

SKRIPSI
PENGARUH PUTARAN MESIN TERHADAP
PERPINDAHAN KALOR PADA SISTEM
PENDINGIN KIJANG 4K



Disusun Oleh :

FIRDIANSYAH MUTHAQIN
061210362

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK
2011

LEMBAR PENGESAHAN

Yang bertanda tangan di bawah ini dosen penguji dan pembimbing dengan menerangkan di bawah:

Nama : FIRDIANSYAH .M.
N.I.M : 061210362
Judul skripsi : PENGARUH PUTARAN MESIN TERHADAP
PERPINDAHAN KALOR DALAM SISTEM PENDINGIN
KIJANG 4K

Telah diperiksa disetujui skripsi/Tugas Akhir nya :

Pembimbing I

Pembimbing II

(Eko Sarwono, ST.,MT)

(Aspiyansyah, ST.,M,Eng)

Penguji I

Penguji II

(Doddy Irawan, ST., M,Eng)

(Fuazen, ST)

Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik
Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Pontianak

(Eko Sarwono, ST.,MT)

LEMBAR PERSETUJUAN

Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing Tugas Akhir,
menerangkan bahwa mahasiswa :

Nama : FIRDIANSYAH .M.

N.I.M : 061210362

Judul skripsi : PENGARUH PUTARAN MESIN TERHADAP
PERPINDAHAN KALOR DALAM SISTEM PENDINGIN
KIJANG 4K

Telah diperiksa dinyatakan selesai serta siap untuk diajukan dalam ujian tugas
akhir.

Pembimbing I

Pembimbing II

(Eko Sarwono, ST.,MT)

(Aspiyansyah, ST.,M,Eng)

Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik
Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Pontianak

(Eko Sarwono, ST.,MT)

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Hambatan adalah jalan menuju keberhasilan

Bagi yang berhenti, sebuah batu penghalang disebut hambatan

Bagi yang meneruskan, batu itu adalah batu pijakan untuk naik

(Mario Teguh)

Sesungguhnya setelah ada kesulitan pasti ada kemudahan

(QS. Al Insyirah : 5)

Harga sebuah kegagalan dan kesuksesan bukan dinilai dari hasil akhirnya,

Melainkan dari proses perjuangannya

Hidup akan terasa lebih bahagia jika kita pernah merasakan kesulitan

Tak akan ada kebahagiaan jika kita tidak pernah mengalami kesulitan

Jangan pernah menyerah mengalami kesulitan karena kesulitan itulah yang

Mengantar kita ke pintu kebahagiaan

Kupersembahkan skripsi ini untuk kedua orang tuaku,

ayahanda Ibrahim dan Ibunda Ida Arinisiwati

Terimakasih untuk doa, cinta dan dukungannya.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahim

Puji syukur kehadirat Allah Swt atas semua nikmat, berkah dan kesempatan yang telah diberikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Perpindahan Kalor Dalam Sistem Pendingin Kijang 4K"** tepat pada waktunya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam rangkaian kegiatan penelitian dalam skripsi ini tidak dapat melaksanakan sesuai dengan rencana apabila tidak didukung oleh berbagai pihak. Untuk ini pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Helman Fachri., MM selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Pontianak.
2. Bapak Eko Sarwono, ST.,MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak dan selaku Dosen Pembimbing Utama yang dengan penuh kesabaran hati telah bersedia meluangkan banyak waktu dalam memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Aspiyansyah, ST.,M,Eng, selaku Dosen Pembimbing Pembantu (teknis) yang telah memberikan saran-saran berkaitan dengan teknis operasional dilapangan hingga skripsi ini selesai.

4. Seluruh Dosen dan staf Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak yang telah membantu kelancaran penyelesaian pendidikan di Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Pontianak.
5. Ayah, ibunda, kakak dan adik tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat dan do'a yang tulus untuk keberhasilan ananda.
6. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu baik moril maupun spiritual sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Sahabat terbaiku "*you are my best friend*".
7. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah khususnya angkatan 2006 yang telah memberikan dukungan moril dalam penelitian ini

Penulis mengakui untuk mencapai titik yang sempurna masih banyak yang harus diperbaiki, karena kelemahan dan kekurangan penulis sebagai manusia. Semoga skripsi ini berguna bagi yang membacanya. Amin.

Wassalam 'mualaikum. Wr. Wb

Pontianak, April 2011

Penulis

ABSTRAK

Sistem pendingin pada mobil berfungsi untuk menurunkan temperatur pada mesin yang terjadi akibat pembakaran dari ruang bakar. Sistem pendingin pada mesin menggunakan suatu alat yang berupa Radiator. Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah: (1) Adakah pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor dalam sistem pendingin, (2) Seberapa besar pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor dalam sistem pendingin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor dalam sistem pendingin kijing 4k.

Penelitian ini menggunakan suatu alat penelitian yaitu mesin kijing 4k dan termometer. Penelitian yang dilakukan dengan jalan memvariasikan waktu penelitian dan putaran mesin, mengukur suhu udara sebelum dan setelah menumbuk radiator dan mengukur suhu air pendingin sebelum masuk dan setelah keluar dari radiator.

Metode penelitian ini menggunakan teknik analisa data Diskriptif. Berdasarkan analisa dengan menggunakan grafik hubungan perpindahan panas, suhu air pendingin dan perpindahan kalor maupun Efektifitas, bahwa nilai Efektifitas Radiator akan meningkat sebanding dengan putaran mesin.

Berdasarkan analisa ditarik kesimpulan, bahwa nilai Efektifitas pada waktu 1, 5 dan 10 menit nilainya 0,2735. 2,1765 dan 2,4279 maupun Perpindahan Kalor meningkat seiring meningkatnya putaran mesin pada waktu 1,5 dan 10 menit nilainya 22,881. 39,062 dan 44,745 maupun sebaliknya perpindahan kalor menurun dan efektifitasnya.

Dalam penelitian ini dapat diperuntukan untuk sistem pembelajaran perpindahan kalor dalam pendingin mesin kijing 4k.

