilitas masyarakat dalam kegiatan sehari-hari. Dalam hal ini permintaan barang khususnya roda empat yang terus meningkat (Elbar, 2020). Kemajuan teknologi dibidang otomotif berkembang sangat cepat, oleh karena itu manusia terus mempelajari ilmu pengetahuan dan teknologi. Suatu kendaraan seiring dengan usia dan pemakaian maka lambat laun akan terjadi kendala dan perubahan efektivitas kinerja mesin. Pada suatu kendaraan dan harus ditelusuri sistem yang mana mengalami penurunan kinerja tersebut.

Di negara iklim tropis seperti indonesia sering sekali terjadi masalah pada sistem pendingin mesin mobil yang mengalami *overheat*. Sistem pendingin secara umum berfungsi menjaga supaya temperatur mesin dalam keadaan ideal. (Fina Yuliyanti¹, Budiyono² & Program, 2019) Pada sistem pendingin mesin juga memerlukan perawatan agar kondisi sistem pendingin tetap baik dan berfungsi secara optimal, dalam kehidupan sehari-hari masyarakat sudah terbiasa menggunakan air mineral untuk mengisi radiator. Hal ini menyebabkan komponen pada sistem pendingin cepat rusak terutama pada pompa air, *water jacket*, blok silinder, dan timbulnya endapan kotoran di pipa radiator. (Ziliwu & Tumpu, 2020)

Masalah utama dari air mineral adalah titik didih, titik beku yang rendah dan tidak mengandung *anti-rush* (anti karat) sehingga mengganggu kinerja sistem pendingin pada mesin mobil. (Maksum et al., 2017) maka dari itu sebaiknya menggunakan radiator *coolant* supaya terhindar dari korosi. *coolant* yang beredar saat ini banyak mengandung *ethylene glycol* dan beberapa zat kimia yang ditambahkan kedalam air destilasi, campuran air destilasi dengan *ethylene glycol* memiliki sifat *anti freeze* (anti beku) dan *anti boil* (anti mendidih). Sifat ini membantu mesin agar tidak beku saat cuaca dingin dan tidak panas saat cuaca kemarau yang ekstrim.

Pada mobil modern, sistem pendingin yang baik dapat mendorong kemampuan pemakaian bahan bakar lebih efisien. Sistem kerja pendingin pada mesin saat dingin air bersirkulasi hanya didalam mantel air & blok silinder karena suhu mesin belum mencapai suhu ideal dan Thermostat tertutup. Pada saat mesin mencapai suhu ideal, Thermostat terbuka hal ini menyebabkan pompa air mendorong fluida ke radiator dan fluida yang di radiator mengalir ke mantel air& blok silinder.

Sistem pendingin ini aliran air sangat bergantung Pada kinerja pompa. Pompa ini berfungsi untuk memompakan air bersirkulasi, sedangkan kerja pompa akan sangat bergantung dari kerja dan putaran mesin. Sistem penggerak pompa digerakkan oleh mesin melalui tali kipas (*van belt*). Putaran mesin akan simultan dengan putaran pompa. Putaran pompa yang relatif cepat akan menghasilkan tekanan fluida yang besar. Apabila diasumsikan sebagai debit jumlah aliran air yang mengalir tiap satuan waktu, maka penulis bermaksud mengadakan penelitian mengenai pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor pada sistem pendingin mesin diesel.

1.2 Perumusan Masalah

Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya *overheat* pada sistem pendingin mesin mobil diidentifikasi karena tutup radiator yang rusak, kebocoran pada radiator, selang radiator yang sudah getas, *water jacket* mengalami korosi, Thermostat macet, pompa air rusak, *cylinder head* dan *block cylinder* tidak simetris, dan lain sebagainya.

Untuk itu penulis memberi batasan masalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana pengaruh rpm terhadap suhu kerja pada mesin
- b) Bagaimana pengaruh *coolant* terhadap sistem pendingin mesin
- c) Bagaimana pengaruh laju aliran air terhadap stabilitas mesin

1.3 Tujuan Penelitian

Yang menjadi tujuan dalam melakukan penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis besar laju perpindahan kalor fluida setiap putaran mesin (rpm) yaitu 1000,1500,2000

2. Menganalisis pengaruh debit aliran air terhadap efektivitas pendingin radiator
3. Menganalisis variasi Jenis *coolant* terhadap efektivitas pendingin radiator.

1.4 Hipotesis Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, perlu dirumuskan hipotesis yang merupakan dasar atau landasan dalam proses penelitian dan pengumpulan data. Selain itu hipotesis juga merupakan kesimpulan atau jawaban sementara terhadap masalah yang diteliti. Berdasarkan uraian diatas, hipotesis penelitian ini adalah besarnya nilai debit aliran fluida mempengaruhi perpindahan kalor fluida dan variasi *coolant* yang digunakan mempengaruhi efektivitasnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat ilmiah dari penelitian ini sebagai bahan untuk menambah informasi bagi penyempurnaan dalam mengatasi masalah yang berkaitan dengan peningkatan kinerja sistem pendingin. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan inspirasi yang bermanfaat bagi perusahaan ataupun industri otomotif. Serta sebagai bahan referensi pada penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan efektifitas perpindahan kalor sistem pendingin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

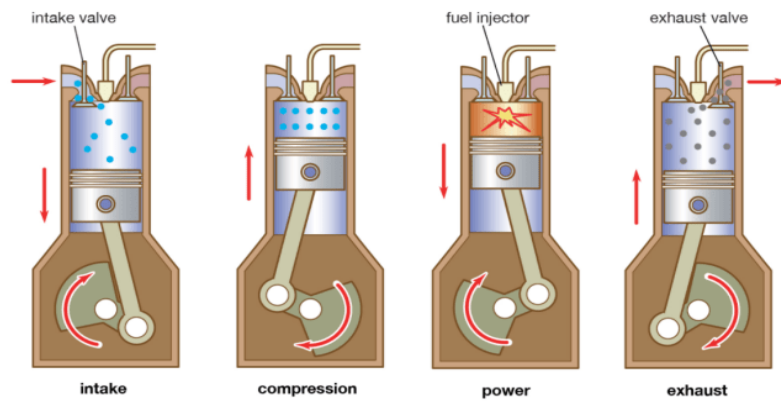
2.1 Pengertian Mesin *Diesel*

Motor bakar *diesel* adalah jenis khusus dari mesin pembakaran dalam karakteristik utama pada mesin *diesel* yang membedakannya dari motor bakar yang lain, terletak pada metode pembakaran bahan bakarnya (Hermawan et al., 2021). Ditinjau dari cara memperoleh energi thermal ini, mesin dibagi menjadi dua golongan yaitu mesin pembakaran luar dan mesin pembakaran dalam.

Pada mesin pembakaran luar atau *eksternal combustion engine* (ECE) dimana proses pemakaraannya terjadi diluar mesin tersebut, energi thermal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin melalui dinding pemisah, contohnya: mesin uap. Pada mesin pembakaran dalam atau *inetrnal combustion engine*(ICE) proses pembakaran berlangsung didalam motor bakar tersebut. Pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam ruang bakar sehingga diperoleh tekanan yang tinggi serta panas yang tinggi bersamaan dengan itu diinjeksikan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Tekanan ini mendorong piston bergerak kebawah dan poros engkol berputar (Wahyu, 2019).

2.2 Prinsip Kerja Motor *Diesel*

Mesin *diesel* 4 langkah ialah Mesin *diesel* dimana setiap satu kali proses usaha terjadi 4 (empat) kali langkah piston atau 2 kali putaran poros engkol. Siklus p-v adalah suatu proses yang terjadi berulang - ulang secara lanjut dan setiap proses tersebut merubah kondisi gas didalam ruang bakar untuk mengetahui bagaimana proses perubahan tekanan didalam silinder terjadi dijelaskan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1.Prinsip kerja motor *diesel* 4 langkah

a. Langkah Hisap

Piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (titik Mati Bawah). Katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Karena piston bergerak ke bawah maka di dalam silinder terjadi kevakuman sehingga udara bersih akan terhisap dan mengalir masuk ke dalam ruang silinder melalui katup masuk.

b. Langkah kompresi

Piston akan bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) ke TMA (Titik Mati Atas). Kedua katup (katup masuk dan buang) tertutup. Karena piston bergerak ke atas dan kedua katup tertutup maka udara bersih di dalam silinder akan terdorong dan dimampatkan di ruang bakar, akibatnya tertekan dan temperatur udara menjadi tinggi.

c. Langkah Usaha

Pada akhir langkah kompresi sebelum piston mencapai TMA, injektor akan mengabutkan bahan bakar dan akan bercampur dengan udara yang tertekan dan bertemperatur tinggi. Karena tekanan dan temperatur yang sangat tinggi maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya di dalam ruang bakar, hal ini menimbulkan daya dorong sehingga piston akan bergerak dari TMA ke TMB.