Kata kunci : Radiator, Efektifitas, perpindahan kalor, sistem pendingin dan putaran mesin

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	4
1.3. Pembatasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penulisan	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Metodologi Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI DASAR	
2.1. Tinjauan Pustaka	8
2.2. Landasan Teori	10
BAB III METODELOGI PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	41

3.2 Alat Dan Bahan	41
3.3 Pelaksanaan Percobaan	43
3.4 Penyajian Data	46
3.5 Rencana Analisa Data	47

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Data Hasil Percobaan	50
4.2. Perhitungan	52
4.3. Efektifitas Radiator	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Hasil.....	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Penelitian Perpindahan Kalor 1, 5 dan 10 menit	47
Tabel 3.2	Data Perpindahan Panas Pada Putaran Mesin	49
Tabel 3.3	Data Efektifitas Perpindahan Panas	49
Tabel 4.1	Tabel Perpindahan Panas dalam 1 Menit	51
Tabel 4.2	Tabel Perpindahan Panas dalam 5 Menit	52
Tabel 4.3	Tabel Perpindahan Panas dalam 10 Menit	52
Tabel 4.4	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 1 Menit dengan Putaran 1000 rpm	55
Tabel 4.5	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 1 Menit dengan Putaran 1500 rpm	55
Tabel 4.6	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 1 Menit dengan Putaran 2000 rpm	56
Tabel 4.7	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 1 Menit dengan Putaran 2500 rpm	56
Tabel 4.8	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 5 Menit dengan Putaran 1000 rpm	56
Tabel 4.9	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 5 Menit dengan Putaran 1500 rpm	
Tabel 4.10	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 5 Menit dengan Putaran 2000 rpm	57
Tabel 4.11	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 5 Menit dengan Putaran 2500 rpm	57
Tabel 4.12	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 10 Menit dengan Putaran 1000 rpm	58
Tabel 4.13	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 10 Menit dengan Putaran 1500 rpm	58
Tabel 4.14	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 10 Menit dengan Putaran 2000 rpm	58
Tabel 4.15	Perpindahan Panas pada Waktu Pemanasan Awal 10 Menit dengan Putaran 2500 rpm.....	58
Tabel 4.16	Nilai Efektifitas pada Waktu 1 Menit dengan Putaran 1000, 1500, 2000, 2500 rpm	61
Tabel 4.17	Nilai Efektifitas pada Waktu 5 Menit Dengan Putaran 1000, 1500, 2000, 2500 rpm	61

Tabel 4.18 Nilai Efektifitas pada Waktu 10 Menit dengan Putaran 1000, 1500, 2000, 2500 rpm	61
---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Gerakan Torak dan Katup Motor 4-Langkah	12
Gambar 2.2	Motor Bakar Torak.....	14
Gambar 2.3	Sistem Kerja Mesin	15
Gambar 2.4	Perpindahan Panas Satu Dimensi	18
Gambar 2.5	Konveksi dari Permukaan ke Fluida yang Bergerak	21
Gambar 2.6	Perpindahan Panas Konveksi Paksa	21
Gambar 2.7	Perpindahan Panas Konveksi Bebas (alamiyah)	22
Gambar 2.8	Pola Aliran Fluida yang Mengalir Melalui Sebuah Pipa	24
Gambar 2.9	Radiasi Antara Permukaan Dengan Sekeliling	25
Gambar 2.10	Perpindahan Panas Gabungan Antara Konduksi, Konveksi, Radiasi	27
Gambar 2.11	Penukar Panas <i>Counter Flow</i> Pipa Dalam Pipa yang Sederhana	28
Gambar 2.12	Penukar Panas Tipe Pelat Datar Jenis Aliran Lintang Dengan Kedua Fluida Tak Bercampur (<i>unmixed</i>)	29
Gambar 2.13	Sistem Pendingin	31
Gambar 2.14	Aliran Air Pendingin	32
Gambar 2.15	Konstruksi Sistem Pendingin	33
Gambar 2.16	Silinder Motor Dengan Mantel Pendingin	34
Gambar 2.17	Macam-macam Thermostat	37
Gambar 2.18	Thermostat	37
Gambar 2.19	Cara Kerja Thermostat	38
Gambar 2.20	Pompa Air Dingin	38
Gambar 2.21	Kipas Pendingin	39

Gambar 4.1	Grafik Perpindahan Panas Terhadap Putaran Mesin Pada Waktu 1 Menit.....	59
Gambar 4.2	Grafik Perpindahan Panas Terhadap Putaran Mesin Pada Waktu 5 Menit	60
Gambar 4.3	Grafik Perpindahan Panas Terhadap Putaran Mesin Pada Waktu 10 Menit	61
Gambar 4.4	Grafik Nilai Efektifitas Perpindahan Panas Terhadap Putaran Mesin	63

DAFTAR SIMBOL

q	= Laju perpindahan panas persatuan luas (heat flux) BTU/ft ² .
dt / dx	= Gardien temperatur. °F
k	= Konduktivitas bahan BTU / ft °F
T_o	= Suhu silinder bagian luar (°F)
T_i	= Suhu silinder bagian dalam (°F)
r_o	= Jari – jari bagian luar (mm)
r_i	= Jari – jari bagian dalam (mm)
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi (BTU/h.ft ² °F)
T_s	= Temperatur permukaan (°F)
T_∞	= Temperatur fluida (°F)
m	= laju aliran (lbm / h)
c_p	= panas jenis pada tekanan konstan (Btu / lbm F)
Δt_b	= beda suhu curahan antara penampang – penampang yang bersangkutan.
σ	= Konstanta boltzman = $5,67 \cdot 10^{-8}$ Btu /h.ft ² .°R ⁴
T_s	= Temperatur permukaan °F
A	= Luas permukaan (ft ²)
T_{sur}	= Temperatur sekeliling (°F)
R_{tot}	= Total tahanan thermal
$T_{\infty 1}$	= Temperatur fluida 1 °F

$T_{\infty 2}$	= Temperatur fluida 2 ($^{\circ}\text{F}$)
h_1	= Koefesien konveksi fluida 1 ($\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$)
h_2	= koefesien konveksi fluida 2 ($\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$)
k	= konduktifitas thermal ($\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^{\circ}\text{F}$)
ΔT	= beda suhu air antara suhu masuk dan suhu keluar ($^{\circ}\text{F}$)
V	= kecepatan rata –rata air ($\text{ft}/\text{hr} = \text{ft}/\text{s}$)
Q_h	= Kapasitas aliran air (ltr/min)
$T_{h.in}$	= Temperatur saat masuk ke radiator ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{h.out}$	= Temperatur saat keluar dari radiato ($^{\circ}\text{C}$)
ε	= nilai efektifitas radiator ($^{\circ}\text{C}$)
T_{h1}	= suhu air sebelum masuk ke radiator ($^{\circ}\text{C}$)
T_{h2}	= suhu air setelah keluar dari radiator ($^{\circ}\text{C}$)
T_{c1}	= suhu udara sebelum menumpuk ke radiator ($^{\circ}\text{C}$)
T_{c2}	= suhu udara setelah melewati radiator ($^{\circ}\text{C}$)

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN I : Data penelitian selama 1 menit
- LAMPIRAN II : Data penelitian selama 5 menit
- LAMPIRAN III : Data hasil penelitian selama 10 menit
- LAMPIRAN IV : Surat keterangan pengambilan data di Toyota Anzon
- LAMPIRAN V : Tabel sifat-sifat air (zat cair jenuh)
- LAMPIRAN VII : Gambar

DAFTAR PUSTAKA

Arianto, Arie Tahun 2002, “ ANALISA GANGGUAN SISTEM PENGAPIAN KONVERSIONAL TOYOYA KIJANG “ Artikel