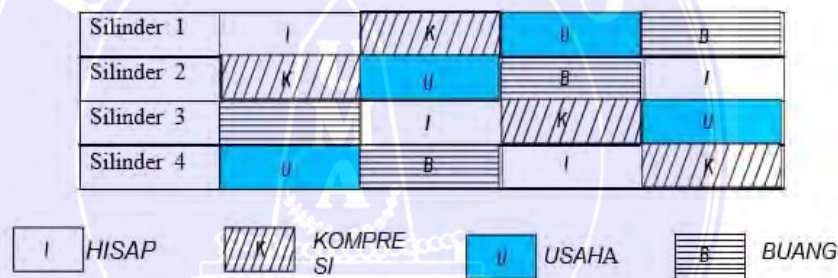
d. Langkah Buang

Piston bergerak dari TMB ke TMA, katup masuk tertutup dan katup buang terbuka sehingga gas pembakaran akan mengalir keluar.

2.3 Firing Order (Urutan Pembakaran)

Pada satu siklus motor *diesel* 4 langkah terjadi dalam dua putaran engkol (720^0). Bila motor bersilinder banyak (misalnya 4 silinder), maka dalam dua putaran engkol (720^0) tiap silinder akan mendapat giliran satu kali usaha. Agar diperoleh pendistribusian daya yang seimbang sepanjang bentangan proses, giliran penyalaan ke 4 silinder tidak diurut berdasarkan nomor silindernya 1-2-3-4, tapi dibuat berselang seling sedemikian rupa sehingga oleh pabrik diperhitungkan akan diperoleh keseimbangan distribusi daya pada poros mesin tersebut.

Mesin type in line F.O Mesin dapat dilihat pada plat nama mesin tersebut, misalkan satu mesin diesel in line 4 langkah 4 silinder, pada plat namanya tertera F.O=1-3-4-2. Angka tersebut menunjukkan urutan pembakaran (dengan sendirinya juga berarti urutan langkah usaha). secara khusus dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Firing order 4 silinder

2.4 Perpindahan Panas

Panas dari hasil pembakaran bahan bakar didalam silinder hanya sebagian saja yang diolah menjadi kerja efektif (kerja pada proses engkol). Bagian terbesar justru merupakan panas terbuang dan yang terakhir ini merupakan kerugian yang tidak mungkin dihilangkan sama sekali. Kerugian panas tersebut meliputi kerugian-kerugian panas yang terbawa gas buang, lewat air pendingin dan kerugian panas akibat gesekan (Pongkessu et al., 2018). Panas hasil pembakaran diruang bakar disatu sisi dan panas berguna ditambah kerugian-kerugian disisi yang lain, merupakan suatu neraca keseimbangan.

Tenaga yang dihasilkan oleh sebuah motor *diesel* adalah dari gas pembakaran dikurangi oleh kerugian -kerugian panas maupun kerugian-kerugian

mekanis (Hutasuhut, 2018). Kerugian mekanis yaitu kerugian yang disebabkan karena gesekan-gesekan bermacam-macam bagian motor yang saling bersinggungan antara lain :

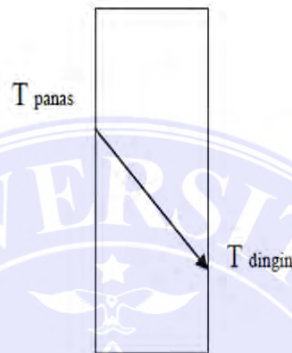
- a. Gesekan antara cincin (*ring*) dengan dinding silinder
- b. Gesekan antara poros dan bantalan-bantalan
- c. Kerugian mekanik karena tenaga hilang untuk menggerakkan alat-alat seperti katup pompa bahan bakar, pompa pendingin, blower, injector dan lain sebagainya.
- d. Kerugian juga karena sebagian panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar hilang terbawa oleh gas buang air pendingin, minyak pelumas dan lain-lain.

Bila sistem pendingin mengalami penurunan kinerja, maka presentase pendinginan meningkat yang berarti daya usaha poros yang akan menurun. Indikasi yang langsung dapat diketahui dari suhu sistem pendingin yang meningkat, terutama suhu keluar pada sistem pendingin tersebut. Jika sistem pelumasan kurang sempurna maka presentase gesekan akan meningkat yang berarti daya usaha mesin akan menurun pula. Indikasi yang langsung dapat dilihat dari suhu lub oli. Pembakaran yang kurang sempurna akan meningkatkan presentase gas bekas atau buang yang berarti menurunkan daya usaha mesin yang keluar dari poros.

panas dari suatu benda dan memindahkan panas tersebut kebenda yang lainnya dan melepaskan panas mesin melalui air sebagai media pendingin untuk menyerap panas. Dalam proses perpindahan energi panas tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.4.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium padat atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum (Guanbara, Editora, 2015), misalnya perpindahan panas dari dinding silinder ke mantel air (*water jacket*).Seperti terlihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Perpindahan Panas Konduksi

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut.

Persamaan Dasar Konduksi:

$$q_{kond} = -KA \frac{\Delta t}{\Delta x} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

- q_{kond} = Laju perpindahan panas (W)
- k = Konduktifitas thermal ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- A = Luas penampang (m^2)
- ΔT = perbedaan temperatur ($^\circ C$)
- Δx = tebal benda (m)

Konstanta positif “k” disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala temperatur. Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan

gradient yang terdapat permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum Fourier.

2.4.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

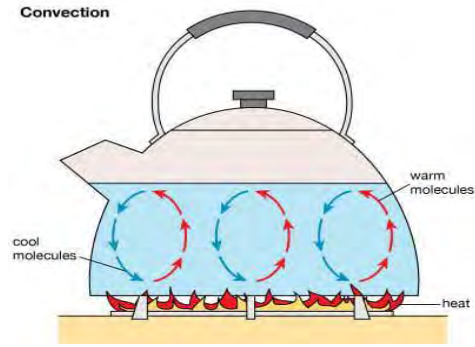
Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (Walujodjati, 2006), misalnya seperti memanaskan air didalam suatu wadah.

$$q_{konv} = hA(T_w - T_{\infty}) \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

- q_{konv} = Laju perpindahan panas (W)
- h = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- A = Luas bidang permukaan perpindahan panas (m^2)
- T_w = Temperatur dinding ($^\circ C$)
- T_{∞} = Temperatur keliling ($^\circ C$)

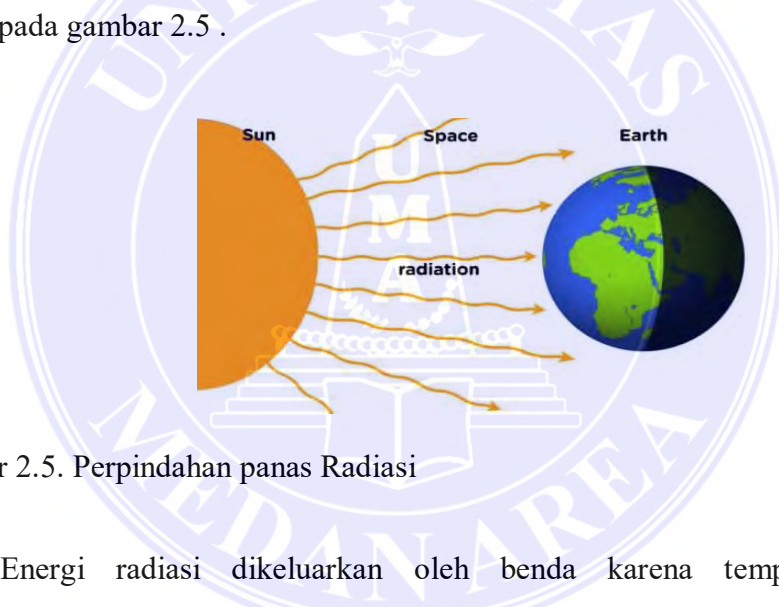
Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang di pindahkan selalu mempunyai tanda positif (+). mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien pindah panas permukaan h , bukanlah suatu sifat zat, akan tetapi menyatakan besarnya laju pindah panas didaerah dekat pada permukaan itu. Perpindahan konveksi paksa pada dalam kenyataanya sering dijumpai, karena dapat meningkatkan efisiensi pemanasan maupun pendinginan satu fluida dengan fluida yang lain. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 .