Daryanto Tahun 1995 “REPARASI SISTEM PENDINGIN MESIN PENDINGIN” Aksara

Holman, JP, Tahun 1991 “PERPINDAHAN KALOR” Erlangga

Ir. Sitompul .M. Tunggul, S.E., M.Sc Jakarta Tahun 1992 “ ALAT PENUKAR KALOR (HEAT EXCHANGER)” PT Raja Grafindo Persada

Reynold, C, William dan Perkins ,C, Hendry Tahun 1997 “ TERMODINAMIKA TEKNIK” Erlangga

Sutaryono Tahun 2006 “ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA LUBRICATION OIL COOLER PADA MESIN WARTSILA 9L26 DI PT. COGINDO DAYA BERSAMA PONTIANAK” Artikel

Toyota Astra Motor. 1996. ”NEW STEP I TRAINING MANUAL” Jakarta : Astra Motor

Toyota Astra Motor. ”NEW STEP II TRAINING MANUAL” Jakarta : Astra Motor

Prasetyo Yudhy Tahun 2007 “PENGARUH DEBIT ALIRAN AIR TERHADAP EFEKTIFITAS RADIATOR” Artikel

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan bidang teknologi mesin sekarang ini, khususnya otomotif berkembang dengan sangat pesat. Keadaan ini dipicu oleh adanya tren yang selalu berkembang dimasyarakat yang merupakan tuntutan teknologi itu sendiri. Perkembangan bidang inipun memang sesuatu yang merupakan imbas dari perkembangan peradaban manusia itu sendiri. Hal ini dapat dilihat dari berbagai sudut pandang, salah satunya semakin banyak serta beragamnya teknologi-teknologi baru yang diciptakan. Kemajuan bidang otomotif secara prinsip merupakan implikasi dari adanya tuntutan pengguna otomotif itu sendiri. Tuntutan ini tentunya memerlukan pemenuhan baik dari segi kuantitas dan kualitas.

Pengguna otomotif secara umum ialah menginginkan teknologi mesin yang dapat dipergunakan pada segala variasi jenis medan tempuh, ramah lingkungan, terbuat dari bahan yang dapat didaur ulang (*recycle*), serta mempunyai umur (*tool Life*) yang relatif lebih lama. Produsen otomotif berkewajiban untuk memenuhi tuntutan tersebut dengan selalu melakukan pengembangan produk-produk mereka. Mesin dapat digambarkan secara sederhana sebagai sebuah sistem yang terdiri dari beberapa sistem pendukung yang bekerja secara simultan dan terintegrasi. Suatu mesin didalamnya terdapat beberapa sistem pendukung yangbekerja sekaligus. Sistem – sistem tersebut antara lain:

1. Sistem Kelistrikan
2. Sistem Bahan Bakar
3. Sistem Pelumasan
4. Sistem Pendinginan

Sistem tersebut di atas melakukan kerja secara bersamaan sehingga menghasilkan kerja mesin yang merupakan output dari mesin itu sendiri. Sistem pelumasan dan pendinginan merupakan sistem pendukung dari kerja mesin. Kedua sistem itu bukanlah sistem utama yang menjadi dasar mesin (*engine*) untuk melakukan kerja dan usaha, namun demikian kedua sistem ini mempunyai fungsi yang sangat vital.

Pelumasan dan pendinginan secara garis besar sebagai pelindung kerja mesin, sehingga kinerjanya dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang relatif lebih lama. Sistem pelumasan merupakan sistem yang berfungsi sebagai media pelumasan bagian-bagian mesin (*engine*) yang bergerak sebagai pendukung kerja. Mesin akan dapat bekerja apabila komponen-komponen pendukung didalamnya bergerak (*moving part*). Gerakan-gerakan komponen tersebut menghasilkan gesekan yang pada akhirnya menimbulkan keausan pada tiap komponen-komponen mesin. Keausan tersebut pada akhirnya mengurangi kinerja mesin. Sistem pendinginan pada kerja mesin berfungsi sebagai pelindung mesin dengan cara menyerap panas. Panas mesin dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dalam silinder. Panas tersebut merupakan suatu hal yang sengaja diciptakan untuk menghasilkan tenaga, namun jika dibiarkan akan menimbulkan panas yang berlebihan (*over heating effect*). Panas yang berlebihan itu menjadi penyebab

berubahnya sifat-sifat mekanis serta bentuk dari komponen mesin. Sifat serta komponen mesin bila telah berubah akan menyebabkan kinerja mesin terganggu dan mengurangi usia mesin. Sistem pendinginan yang biasa digunakan pada mesin ada 2 macam, yaitu:

1. Sistem Pendinginan Udara (*air cooling system*)
2. Sistem Pendinginan Air (*water cooling system*)

1.1.1 Sistem Pendinginan Udara Dalam Radiator

Panas yang dihasilkan dari pembakaran gas dalam silinder pada sistem pendinginan udara dirambatkan keluar. Proses perambatannya dilakukan dengan menggunakan sirip-sirip yang dipasangkan dibagian luar dari silinder dan ruang bakar. Panas tersebut selanjutnya diserap udara luar yang bersirkulasi dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur sirip pendingin. Udara yang menyerap panas dari sirip-sirip pendingin harus berbentuk aliran atau dengan kata lain udaranya harus mengalir agar temperatur udara sekitar sirip tetap rendah sehingga penyerapan panas berlangsung sempurna.

1.1.2 Sistem Pendinginan Air Dalam Radiator

Panas dari pembakaran gas dalam silinder pada sistem pendinginan air sebagian diserap oleh air pendingin. Secara prinsip dapat dikatakan bahwa sistem ini bekerja berdasarkan prinsip pertukaran panas (*heat changer*). Panas hasil pembakaran akan diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi. Air pendingin tersebut kemudian didinginkan oleh udara luar yang bertekanan yang dihembuskan oleh *blower* radiator. Pada sistem pendinginan air terdapat dua

komponen penting, yaitu:

1. Debit aliran air yang bersirkulasi
2. Kecepatan aliran udara yang menumbuk radiator

Sistem pendinginan air sering digunakan pada kendaraan jenis mobil. Pada sistem ini aliran air akan sangat bergantung pada kinerja pompa. Pompa ini berfungsi untuk memompakan fluida (air) bersirkulasi, sedangkan kerja pompa akan sangat bergantung dari kerja dan putaran *engine*. Sistem penggerak pompa digerakkan oleh *engine* melalui bantuan tali kipas (*van belt*), dimana puli mesin sebagai *driver* dan puli pompa sebagai *driven*.

Putaran mesin akan simultan dengan putaran pompa. Putaran pompa yang relatif cepat akan menghasilkan tekanan fluida semakin besar. Fluida yang berfungsi sebagai media pendingin akan bergerak semakin cepat sehingga menghasilkan banyak fluida yang dipindahkan (dipompakan). Apabila fluida yang dipindahkan tersebut diasumsikan sebagai debit (jumlah aliran air yang mengalir tiap satuan waktu), maka penulis bermaksud mengadakan penelitian mengenai pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor dalam sistem pendingin

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan di bahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor pada sistem pendingin kijang 4K

1.3 Pembatasan Masalah

Mengingat begitu luas dan kompleksnya permasalahan yang ada pada sistem pendingin, maka dalam penyusunan tugas akhir ini penulis ingin

membatasi pokok bahasanya agar pada penelitian dan pembahasan-pembahasan yang lain. Untuk itu penulis memberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Motor yang digunakan dalam penelitian yaitu motor bensin 4 tak jenis Toyota Kijang tipe mesin 4K
2. Penelitian dilakukan pada saat pertama mesin hidup dengan variasi waktu 1,5 dan 10 menit
3. Penelitian ini hanya membahas perpindahan kalor pada fluida air dan efektifitas nya.
4. Putaran mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1000, 1500, 2000, 2500 rpm untuk mencari perbandingan perpindahan kalor dalam sistem pendingin mesin kijang 4k

1.4 Tujuan Penulisan

1. Ingin mengetahui ada tidaknya pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor dalam sistem pendingin mesin Toyota Kijang 4K
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan panas dalam sistem pendingin mesin Toyota kijang 4K

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti
Sebagai penerapan ilmu dan teori-teori yang diperoleh selama masa perkuliahan dan membandingkan dengan kenyataan yang ada di dunia otomotif
2. Bagi perusahaan ataupun industri otomotif

Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran yang bermanfaat bagi perusahaan ataupun industri yang bergerak dibidang otomotif, sebagai bahan acuan dan perbandingan dalam usaha penyempurnaan dan peningkatan kinerja sistem pendingin motor bakar.

3. Bagi jurusan Teknik Mesin

Hasil dari penelitian dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut tentang analisa fenomena dasar mesin ataupun perpindahan kalor

1.6 Metodologi Penelitian

1. Studi pustaka

dilakukan dengan jalan membaca buku-buku dan makalah-makalah yang berhubungan dengan perpindahan panas, dengan tujuan untuk mendapatkan acuan perhitungan penelitian dan landasan pemikiran.

2. Wawancara

Mengadakan interveuw langsung maupun tidak langsung dengan dosen pembimbing maupun dengan seseorang yang dapat memberikan saran dan masukan mengenai tugas akhir ini.

3. Metode analisa data

Merupakan kegiatan penelitian dengan melakukan pengujian mesin. Data-data yang diperoleh dari pengujian, dilakukan pengolahan data dan analisa yang kemudian hasilnya dibuatkan kurva (grafik) yang dapat menunjukkan hasil dari data-data yang diperoleh.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang masalah, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penulisan, sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas tentang hal-hal yang berhubungan dengan teori yang akan digunakan

BAB III METODE PENELITIAN

Meliputi dari deskripsi peralatan pengujian, perencanaan alat uji, variabel penelitian, teknik pengambilan data dan teknik analisa data.

BAB IV ANALISA DATA

Bab ini mengemukakan tentang hasil penelitian dan pembahasan hasil penelitian

BAB V PENUTUP

Berisi Kesimpulan dan Saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI DASAR

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Penelitian Tentang Perpindahan Kalor Pada Mobil

Universitas Atma Jaya di Jakarta, penelitian tentang analisa perbandingan panas pada radiator mesin kijang 1500 cc dengan menggunakan dua fluida yang berbeda dikarang oleh Tumanggo Ruslan Wegie *dalam* tesis nya yang berisi tentang bahwa dengan menggunakan water coolant ini umur dan pada radiator akan semakin panjang karena water coolant tidak menyebabkan korosi seperti karat yang dapat menyebabkan lumpur pada saluran aliran fluida pada sistem pendingin mesin. Lumpur ini sering terjadi flek kita para pengguna mobil menggunakan air biasa untuk mengisi radiator sebagai fluidanya.

Pihak pabrik juga menjanjikan bahwa dengan water coolant suhu atau temperatur dari mesin akan lebih stabil dan akan lebih dingin jika dibandingkan bila kita menggunakan air biasa sebagai fluida pada radiator karena (*water coolant*) ini mempunyai kemampuan menyerap dan melepaskan panas yang sangat tinggi dan mempunyai titik didih 120°C-140°C serta tidak menimbulkan gelembung-gelembung udara.

2.1.2 Penelitian Tentang Perpindahan Kalor Pada Mobil

Universitas Teknologi Institut Sepuluh November Surabaya, Penelitian tentang analisa perpindahan panas radiator pada kendaraan 4

silinder 2446 cc disel dikarang oleh Harimurti dalam tugas akhir nya yang berisi tentang Performance dari suatu mesin tergantung pada bahan bakar yang digunakan, sistem penginjeksian bahan bakar, dan sistem pendinginan. Kenaikan temperatur yang terjadi pada suatu mesin berpengaruh dalam sistem pendinginan. Kenaikan temperatur dinding silinder yang berlebihan akan merusak material dinding tersebut sehingga perlu dilakukan usaha pencegahan. Pendinginan harus dilakukan secara tepat untuk menghindari hal-hal yang bersifat merugikan mesin kendaraan.

Proses pendinginan pada mesin Toyota kijang diesel dilakukan dengan radiator, yang berfungsi untuk mendinginkan air yang menjadi panas setelah beredar dalam water jacket pada mesin. Dalam analisa sistem perpindahan panas radiator ini didapatkan laju aliran air pendingin tiap tube sebesar 10, 7, 1 (J3 kg/s, temperatur udara keluar dari radiator 52,09 °C, koefisien perpindahan panas total 326,8 W/m²K dan luas perpindahan panas 1.509 d, sehingga diperoleh dimensi radiator.

2.1.3 Penelitian tentang pengaruh kondensator terhadap Putaran mesin

Universitas Muhammadiyah Malang, penelitian tentang pengaruh perubahan kondensator sistem pengapian konvensional dan putaran mesin terhadap daya mesin kijang 4k dikarang oleh Rianto dalam tugas akhir nya yang berisi tentang Kondensator memegang peranan penting dalam system pengapian konvensional, karena pembakaran yang sempurna ditentukan oleh sistem pengapiannya yaitu kemampuan elektroda busi membakar campuran bahan bakar-udara. Besarnya bunga api yang timbul pada busi dipengaruhi oleh kemampuan kondensator menyerap bunga api pada kontak pemutus

sehingga arus primer dapat diputus dengan cepat (medan magnet jatuh dengan tepat) dan seterusnya mengakibatkan tegangan induksi pada sirkuit sekunder tinggi, sehingga bunga api pada busi kuat.