Gambar 2.4. Perpindahan panas konveksi

2.4.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Radiasi adalah pelepasan kalor tanpa memerlukan media. Dalam ruang kosong tidak ada material yang memindahkan kalor secara konveksi & konduksi, seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Perpindahan panas Radiasi

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik (Teguh, 2016). Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan. seperti contoh: Panas dari mesin akan memancar disekeliling ruang mesin, jadi perambatan panas secara langsung walaupun tanpa media panas bias merambat. Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_{rad} = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (\partial T)^4 \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

- q_{rad} = Laju perpindahan panas radiasi (W)
- e = emisivitas benda
- σ = bilangan boltzman ($5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}^4$)
- A = Luas penampang benda (m^2)
- T = temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

2.5 Perhitungan Laju Perpindahan Panas Dan Efektifitas Radiator

Efektivitas radiator adalah 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. Semakin cepat radiator mendinginkan suhu pada mesin maka semakin efektif kerja radiator. Persamaan nilai perpindahan panas adalah sebagai berikut:

2.5.1 Kecepatan fluida radiator

Pengukuran kecepatan aliran fluida radiator ditujukan untuk mengetahui besar penyebaran distribusi kecepatan fluida radiator (V_h). semakin besar kecepatan fluida radiator maka semakin efisien temperatur pada mesin. nilai V_h dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$V_h = \frac{Q_{air}}{A_{pipa}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

- Q_{air} = Debit aliran fluida radiator (m^3/s)
- A_{pipa} = Luas penampang pipa radiator (m^2)

2.5.2 Laju Aliran Massa Fluida Radiator

Laju aliran massa fluida radiator (m_h) merupakan perpindahan panas dari satu tempat ke tempat lain karena adanya perpindahan fluida, proses perpindahan panas melalui perpindahan massa fluida radiator. Untuk nilai laju aliran massa fluida radiator (m_h) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \cdot A_{pipa} \dots\dots\dots (2.5)$$

Selain persamaan diatas (m_h) dapat dihitung dengan Persamaan:

$$q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

- m_h = Aliran massa fluida radiator (kg/s)
- ρ_h = Massa jenis fluida radiator (kg/m³)
- V_h = Kecepatan aliran fluida radiator (m/s)
- A_{pipa} = Luas penampang pipa radiator (m²)
- q_h = Laju perpindahan panas air radiator (W)
- C_{ph} = Panas spesifik fluida ($\frac{J}{kg} \cdot ^\circ C$)
- ΔT_h = $T_{h\ in} - T_{h\ out}$ (°C)

2.5.3 Efektivitas radiator

Efektivitas radiator (ϵ) merupakan suatu nilai yang menyatakan seberapa besar kualitas, kuantitas pada fluida dan waktu telah tercapai dengan prinsip semakin besar presentase target yang dicapai maka semakin tinggi efektivitasnya (Holman, 1981). Nilai efektivitas radiator dipengaruhi oleh *coolant* yang digunakan, setiap jenis *coolant* memiliki spesifikasi yang berbeda-beda sehingga dapat mempengaruhi nilai dari efektivitas radiator. Nilai efektifitas radiator dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_{aktual} = C_h \cdot T_{hin} - T_{hout} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$q_{maks} = C_{min} \cdot T_{hin} - T_{cin} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

- q_{aktual} = Laju perpindahan panas aktual (W)
- q_{maks} = laju perpindahan panas maksimum(W)
- C_h = laju kapasitas fluida panas(W/°C)
- C_{min} = laju kapasitas fluida panas(W/°C)
- T_{hin} = Temperatur air masuk radiator (°C)
- T_{hout} = Temperatur air keluar radiator (°C)

Setelah nilai parameter q aktual dan q maksimal diperoleh, maka efektivitas fluida radiator (ϵ) dapat dihitung dengan Persamaan:

$$\epsilon = \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

- ϵ = Efektivitas radiator (%)
- q_{aktual} = Laju perpindahan panas actual (W)
- q_{maks} = laju perpindahan panas maksimum(W)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 10 Maret 2023, dengan jadwal tugas akhir terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	2022			2023					
	Sep	Okt	Nov	Mar	Apr	Mei	juni	Agu	Sep
Pengajuan Judul									
Penulisan Proposal Seminar									
Penulisan Proposal Proses Penelitian									
Pengolahan Data Penelitian									
Seminar hasil									
Persiapan Sidang Sidang Sarjana									

3.1.2 Tempat

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di UD.Bersama Motor di Jalan Jamin Ginting km 9,5 gg.pinem No.19 kecamatan Medan Tuntungan, Kota Medan.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

a. Mesin

Dalam melakukan penelitian membutuhkan sebuah mesin untuk menganalisa perpindahan kalor pada sistem pendingin. Mesin yang digunakan dalam pengambilan data penelitian ini adalah mesin Mitsubishi 4d56. spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.2. Spesifikasi Mesin

Parameter	Spesifikasi
Tipe mesin	<i>Four Stroke Diesel engine SOHC</i>
Jumlah silinder	<i>4 in-line, longitudinal</i>
Kapasitas mesin	2477 cc
Diameter x Langkah	91,1 mm x 95 mm
Perbandingan kompresi	10,5:1
Daya maksimal	55.16kW/4.200rpm
Torsi maksimum	143Nm/2500 rpm
Sistem pendingin	<i>Water cooled</i>
Sistem bahan bakar	<i>Direct injection</i>
Jenis transmisi	<i>Manual Transmision</i>

b. Jenis-Jenis *Coolant*

Jenis-jenis *coolant* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Air Mineral

Air mineral adalah air yang dilengkapi kandungan mineral dan senyawa alami lain didalamnya, air mineral mengandung beragam mineral antara lain magnesium,kalsium,natrium,dan selenium. Air mineral dapat dilihat pada gambar 3.1 .



Gambar 3.1. Air Mineral

Adapun spesifikasi Air Mineral yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3. Spesifikasi Air Mineral

Parameter	Spesifikasi
Nama	mineral water
Titik didih	100 °C

2. Coolant A

Coolant A adalah cairan radiator pendingin mesin berbasis *ethylene glycol* untuk menjaga pendingin mesin tetap optimal dan juga mencegah terjadinya korosi pada sistem pendingin. Coolant A dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2. Coolant A

Adapun spesifikasi *Coolant* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4. Spesifikasi *Coolant A*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Coolant A</i>
Titik didih	128 °C
Komposisi	<i>ethylene glikol, mineral free, Anti rust</i>

3. *Coolant B*

Coolant B adalah cairan yang terbentuk dari air yang sudah melewati proses demineralisasi. Ditambahkan juga bahan kimia khusus seperti *corrosion inhibitor dan propylene glycol* yang berfungsi meningkatkan titik didih dan anti karat. *Coolant B* dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.

Gambar 3.3. *Coolant B*

Adapun spesifikasi *coolant* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.5. Spesifikasi *Coolant B*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Coolant B</i>
Titik didih	110 °C
Komposisi	<i>ethylene glycol, Anti rust additive</i>

4. *Coolant C*

Coolant C adalah cairan pendingin yang berfungsi untuk mengontrol suhu didalam mesin, *Coolant* ini memiliki titik didih yang tinggi dibandingkan dengan air biasa, dan memiliki anti *rust* yang berfungsi untuk melindungi mesin dari korosi. *Coolant C* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3.4. *Coolant C*

Adapun spesifikasi *Coolant* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.6 sebagai berikut:

Tabel 3.6. Spesifikasi *Coolant C*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Coolant C</i>
Titik didih	134 °C
Komposisi	<i>ethylene glikol, Anti rust additive</i>

5. *Coolant D*

Coolant D adalah pendingin radiator yang menggunakan bahan dasar air demineralisasi yang sudah menghilangkan kandungan mineral dan logam yang berbahaya bagi radiator. *Coolant D* dapat dilihat pada gambar 3.5.

Gambar 3.5. *Coolant D*

Adapun spesifikasi *Coolant* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.7 sebagai berikut:

Tabel 3.7. Spesifikasi *Coolant D*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Coolant D</i>
Titik didih	121 °C
Komposisi	<i>ethylene glikol, Anti rust additive</i>

3.2.2 Alat

a. *Tachometer*

Tachometer adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengukur putaran mesin ,khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu atau RPM (*Revolution per minute*). Dalam aplikasi kendaraan bermotor, pemasangan tachometer dengan tujuan agar pengemudi dapat menggunakan mesin secara efisien. *Tachometer* dapat dilihat pada gambar 3.6.

Gambar 3.6. *Tachometer*

Adapun spesifikasi *tachometer* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.8 sebagai berikut:

Tabel 3.8. Spesifikasi *Tachometer*

Parameter	Spesifikasi
Rentang Tes	750- 6000 RPM
Material	<i>Plastic</i>
<i>Storage Temp</i>	10°C - 60°C

b. *Thermometer Infrared*

Thermometer Infrared merupakan salah satu jenis termometer inframerah yang berfungsi untuk mengukur suhu atau temperatur pada mesin. Prinsip kerja termometer ini adalah untuk mendeteksi sebuah objek, termometer akan menyerap radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh sebuah objek menuju ke sebuah alat pendeteksi suhu bernama *thermocouple* dimana radiasi diubah menjadi energi panas dan dikonversikan menjadi energi listrik. Energi ini nantinya menampilkan suhu dibalik layar termometer. Termometer Inframerah ini digunakan pada aliran air masuk radiator dan keluar radiator. Termometer dapat dilihat pada gambar 3.7.

Gambar 3.7. *Thermometer infrared*

Adapun spesifikasi Termometer yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.9 sebagai berikut:

Tabel 3.9. Spesifikasi Termometer

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Thermometer infrared</i>
<i>Measuring range</i>	-35 °C–520°C
<i>Resolution</i>	0.1°C
<i>Otomatic shutdown</i>	15 detik
<i>Distance to spot ratio</i>	12:1 cm
<i>Power</i>	2 baterai AA

c. *Hygrometer Thermo*

Hygrometer Thermo adalah alat yang mempunyai dua indikator pengukuran yaitu termometer dan higrometer. Termometer berfungsi untuk mengukur suhu aliran udara masuk dan keluar pada radiator dan higrometer berfungsi untuk mengukur kelembaban di suatu ruangan, satuan suhu yang digunakan adalah °C *Hygrometer Thermo* dapat dilihat pada gambar 3.8.

Gambar 3.8. *Hygrometer Thermo*

Adapun spesifikasi *Hygrometer Thermo* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.10 sebagai berikut:

Tabel 3.10. Spesifikasi *Hygrometer Thermo*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Hygrometer Thermo</i>
Measuring range	-25°C–70°C
Resolution	1°C
Otomatic shutdown	15 detik
Power	1 baterai AA
Dimensi	110 x 100 x 21mm

c. *Stopwatch*

Stopwatch merupakan alat yang digunakan untuk pengukur waktu yang bisa diterapkan di berbagai kebutuhan. Misalnya alat ini dapat digunakan diberbagai keperluan seperti penelitian, pertandingan, pertunjukan dan sebagainya. Kini *stopwatch* dapat digunakan dalam bentuk aplikasi misalnya di smartphome dengan sistem operasi iOS, android, maupun windows. *Stopwatch* dapat dilihat pada gambar 3.9.

Gambar 3.9. *Stopwatch*

Adapun spesifikasi *Stopwatch* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.11 sebagai berikut:

Tabel 3.11. Spesifikasi *Stopwatch*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Stopwatch</i>
Dimensi	64 X 80 X 20 mm
Material	Plastik
Fitur	<i>Waterproof</i>
Warna	<i>Black</i>
Berat	62 g

d. *Flowmeter*

Flowmeter atau rotameter merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur laju aliran volumetrik fluida dalam tabung tertutup. *Flowmeter* sendiri merupakan instrumen pengukuran yang digunakan untuk menentukan jumlah besar aliran dari semua material seperti fluida, maupun bubuk. Aliran yang diukur melalui instrumen ini adalah laju aliran dan volume yang mengalir selama jangka waktu tertentu. Pemilihan jenis serta model dari ini tergantung pada aplikasi yang disesuaikan agar mendapat manfaat yang optimal. *Flowmeter* dapat dilihat pada gambar 3.10 dibawah ini.

Gambar 3.10. *Flowmeter*

Adapun spesifikasi *Flowmeter* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.12 sebagai berikut:

Tabel 3.12. Spesifikasi *Flowmeter*

Parameter	Spesifikasi
Nama	<i>Flowmeter</i>
Model	LZS-15
Material	Plastik
Tingkat Pengukuran	100-1000L/H
Tingkat ketepatan	3%

e. Jangka sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur untuk mengetahui panjang, diameter dalam, atau luar suatu benda, Juga dapat mengukur kedalaman suatu bahan. tingkat ketelitian yang digunakan 0,2mm alat ini digunakan untuk mengukur diameter dalam pada pipa radiator. Jangka sorong dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Jangka sorong

Adapun spesifikasi Jangka sorong yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.13 sebagai berikut:

Tabel 3.13. Spesifikasi Jangka sorong

Parameter	Spesifikasi
Nama	Jangka sorong
Model	Mekanik
Material	<i>stainless</i>

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur dan metode Eksperimen. Adapun beberapa tahap dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Studi Literatur

Studi Literatur merupakan tahapan dalam pengumpulan referensi (data sekunder) yang akan digunakan dalam penelitian baik dari buku, jurnal, dan artikel lainnya sebagai pendukung teori dalam penulisan penelitian.

3.3.2 Pengumpulan Data

Metode ini dipakai pada saat mendapatkan data-data parameter(data sekunder) fisik seperti temperatur panas, debit aliran fluida dan efektivitas pendingin. Pencatatan semua parameter dilaksanakan dalam satuan menit. Untuk parameter yang diukur langsung ke komponen.

3.3.3 Pengolahan Data

Setelah memperoleh data yang sesuai dengan penelitian maka selanjutnya mengolah data sesuai dengan tujuan penelitian.

3.3.4 Simpulan dan saran

Selanjutnya mengambil simpulan dalam hasil penelitian dan membuat saran dalam penelitian kedepannya sesuai dengan judul penelitian.

3.4 Populasi dan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi pada penelitian ini adalah sebuah mesin diesel 4d56 dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 3.14.

Tabel 3.14. Spesifikasi Mesin

Parameter	Spesifikasi
Tipe mesin	<i>Four Stroke Diesel engine SOHC</i>
Jumlah silinder	<i>4 in-line</i>
Kapasitas mesin	2477 cc
Daya maksimal	55.16kW/4.200rpm
Torsi maksimum	143Nm/2500 rpm

3.4.2 Sampel

Teknik *sampling* merupakan teknik pengambilan sampel untuk menentukan sampel yang akan digunakan dalam penelitian. Adapun metode pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan *non probability sampling* dengan teknik *Quota sampling*. Sampel dalam penelitian ini adalah sistem pendingin pada mesin diesel 4d56. Beberapa sampel yang akan dilakukan pengukuran pada sistem pendingin sebagai berikut:

Tabel 3.15. Data Pada 1000 rpm

No	Jenis <i>Coolant</i>	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)	Q air (m ³ /s)
1	Air Mineral	35,4	57,5	79	78	0,000133
2	<i>Coolant A</i>	36,6	50,1	62,7	50,1	0,000133
3	<i>Coolant B</i>	39,8	52,4	71,7	71,2	0,000133

No	Jenis Coolant	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)	Q air (m ³ /s)
4	Coolant C	36,3	52,9	74,5	72,6	0,000133
5	Coolant D	34,7	54	77,3	75,4	0,000133