Dari uraian diatas jelas bahwa perubahan kondensator dan putaran mesin dapat mempengaruhi daya motor. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan kondensator sistem pengapian konvensional dan putaran mesin terhadap daya mesin Toyota kijang 4K 1300 cc.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Motor Bensin

Motor bensin merupakan suatu motor bakar yang menggunakan bahan bakar bensin. Pada motor bensin komponen yang menjadi ciri khas adalah motor tersebut dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan bunga api listrik yang digunakan dalam proses pembakaran campuran bahan bakar-udara, sedangkan karburator merupakan tempat pencampuran bahan bakar-udara. Pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar yang ada di dalam ruang pelampung karburator disemprot ke dalam udara yang masuk karburator lewat lubang venturi.

Campuran bahan bakar-udara yang dimasukkan ke dalam silinder dimampatkan oleh torak sehingga tekanannya bertambah, dan dengan bantuan busi maka terjadilah proses pembakaran. Pembakaran yang terjadi dalam silinder akan menghasilkan energi potensial sehingga tekanannya

langsung mendorong piston bergerak dan mengubah energi potensial tersebut menjadi energi mekanik.

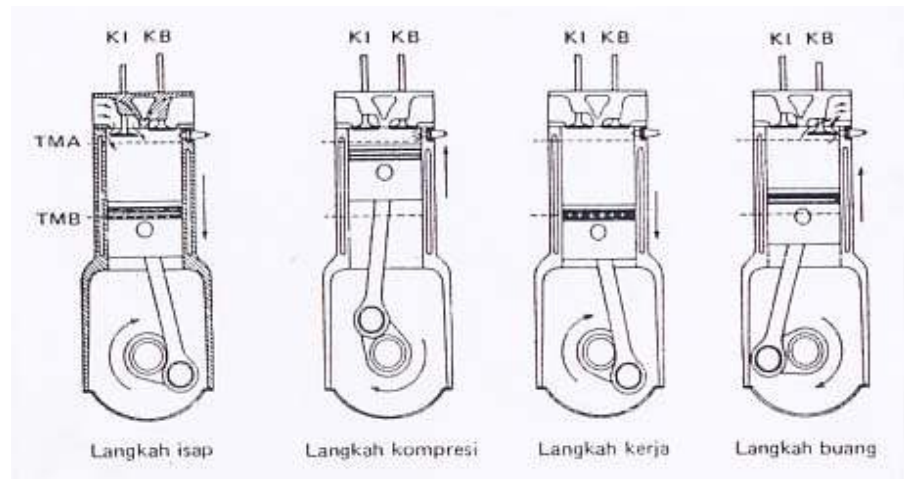
Menurut cara kerjanya maka motor bensin dibedakan menjadi dua macam, yaitu motor bensin 4-tak dan motor bensin 2-tak. Sedangkan untuk sistem pemasukkan bahan bakar ke dalam silinder pada umumnya dengan menggunakan karburator, akan tetapi ada pula yang menggunakan sistem injeksi. Untuk konstruksi silinder dari motor bensin ada beberapa macam seperti bentuk tegak, bentuk mendatar, bentuk V maupun bentuk-bentuk yang lain.

2.2.2 Motor Bensin 4-Langkah

Motor bensin 4-langkah adalah motor bakar yang menyelesaikan siklus dalam empat kali langkah torak atau dua kali putaran poros engkol. Jadi dalam empat langkah tersebut terjadi proses (langkah): isap, kompresi, ekspansi, buang.

Pada katup silinder terdapat dua saluran masing-masing sebagai saluran isap dan saluran buang. Katup-katup ini dapat memutuskan dan menghubungkan ruang silinder dengan atmosfer. Dan jika katup buang dibuka, ruang silinder berhubungan dengan saluran buang dan atmosfer. Apabila katup isap dibuka (katup buang tertutup), sedangkan torak bergerak ke TMB maka muatan segar yang terdapat dalam saluran isap akan terisap masuk ke dalam silinder. Hal ini terjadi karena tekanan di dalam silinder itu menjadi lebih rendah dari tekanan di dalam saluran isap. Sebaliknya jika katup buang terbuka sesudah ekspansi, maka gas dalam silinder yang

bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer segera keluar melalui saluran buang.



Gambar 2.1 Skema Gerakan Torak dan Katup Motor 4-Langkah

Keterangan:

KI=katup isap; KB=katup buang; TMA=titik mati atas; TMB=titik mati bawah.

- Langkah Isap

Berlangsung ketika torak di dalam silinder bergerak dari TMA menuju TMB pada saat itu katup isap terbuka sedangkan katup buang dalam keadaan tertutup, melalui katup isap campuran bahan bakar dan udara terisap masuk ke dalam silinder.

- Langkah Kompresi / Langkah Tekan

Setelah langkah torak mencapai TMB maka torak kembali ke TMA, sementara itu katup isap dan katup buang sama-sama dalam keadaan tertutup. Campuran bahan bakar-udara yang terisap tadi kini terkurung di dalam silinder dan dimampatkan oleh torak yang bergerak ke TMA.

Volume campuran bahan bakar-udara menjadi kecil karena itu tekanan dan temperaturnya naik hingga campuran itu mudah sekali terbakar

- Langkah Kerja / Langkah Ekspansi

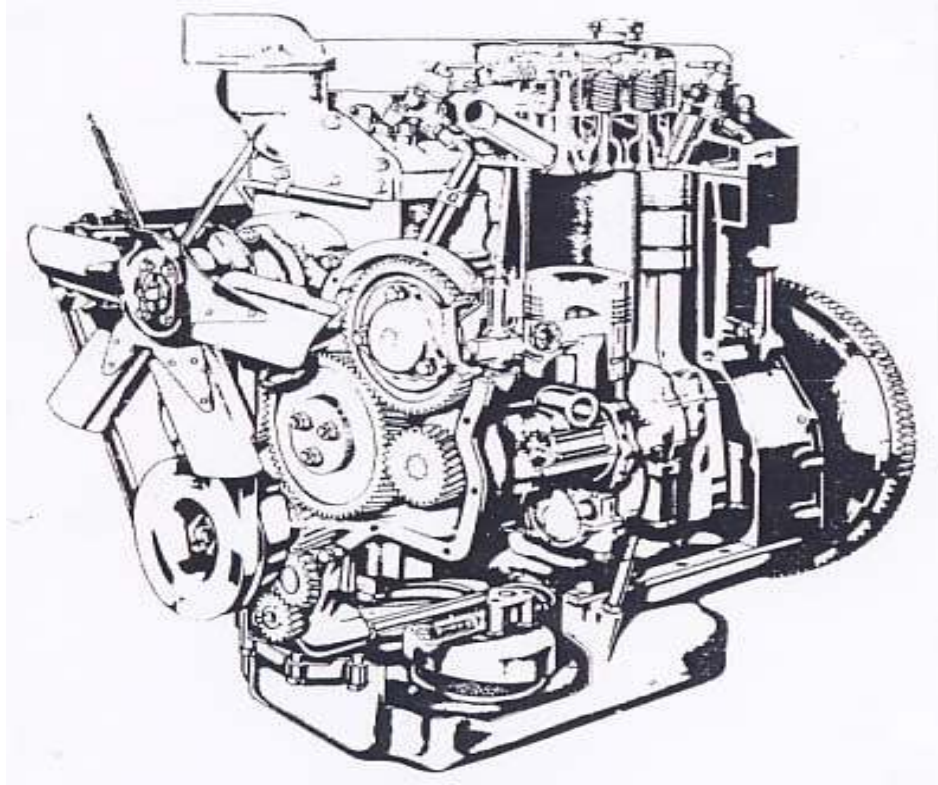
Pada saat torak hampir mencapai TMA, campuran bahan bakar-udara itu segera dinyalakan, terjadilah proses pembakaran sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Sementara itu torak masih bergerak ke TMA, berarti volume ruang bakar menjadi semakin kecil, sehingga tekanan dan temperatur gas di dalam silinder menjadi semakin tinggi. Akhirnya torak mencapai TMA dan gas pembakaran mampu mendorong torak untuk bergerak kembali dari TMA ke TMB. Sementara itu baik katup isap maupun katup buang masih dalam keadaan tertutup. Selama torak bergerak dari TMA ke TMB, yang merupakan langkah kerja atau langkah ekspansi volume gas pembakaran di dalam silinder bertambah besar.