Setelah data diperoleh selanjutnya melakukan pengukuran pada putaran 1500 rpm. Penyajian data dapat dilihat pada tabel 3.16

Tabel 3.16.Data Pada 1500 rpm

No	Jenis Coolant	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)	Q air (m ³ /s)
1	Air Mineral	35,1	56,3	77,2	74,1	0,00022
2	Coolant A	36,1	54	70,8	64,4	0,00022
3	Coolant B	38,5	56,9	70,8	68,4	0,00022
4	Coolant C	37,9	57,3	72,1	69,6	0,00022
5	Coolant D	35,8	57,5	76	74,5	0,00022

melakukan pengukuran dengan cara yang sama pada 2000 rpm. Penyajian data dapat dilihat pada tabel 3.17

Tabel 3.17.Data Pada 2000 rpm

No	Jenis Coolant	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)	Q air (m ³ /s)
1	Air Mineral	33,9	57,6	72	70	0.000333
2	Coolant A	34,9	48,9	71,3	66,9	0.000333
3	Coolant B	36,6	49,2	69,7	67,9	0.000333
4	Coolant C	36,6	50,7	70,3	67,5	0.000333
5	Coolant D	33,9	48,9	73,7	72,1	0.000333

3.5 Prosedur Kerja

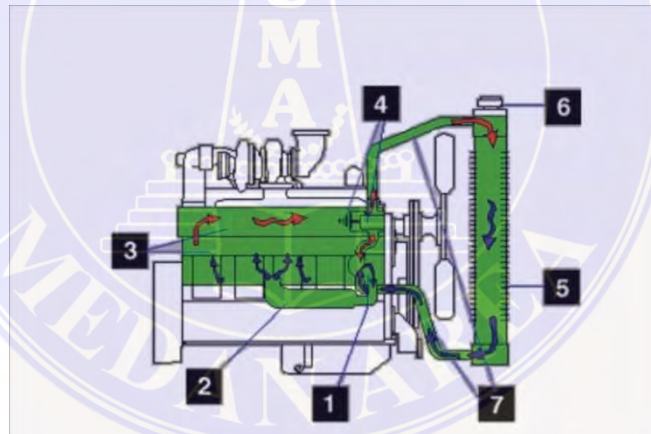
Dalam Prosedur pelaksanaan yang diterapkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

3.5.1 Parameter Pengukuran

Sistem pendingin mensirkulasikan cairan pendingin ke seluruh mesin untuk membuang panas yang timbul akibat pembakaran dan gesekan. Adapun parameter yang diukur dalam analisis pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor sistem pendingin adalah sebagai berikut:

- a. Debit aliran fluida (m^3/s)
- b. Temperatur air masuk dan keluar radiator ($^{\circ}C$)
- c. Suhu udara radiator ($^{\circ}C$)

Pada Gambar 3.12 memperlihatkan sketsa pengambilan data dari parameter pengukuran yang digunakan pada penelitian ini, adapun titik-titik yang ditinjau ialah laju aliran fluida, suhu air yang keluar dari radiator, suhu air masuk menuju radiator dengan variasi putaran tertentu dan variasi jenis *coolant* terhadap efektivitas pendingin radiator . dimana titik 7 dan 5 merupakan lokasi pengukuran temperatur air dan laju aliran fluida.



Gambar 3.12. Titik Pengambilan Data

Berikut merupakan nama keterangan gambar pada saat penelitian:

1. saluran air *bypass in*
2. saluran air *bypass out*
3. mantel air (*water jacket*)
4. Thermostat
5. Radiator
6. Radiator cap
7. Saluran in dan out

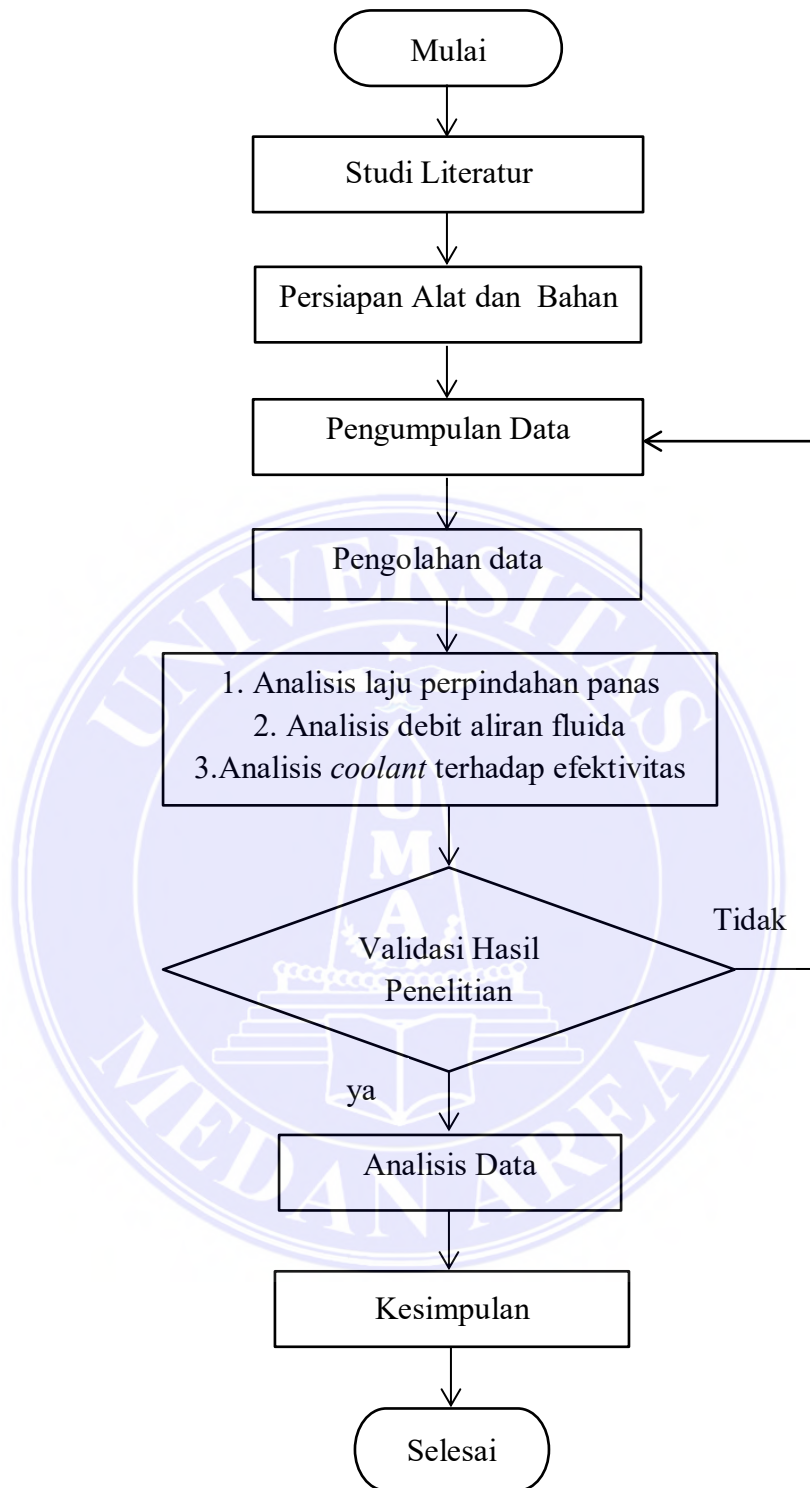
3.5.2 Langkah Pelaksanaan penelitian

Adapun langkah-langkah prosedur pelaksanaan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan peralatan dan bahan
- b. Menyiapkan lembar checklist parameter yang akan digunakan
- c. Memeriksa dan memastikan pembacaan alat ukur dapat berfungsi dengan baik
- d. Memastikan mesin dalam kondisi baik
- e. Menghidupkan Mesin hingga mencapai suhu ideal
- f. Mulai mengukur perpindahan panas pada saluran air, temperatur masuk dan keluar pada radiator.
- g. Memvariasikan jenis air pendingin yang digunakan pada radiator dengan putaran yang telah ditentukan
- h. Lakukan langkah-langkah diatas untuk setiap pengambilan data pada putaran yang ditentukan.
- i. Data yang didapatkan dimasukkan kedalam tabel data.