- Langkah Buang

Apabila torak telah mencapai TMB, katup buang mulai terbuka sedangkan katup isap tetap tertutup. Torak kembali ke TMA dan mendesak gas pembakaran keluar dari silinder melalui saluran buang setelah langkah buang selesai, siklus dimulai lagi dari langkah isap dan seterusnya.

Suatu siklus dikatakan lengkap apabila ke empat langkah itu terlaksana yaitu langkah isap, langkah tekan, langkah kerja dan langkah buang. Jadi motor 4-langkah adalah motor bakar torak yang melengkapi

siklusnya (dengan satu kali pembakaran) selama dua putaran poros engkol. Kebanyakan motor bakar torak bekerja dengan siklus 4-langkah.

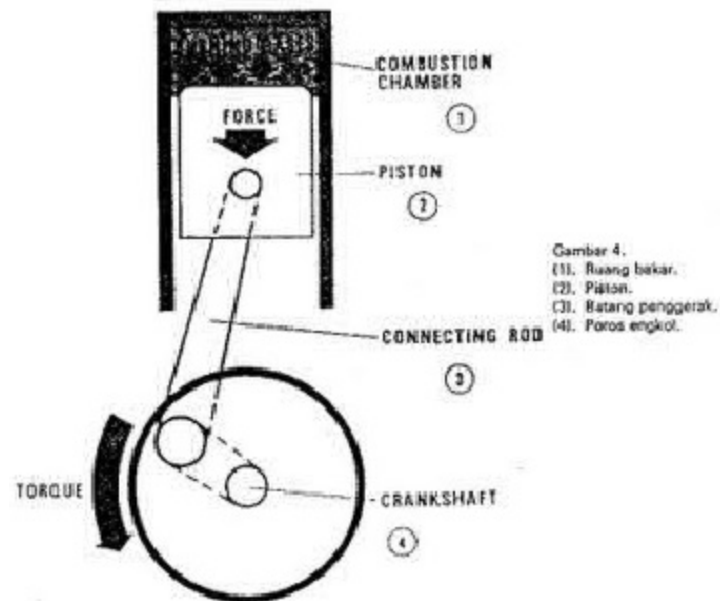


Gambar 2.2 Motor Bakar Torak

2.2.3 Perpindahan panas pada mesin

Panas adalah bentuk tenaga yang dapat berpindah atau mengalir dari suatu zat ke zat yang lainnya, bila kedua benda tersebut memiliki perbedaan temperatur. Panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Perpindahan panas gas melalui dinding atau bagian yang disinggung oleh gas, dan sistem kerja mesin tersebut adalah campuran udara dan bensin dari karburator diisap masuk ke dalam silinder, dimampatkan oleh gerak naik torak, dibakar untuk memperoleh tenaga panas, yang mana dengan terbakarnya gas-gas akan mempertinggi suhu dan tekanan. Bila torak

bergerak turun naik di dalam silinder dan menerima tekanan tinggi akibat pembakaran, maka suatu tenaga kerja pada torak memungkinkan torak terdorong ke bawah. Bila batang torak dan poros engkol dilengkapi untuk merubah gerakan turun naik menjadi gerakan putar, torak akan menggerakkan batang torak dan yang mana ini akan memutar poros engkol. Dan juga diperlukan untuk membuang gas-gas sisa pembakaran dan penyediaan campuran udara bensin pada saat-saat yang tepat untuk menjaga agar torak dapat bergerak secara periodik dan melakukan kerja tetap.



Gambar 2.3 sistem kerja mesin

Kerja periodik di dalam silinder dimulai dari pemasukan campuran udara dan bensin ke dalam silinder, sampai pada kompresi, pembakaran dan pengeluaran gas-gas sisa pembakaran dari dalam silinder inilah yang disebut dengan “siklus mesin”. Dan sebab itu panas mengalir ke

dinding kemudian dilanjutkan sampai ke zat pendingin. Panas yang diterima oleh zat pendingin itu selanjutnya dikeluarkan dari sistem pendingin. Pada langkah pengisian dan pada awal kompresi, sebagian dari panas dinding tadi di kembalikan pada gas sampai temperatur mencapai keseimbangan.

Perpindahan panas selama proses pembakaran dan ekspansi tadi merupakan salah satu aspek kerugian panas. Kerugian panas yang diserap oleh dinding silinder selama langkah kompresi yang pertama, secara praktis sama dengan jumlah panas yang diserap pada panas yang diserap pada langkah kompresi berikutnya. Atau dengan kata lain, panas yang diterima sama dengan panas yang dipindahkan. Faktor-faktor penting yang mempengaruhi besar kerugian panas kedinding silinder terutama tergantung pada:

1. Lama waktu pembakaran berlangsung
2. Bentuk ruang bakar dan ukuran silinder
3. Temperatur pembakaran yang teratur pada jenis pembakaran,
Perbandingan kompresi dan beban motor.
4. Kecepatan motor dan pada saat penyalaan muatan

Perpindahan panas secara konveksi terjadi oleh adanya perpindahan massa yang panas dari tempat yang bertemperatur tinggi. Perpindahan panas tersebut dapat berlangsung secara paksa (dengan menggunakan pompa) atau secara bebas (oleh adanya perbedaan berat jenis). Sistem pendingin motor khususnya mobil menggunakan gabungan dari ketiga cara perpindahan panas tersebut, yaitu:

a. Radiasi

Contoh: Panas dari mesin akan memancar disekeliling ruang mesin, jadi perambatan panas secara langsung walaupun tanpa media panas bias merambat.

b. Konduksi

Contoh: Perpindahan panas dari dinding silinder bagian dalam ke dinding silinder bagian luar.

c. Konveksi

Contoh: Perpindahan panas dari gas pembakaran ke dinding silinder bagian dalam dan perpindahan panas dari dinding silinder bagian luar ke air dalam mantel air.