3.5.3 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan prosedur pelaksanaan penelitian yang telah dijabarkan diatas, tahapan pertama adalah memulai beberapa sumber tinjauan pustaka sebagai referensi penelitian dan menyiapkan peralatan serta bahan yang diperlukan pada penelitian, selanjutnya melakukan pengujian spesimen, data yang diperoleh kemudian disimpulkan pada penelitian, Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan yang dilakukan selama penelitian diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata perpindahan panas fluida tertinggi adalah *Coolant A* sebesar 3780,67W, *Coolant C* sebesar 2374,98W, Air mineral sebesar 2012,90W, *Coolant B* sebesar 1621,92W, dan yang terendah adalah *Coolant D* sebesar 1513,82W. nilai perpindahan panas yang terbaik adalah *Coolant A*.
2. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa nilai debit aliran air terhadap efektivitas pendingin pada 1000 rpm nilai Q_{air} 0,000133m³/s, pada 1500 rpm nilai Q_{air} 0.00022m³/s, pada 2000 rpm nilai Q_{air} 0,000333m³/s dan efektivitas rata-rata Air mineral 4,93%, *Coolant D* nilai 4,88%, *Coolant C* nilai 6,91%, *Coolant B* nilai 4,80%, *Coolant A* nilai 11,43%. Debit aliran terbesar terdapat pada 2000 rpm karena pompa air bekerja simultan dengan putaran mesin dan nilai efektivitas terbesar adalah *Coolant A* dengan nilai 11,43%.
3. Variasi coolant terhadap efektivitas pendingin berdasarkan pada tingkat kelajuan perpindahan panas fluida. dimana berdasarkan hasil penelitian didapat urutan fluida pendingin yang terbaik yaitu sebagai berikut: *Coolant A*, *Coolant C*, Air Mineral, *Coolant B*, *Coolant D*.

5.2 Saran

Saran yang dapat saya sampaikan buat penelitian yang berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor ini perlu dikembangkan seperti memvariasikan jenis *coolant* terhadap bahan bakar dan pengaruh terhadap torsi/ daya
2. Pengujian ini masih terbatas pada putaran mesin, untuk pengujian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambah kecepatan udara



DAFTAR PUSTAKA

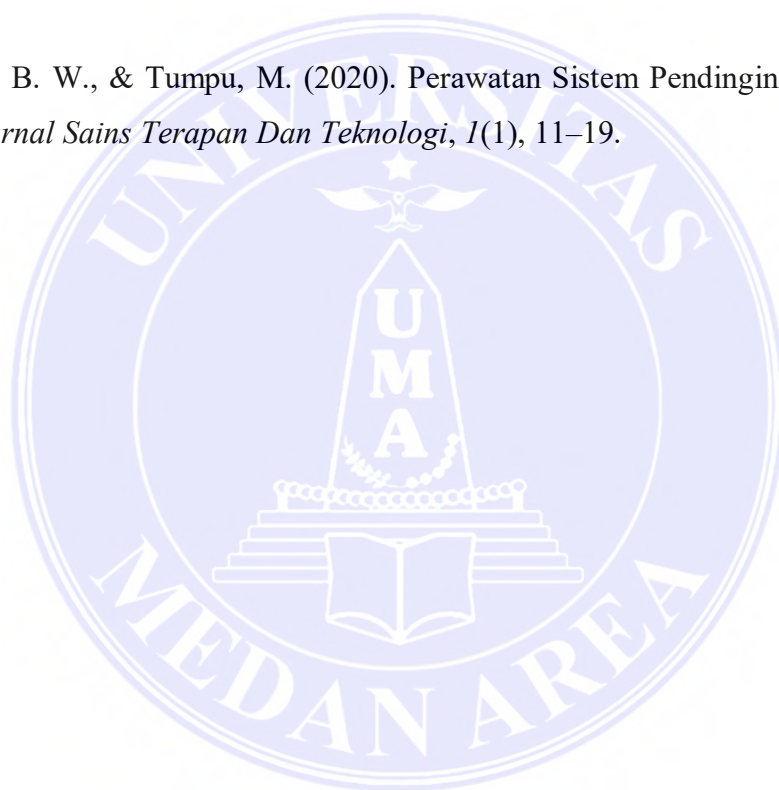
- Elbar, W. (2020). Sistem Pendingin Pada Toyota Kijang Innova. *Jurnal Teknik Mesin UPMI*, 21, 21–32.
- Fina Yuliyantil , Budiyono², I. P., & Program. (2019). Identifikasi Sistem Pendingin Pada Mesin Diesel Mitsubishi 100 Ps. *Surya Teknika*, 4(1), 19–24.
- Guanbara, Editora, koogan ltda. (2015). *Perpindahan panas konduksi*. 19.
- Hermawan, I., Idris, M., Darianto, D., & Siahaan, M. Y. R. (2021). Kinerja Mesin Motor 4 Langkah dengan Bahan Bakar Campuran Bioetanol dan Pertamina. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 5(2), 202–210.
- Holman, J. (1981) *Heat Transfer*. New York, United States of America McGraw-Hill International Book Company.
- Hutasuhut, M. I. (2018). Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 2(2), 43.
- Maksum, H., Sugiarto, T., & Saragih, N. L. H. (2017). Pengaruh Variasi Cairan Pendingin (Coolant) terhadap Efektivitas Radiator pada Engine Diesel. *Teknik Otomotif FT UNP*, 2(2), 1–6.
- Pongkessu, P., Pesulima, Y., Nari, H. P., & Sirman, A. M. (2018). Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Air Pendingin Terhadap Kinerja Fresh Water Cooler Pada Mesin Induk Di Kapal MV. Kalla Lines XV. *Jurnal VENUS*, 6(12), 94–109.

Teguh, F. (2016). *Perpindahan Panas Radiasi*. 1–23.

Wahyu, D. (2019). *Uji Kinerja Mesin Fiat 4-Tak dengan Kapasitas 1.100 CC Menggunakan Automotive Engine Test Bed T101D Fiat 4-Stroke Engine Performance Test with 1100 Cc Capacity Using Automotive Engine Test Bed T101D*. 9(2), 2089–4880.

Walujodjati, A. (2006). Perpindahan Panas Konveksi Paksa. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 2(2), 21–24.

Ziliwu, B. W., & Tumpu, M. (2020). Perawatan Sistem Pendingin. *Akselerator : Jurnal Sains Terapan Dan Teknologi*, 1(1), 11–19.



LAMPIRAN

Lampiran 1.1. Penyajian Data Pada 1000 rpm

No	Jenis <i>Coolant</i>	Waktu (s)	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)
1	Air mineral	60	35,4	57,5	79	78
2	<i>Coolant</i> A (128°C)	60	36,6	50,1	62,7	60,1
3	<i>Coolant</i> B (110°C)	60	39,8	52,4	71,7	71,2
4	<i>Coolant</i> C (134°C)	60	36,3	52,9	74,5	72,6
5	<i>Coolant</i> D (121°C)	60	34,7	54	77,3	75,4

Lampiran 1.2. Penyajian Data Pada 1500 rpm

No	Jenis <i>Coolant</i>	Waktu (s)	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)
1	Air mineral	60	35,1	56,3	77,2	74,1
2	<i>Coolant</i> A (128°C)	60	36,1	54	70,8	64,4
3	<i>Coolant</i> B (110°C)	60	38,5	56,9	70,8	68,4
4	<i>Coolant</i> C (134°C)	60	37,9	57,3	72,1	69,6
5	<i>Coolant</i> D (121°C)	60	35,8	57,5	76	74,5

Lampiran 1.3. Penyajian Data Pada 2000 rpm

No	Jenis <i>Coolant</i>	Waktu (s)	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Th in (°C)	Th out (°C)
1	Air mineral	60	33,9	57,6	72	70
2	<i>Coolant</i> A (128°C)	60	34,9	48,9	71,3	66,9
3	<i>Coolant</i> B (110°C)	60	36,6	49,2	69,7	67,9
4	<i>Coolant</i> C (134°C)	60	36,6	50,7	70,3	67,5
5	<i>Coolant</i> D (121°C)	60	33,9	48,9	73,7	72,1

Lampiran 1.4. Tabel Sifat Air Jenuh (*J.V sengers & J.T.R Watson, 1986*)

TABLE A-9

Properties of saturated water

Temp. <i>T</i> , °C	Saturation Pressure <i>P_{sat}</i> , kPa	Density ρ , kg/m ³		Enthalpy of Vaporization <i>h_{fg}</i> , kJ/kg	Specific Heat <i>c_p</i> , J/kg·K		Thermal Conductivity <i>k</i> , W/m·K		Dynamic Viscosity μ , kg/m·s		Prandtl Number <i>Pr</i>		Volume Expansion Coefficient β , 1/K
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³

Lampiran 1.5. Perpindahan Panas Dan Efektivitas Radiator Menggunakan Air Mineral

a. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan Air Mineral pada 1000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan air mineral pada putaran 1000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{79(^{\circ}\text{C}) + 78(^{\circ}\text{C})}{2} \\ &= 78,5(^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

Maka nilai diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water* dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 972,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4195,8 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator dapat menggunakan persamaan luas lingkaran, diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{in pipa}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,029)^2 \\ &= 0,00066 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000133 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 972,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$= 0,129 \frac{kg}{s}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,129 \frac{kg}{s} \times 4195,8 \frac{J}{kg} \cdot ^\circ C \times (79^\circ C - 78^\circ C) \\ &= 541,25 W \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{aktual} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,129 \frac{kg}{s} \times 4195,8 \frac{J}{kg} \cdot ^\circ C \times (79^\circ C - 78^\circ C) \\ &= 541,26 W \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{maks} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 541,26 \frac{W}{^\circ C} \times (79^\circ C - 35,4^\circ C) \\ &= 23598,9 W \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{aktual}}{q_{maks}} \\ &= \frac{541,26 W}{23598,9 W} \\ &= 0,0229 \\ &= 2,29\% \end{aligned}$$

b. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan Air Mineral pada 1500 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan air mineral pada putaran 1500 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_h \text{ rata-rata} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\
 &= \frac{77,2 \text{ (}^\circ\text{C)} + 74,1 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\
 &= 75,6 \text{ (}^\circ\text{C)}
 \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 974,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4193,5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh :

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\
 &= \frac{0,00022 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\
 &= 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\
 &= 974,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4193,5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (77,2^\circ\text{C} - 74,1^\circ\text{C}) \\
 &= 2781,96 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4193,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (77,2^\circ\text{C} - 74,1^\circ\text{C}) \\ &= 2781,96 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (77,2^\circ\text{C} - 35,1^\circ\text{C}) \\ &= 37794,43 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{2781,96 \text{ W}}{37794,43 \text{ W}} \\ &= 0,073 \\ &= 7,3 \% \end{aligned}$$

c. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan Air Mineral pada 2000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan air mineral pada putaran 2000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{72^\circ\text{C} + 70^\circ\text{C}}{2} \\ &= 71 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 976,94 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai

$C_{ph} = 4190,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

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

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000333 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 976,94 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,324 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,324 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4190,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (72^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}) \\ &= 2715,50 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,324 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4190,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (72^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}) \\ &= 2715,50 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$q_{\text{maks}} = m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{\text{in}}} - T_{c_{\text{in}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,324 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (72^\circ\text{C} - 33,9^\circ\text{C}) \\
 &= 51730,44 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\
 &= \frac{2715,50 \text{ W}}{51730,44 \text{ W}} \\
 &= 0,052 \\
 &= 5,2 \%
 \end{aligned}$$

Lampiran 1.6. Perpindahan Panas Dan Efektivitas Radiator Menggunakan Coolant A (128°C)

Perpindahan panas radiator adalah suatu nilai yang menunjukkan besarnya panas pada air radiator yang dibuang ke udara. Adapun parameter yang digunakan untuk perhitungan dapat dicari dengan cara menentukan temperatur rata-rata dari fluida radiator sebagai berikut:

a. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan Coolant A (128°C) pada 1000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan Coolant A (128°C) pada putaran 1000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{h rata-rata}} &= \frac{T_{\text{h in}} + T_{\text{h out}}}{2} \\
 &= \frac{62,7 \text{ (}^\circ\text{C)} + 60,1 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\
 &= 61,4 \text{ (}^\circ\text{C)}
 \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_{\text{h}} = 981,91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{\text{ph}} = 4305,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000133 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 981,91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,130 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,130 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4305,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (62,7 ^\circ\text{C} - 60,1 ^\circ\text{C}) \\ &= 1455,39 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,130 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4305,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (62,7 ^\circ\text{C} - 60,1 ^\circ\text{C}) \\ &= 1455,39 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,130 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4305,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (62,7 ^\circ\text{C} - 36,9 ^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$= 14609,91 \text{ W}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{1455,39 \text{ W}}{14609,91 \text{ W}} \\ &= 0,0996 \\ &= 9,96\% \end{aligned}$$

b. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant* A (128°C) pada 1500 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant* A (128°C) pada putaran 1500 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{\text{h rata-rata}} &= \frac{T_{\text{h in}} + T_{\text{h out}}}{2} \\ &= \frac{70,8 \text{ (}^\circ\text{C)} + 64,4 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\ &= 68,6 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_{\text{h}} = 980,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{\text{ph}} = 4195,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{h}} &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,00022 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 972,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,213 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,213 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,8 ^\circ\text{C} - 66,4 ^\circ\text{C}) \\ &= 3931,56 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,213 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,8 ^\circ\text{C} - 64,4 ^\circ\text{C}) \\ &= 3931,56 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,213 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,8 ^\circ\text{C} - 36,1 ^\circ\text{C}) \\ &= 32077,98 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{3931,56 \text{ W}}{32077,98 \text{ W}} \\ &= 0,1225 \\ &= 12,25\% \end{aligned}$$

- c. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant* A (128°C) pada 2000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant* A pada putaran 2000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{71,3 \text{ (}^\circ\text{C)} + 66,9 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\ &= 69,1 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 971,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4196,51 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator dapat menggunakan persamaan luas lingkaran, diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{in pipa}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,029)^2 \\ &= 0,00066 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000333 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 978,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4196,51 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (71,3 ^\circ\text{C} - 66,9 ^\circ\text{C}) \\ &= 5964,08 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4196,51 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (71,3 ^\circ\text{C} - 66,9 ^\circ\text{C}) \\ &= 5964,08 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4196,51 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (71,3 ^\circ\text{C} - 34,9 ^\circ\text{C}) \\ &= 5964,08 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan(2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{5964,08 \text{ W}}{49339,20 \text{ W}} \\ &= 0,1208 \\ &= 12,08 \% \end{aligned}$$

Lampiran 1.7. Perpindahan Panas Dan Efektivitas Radiator Menggunakan Coolant B (110°C)

a. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan Coolant B (110°C) pada 1000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan Coolant B (110°C) pada putaran 1000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{71,7 \text{ (}^\circ\text{C)} + 71,2 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\ &= 71,45 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 976,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4191,55 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000133 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 976,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4190,87 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (71,7 ^\circ\text{C} - 71,2 ^\circ\text{C}) \\ &= 270,35 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4191,55 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (71,7 ^\circ\text{C} - 71,2 ^\circ\text{C}) \\ &= 270,35 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4191,55 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (71,7 ^\circ\text{C} - 39,8 ^\circ\text{C}) \\ &= 17248,64 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{270,35 \text{ W}}{17248,64 \text{ W}} \\ &= 0,0156 \\ &= 1,56 \% \end{aligned}$$

b. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant* B (110°C) pada 1500 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant* B pada putaran 1500 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