2.2.4 Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah suatu mekanisme perubahan energi dalam dari suatu benda ke benda yang lain, yang disebabkan karena adanya gerakan random dari molekul. Bagian yang temperatur lebih besar akan memiliki energi molekul yang lebih besar dan jika antara molekul yang berdekatan saling bertabrakan secara terus menerus, maka akan terjadi perpindahan energi dari benda yang memiliki energi lebih besar ke benda yang memiliki energi lebih kecil, jadi aliran energi atau panas bermula dari bagian yang temperatur lebih tinggi ke bagian yang bertemperatur lebih rendah.

Kecepatan perpindahan panas konduksi yang sesuai dengan hukum fourier untuk bidang satu dimensi yang memiliki distribusi temperatur $T(x)$, dinyatakan sebagai berikut:

$$q = k \cdot A \frac{dt}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

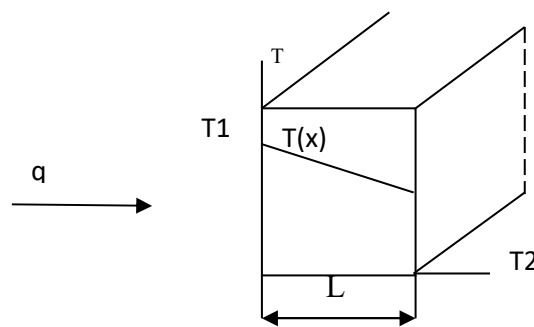
Dimana:

q = Laju perpindahan panas persatuan luas (*heat flux*) BTU/ft²

dt / dx = Gardien temperatur °F

k = Konduktivitas bahan BTU / ft °F

A = Luas perpindahan panas, ft²



Gambar 2.4 Perpindahan panas satu dimensi

Jika distribusi temperatur sepanjang L seperti gambar diatas adalah linier maka laju pepindahan panas dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T2-T1}{L} \dots\dots\dots (2)$$

$$q = \frac{-k(T2-T1)}{L} \dots\dots\dots (3)$$

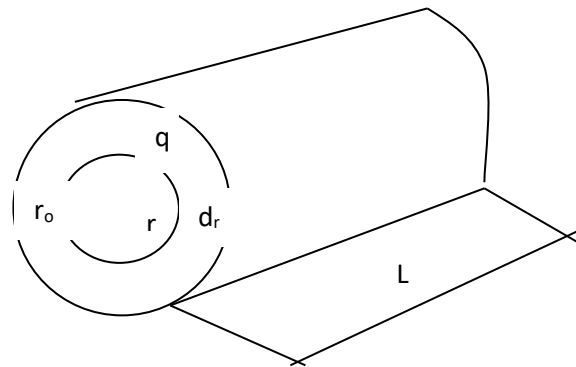
$$q = k \frac{(T2-T1)}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (4)$$

Tanda minus (-) pada persamaan diatas adalah merupakan kenyataan bahwa panas akan berpindah searah dengan penurunan temperatur.

Sistem Radial Silinde Suatu silinder panjang dengan jari-jari dalam r_i dan jari-jari r_o panjang L seperti pada gambar dibawah. Silinder ini mengalami beda suhu T_i-T_o dan untuk silinder yang sangat panjang ukurannya dibandingkan dengan diameternya, dapat diandaikan bahwa aliran kalor berlansung menurut arah radial sehingga kordinat ruang yang diperlukan untuk menentukan sistem itu hanyalah r , hukum fourier digunakan lagi dengan menyisipkan rumus luas yang sesuai.

Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder:

$$A = 2.\pi.r.L \dots\dots\dots (5)$$



Sehingga hukum fourier menjadi:

$$q = -k.A \frac{dt}{dr} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Atau } qr = -2.\pi.k.r.L.\frac{dt}{dr} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan kondisi batas $T = T_i$ pada $r = r_i$

$T = T_o$ pada $r = r_o$

Penyelesaian pers:

$$q = \frac{-2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln(r_o/r_i)} \dots\dots\dots (8)$$

Dan tahanan thermal:

$$R_{th} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} \dots\dots\dots (9)$$

dimana: T_o = Suhu silinder bagian luar ($^{\circ}F$)

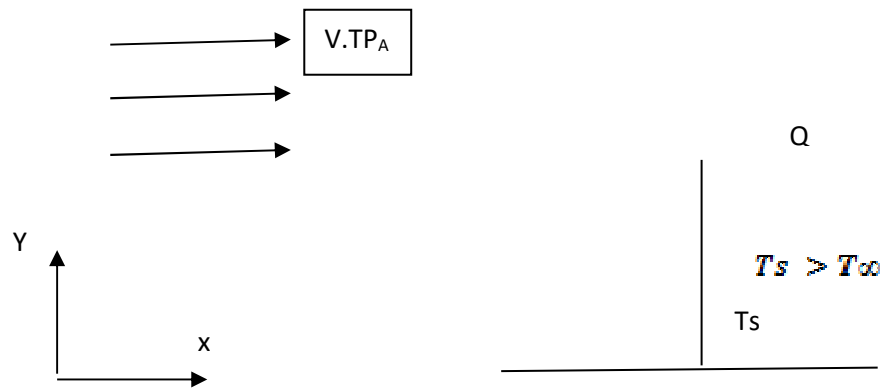
T_i = Suhu silinder bagian dalam ($^{\circ}F$)

r_o = Jari – jari bagian luar (mm)

r_i = Jari – jari bagian dalam (mm)

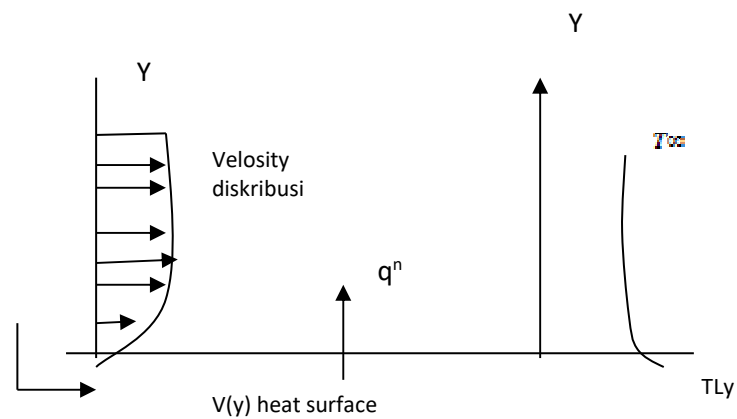
2.2.5 Perpindahan panas konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh dua mekanisme. Disamping perpindahan energi yang disebabkan gerakan acak molekul, juga disebabkan gerakan makroskopik fluida atau olakan (*bulk motion*), hal ini terjadi antara suatu permukaan dengan fluida yang bergerak apabila terjadi perbedaan temperatur