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

$$= \frac{70,8 \text{ (}^\circ\text{C)} + 68,4 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2}$$

$$= 69,6 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 969,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4198,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_h = \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}}$$

$$= \frac{0,00022 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2}$$

$$= 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}}$$

$$= 976,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2$$

$$= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,8 \text{ }^\circ\text{C} - 68,4 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 2156,09 \text{ W}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,8 ^\circ\text{C} - 68,4 ^\circ\text{C}) \\
 &= 2156,09 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,01 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,8 ^\circ\text{C} - 38,5 ^\circ\text{C}) \\
 &= 29017,48 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\
 &= \frac{2156,09 \text{ W}}{29017,48 \text{ W}} \\
 &= 0,0743 \\
 &= 7,43\%
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant B* (110°C) pada 2000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant B* (110°C) pada putaran 2000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\
 &= \frac{69,7 (^\circ\text{C}) + 67,9 (^\circ\text{C})}{2} \\
 &= 68,8 (^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 972,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4195,61 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000333 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 972,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,28 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (69,7 ^\circ\text{C} - 67,9 ^\circ\text{C}) \\ &= 2439,32 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,28 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (69,7 ^\circ\text{C} - 67,9 ^\circ\text{C}) \\ &= 2439,32 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,28 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (69,7 ^\circ\text{C} - 36,6 ^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$= 44856,52 \text{ W}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{2439,32 \text{ W}}{44856,52 \text{ W}} \\ &= 0,0543 \\ &= 5,43 \% \end{aligned}$$

Lampiran 1.8. Perpindahan Panas Dan Efektivitas Radiator Menggunakan *Coolant C* (134°C)

a. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant C* (134°C) pada 1000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator *Coolant C* (134°C) pada putaran 1000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{\text{h rata-rata}} &= \frac{T_{\text{h in}} + T_{\text{h out}}}{2} \\ &= \frac{74,5 \text{ (}^\circ\text{C)} + 72,6 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\ &= 73,55 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_{\text{h}} = 970,31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{\text{ph}} = 4197,85 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{h}} &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000133 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$= 0,201 \frac{m}{s}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 970,31 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,201 \frac{m}{s} \cdot 0,00066 m^2 \\ &= 0,128 \frac{kg}{s} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,128 \frac{kg}{s} \times 4197,85 \frac{J}{kg} \cdot ^\circ C \times (74,5 ^\circ C - 72,6 ^\circ C) \\ &= 1020,91 W \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,128 \frac{kg}{s} \times 4197,85 \frac{J}{kg} \cdot ^\circ C \times (74,5 ^\circ C - 72,6 ^\circ C) \\ &= 1020,91 W \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{C_{in}} \\ &= 0,128 \frac{kg}{s} \times 4197,85 \frac{J}{kg} \cdot ^\circ C \times (74,5 ^\circ C - 36,3 ^\circ C) \\ &= 20525,80 W \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{1020,91 W}{20525,80 W} \end{aligned}$$

$$= 0,0497$$

$$= 4,97 \%$$

b. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant C* (134°C) pada 1500 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant C* (134°C) pada putaran 1500 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

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

$$= \frac{72,1(^{\circ}\text{C}) + 69,6(^{\circ}\text{C})}{2}$$

$$= 70,85(^{\circ}\text{C})$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 977,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4189,75 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^{\circ}\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_h = \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}}$$

$$= \frac{0,00022 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2}$$

$$= 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}}$$

$$= 977,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2$$

$$= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,75 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (72,1 ^\circ\text{C} - 69,6 ^\circ\text{C}) \\ &= 2241,51 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,75 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (72,1 ^\circ\text{C} - 69,6 ^\circ\text{C}) \\ &= 2241,51 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4189,75 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (72,1 ^\circ\text{C} - 37,9 ^\circ\text{C}) \\ &= 30663,94 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{2241,51 \text{ W}}{30663,94 \text{ W}} \\ &= 0,0730 \\ &= 7,3\% \end{aligned}$$

c. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant C* (134°C) pada 2000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant C* (134°C) pada putaran 2000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

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

$$= \frac{70,3 \text{ (}^\circ\text{C)} + 67,5 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2}$$

$$= 68,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 971,78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4195,91 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_h = \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}}$$

$$= \frac{0,000333 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2}$$

$$= 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}}$$

$$= 971,78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2$$

$$= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h$$

$$= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,35 \text{ }^\circ\text{C} - 67,5 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 3862,54 \text{ W}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\
 &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,3^\circ\text{C} - 67,5^\circ\text{C}) \\
 &= 3862,54 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\
 &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (70,3^\circ\text{C} - 36,6^\circ\text{C}) \\
 &= 45672,89 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\
 &= \frac{3862,54 \text{ W}}{45672,89 \text{ W}} \\
 &= 0,0845 \\
 &= 8,45 \%
 \end{aligned}$$

Lampiran 1.9. Perpindahan Panas Dan Efektivitas Radiator Menggunakan Coolant D (121°C)

a. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan Coolant D pada 1000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan Coolant D pada putaran 1000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\
 &= \frac{77,3(^\circ\text{C}) + 75,4(^\circ\text{C})}{2} \\
 &= 76,35 (^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 974,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai

$C_{ph} = 4194,08 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000133 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 970,62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,201 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4194,08 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (77,3^\circ\text{C} - 75,4^\circ\text{C}) \\ &= 1027,96 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4194,08 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (77,3^\circ\text{C} - 75,4^\circ\text{C}) \\ &= 1027,96 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\ &= 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4194,08 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (77,3^\circ\text{C} - 34,7^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$= 23048,14 \text{ W}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{1027,96 \text{ W}}{23048,14 \text{ W}} \\ &= 0,0446 \\ &= 4,46 \% \end{aligned}$$

b. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant D* (121°C) pada 1500 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant D* pada putaran 1500 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{76 \text{ (}^\circ\text{C)} + 74,5 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\ &= 75,25 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 976,69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4190,25 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,00022 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\
 &= 973,91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q_h &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4190,25 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (76^\circ\text{C} - 74,5^\circ\text{C}) \\
 &= 1345,07 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4190,25 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (76^\circ\text{C} - 74,5^\circ\text{C}) \\
 &= 1345,07 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{ph} \cdot T_{h_{in}} - T_{c_{in}} \\
 &= 0,214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4190,25 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (76^\circ\text{C} - 35,8^\circ\text{C}) \\
 &= 21729,79 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\
 &= \frac{1345,07 \text{ W}}{21729,79 \text{ W}} \\
 &= 0,0618 \\
 &= 6,18 \%
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Perpindahan Panas Menggunakan *Coolant D* pada 2000 rpm

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida radiator menggunakan *Coolant D* (121°C) pada putaran 2000 rpm dapat diperoleh suhu rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{h \text{ rata-rata}} &= \frac{T_{h \text{ in}} + T_{h \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{73,7 \text{ (}^\circ\text{C)} + 72,1 \text{ (}^\circ\text{C)}}{2} \\ &= 72,9 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Maka nilai parameter diatas dapat dicari pada tabel A-9 *properties of saturated water*. Dengan menginterpolasi sehingga diperoleh nilai $\rho_h = 971,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dan nilai $C_{ph} = 4195,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$ Untuk luas penampang pada pipa radiator diperoleh:

$$A_{\text{pipa}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) Sehingga untuk nilai kecepatan fluida radiator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_{\text{air}}}{A_{\text{pipa}}} \\ &= \frac{0,000333 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00066 \text{ m}^2} \\ &= 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_h &= \rho_h \cdot V_h \cdot A_{\text{pipa}} \\ &= 971,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,504 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00066 \text{ m}^2 \\ &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan panas fluida radiator dengan menggunakan persamaan(2.6) adalah sebagai berikut :

$$q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (73,7 ^\circ\text{C} - 72,1 ^\circ\text{C}) \\
 &= 2168,44 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai parameter efektivitas radiator diketahui, selanjutnya menghitung nilai perpindahan panas aktual fluida radiator dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{aktual}} &= m_h \cdot C_{\text{ph}} \cdot \Delta T_h \\
 &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (73,7 ^\circ\text{C} - 72,1 ^\circ\text{C}) \\
 &= 2168,44 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai laju perpindahan panas maximum fluida radiator menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{maks}} &= m_h \cdot C_{\text{ph}} \cdot T_{\text{hin}} - T_{\text{cin}} \\
 &= 0,323 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4195,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \times (73,7 ^\circ\text{C} - 33,9 ^\circ\text{C}) \\
 &= 53939,97 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai efektifitas fluida radiator dapat dihitung dengan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \\
 &= \frac{2168,44 \text{ W}}{53939,97 \text{ W}} \\
 &= 0,0402 \\
 &= 4,02 \%
 \end{aligned}$$