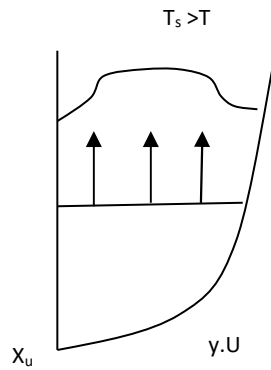


Gambar 2.5 Konveksi dari permukaan ke fluida yang bergerak

Perpindahan panas konveksi dikontrol oleh difusi dan gerakan fluida, difusi terjadi pada pertemuan antara fluida dan permukaan material, $y = 0$. sedangkan untuk daerah Y lebih besar dari pada $Y = 0$ ($y > 0$) konveksi di kontrol oleh gerakan makroskopik atau olakan dari fluida. Ditinjau dari gerakan fluida, perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi 2 yaitu:



Gambar 2.6 Perpindahan panas konveksi paksa



Gambar 2.7 Perpindahan panas konveksi bebas (alamiah)

Disebut konveksi paksa (*force convection*) apabila aliran yang terjadi yang ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor dan lain-lain sedangkan konveksi bebas (*free Convection*) atau disebut juga konveksi alamiah (*Natural Convection*) adalah apabila aliran fluida yang terjadi semata-mata karena adanya beda masa jenis dari fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur.

Laju perpindahan panas konveksi yang sesuai dengan hukum pendingin newton adalah:

$$q = h \cdot (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (10)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas konveksi persatuan luas permukaan
(BTU/ft²)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (BTU/h.ft² °F)

T_s = Temperatur permukaan (°F)

T_∞ = Temperatur fluida (°F)

2.2.6 Konveksi Paksa di Dalam Pipa

Pemanasan serta pendinginan fluida yang mengalir di dalam saluran merupakan satu diantara perpindahan panas yang terpenting dalam perancangan. Bila koefisien perpindahan panas untuk geometri tertentu serta kondisi aliran yang telah ditetapkan diketahui, maka perpindahan panas pada beda suhu dapat dihitung dengan persamaan:

$$q = hc A (T_{permukaan} - T_{fluida}) \dots \dots \dots$$

Suhu curahan fluida sebagai acuan memungkinkan kita menuliskan keseimbangan secara mudah, karena dalam keadaan *steady*. Perbedaan antara suhu curahan rata – rata pada dua penampang suatu saluran merupakan tolak ukur laju perpindahan panas:

$$q = mc_p \Delta t_b \dots \dots \dots$$

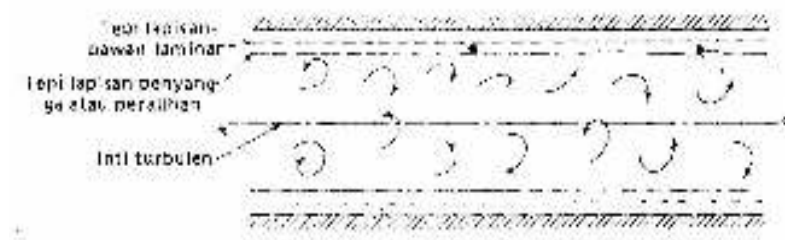
$$q = \text{laju perpindahan panas ke fluida (Btu / h)}$$

$$m = \text{laju aliran (lbm / h)}$$

$$c_p = \text{panas jenis pada tekanan konstan (Btu / lbm F)}$$

$$\Delta t_b = \text{beda suhu curahan antara penampang-penampang yang bersangkutan.}$$

Penjelasan kualitatif mengenai perilaku fluida dapat diberikan dengan mengamati medan aliran fluida yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Pola aliran fluida yang mengalir melalui sebuah pipa

Pada saluran aliran fluida sepenuhnya turbulen kecuali dalam suatu lapisan yang tipis yang berbatasan dengan dinding. Tanda panah berbentuk lingkaran adalah aliran turbulen yang menyapu tepi lapisan laminar. Pusaran itu mencampur fluida yang lebih panas dan yang lebih dingin lebih efektif, sehingga panas berpindah secara cepat antara tepi lapisan batas laminar dan fluida yang turbulen. Tahanan thermal lapisan laminar mengendalikan laju perpindahan panas, sebaliknya medan aliran turbulensi memberikan tahanan yang kecil terhadap aliran panas. Cara yang efektif yang dapat ditempuh ialah dengan menaikkan koefisien perpindahan panas dan mengurangi tahanan thermal lapisan batas laminar.

Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan turbulensi di dalam aliran utama sehingga pusaran turbulen dapat menembus jauh ke dalam lapisan laminar. Kenaikan turbulensi di satu sisi juga mengakibatkan kerugian energy yang besar dalam peningkatan tekanan gesek fluida dalam saluran, sehingga dibutuhkan kecepatan aliran fluida relatif tinggi yang akan menghasilkan koefisien perpindahan panas yang tinggi pula

2.2.7 Perpindahan panas radiasi

Adalah perpindahan panas yang terjadi tanpa melalui media perantara atau dapat merambat pada ruang hampa udara. Perbedaan panas

ini terjadi karena adanya pancaran energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik antara dua permukaan yang berbeda temperatur. Steven Boltman telah menyatakan besarnya radiasi yang dapat dipancarkan oleh suatu permukaan adalah:

$$q = \sigma \cdot (T_s)^4 \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

q = Panas radiasi persatuan luas permukaan Btu / h ft²

σ = Konstanta boltzman = $5,67 \cdot 10^{-8}$ Btu /h.ft² .⁰R⁴

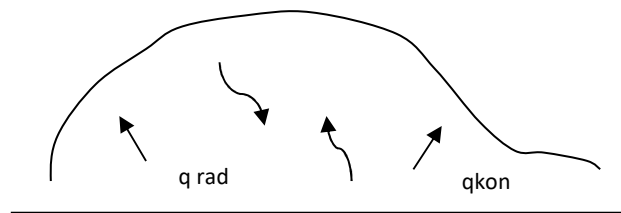
T_s = Temperatur permukaan ⁰F

Fluks panas yang diemisikan ke sebuah permukaan nyata atau rili adalah lebih kecil dari permukaan radiator ideal dan diberikan sebagai:

$$q = \epsilon \cdot \sigma (T_s)^4 \dots \dots \dots (12)$$

Dimana:

ϵ = Efisitas atau radiatif permukaan



Gambar 2.9 Radiasi Antara permukaan dengan sekeliling

Radiasi panas yang terjadi antara suatu permukaan dengan sekeliling (*surrounding*) yang dipisahkan oleh suatu gas yang tidak mempunyai efek terhadap perpindahan panas radiasi sering di jumpai dalam praktek dan besarnya adalah:

$$q = \epsilon \cdot A \cdot \sigma (T_s^4 - T_s^4 \text{sur}^4) \dots \dots \dots (13)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas radiasi (Btu /h)

A = Luas permukaan (ft²)

T_{sur} = Temperatur sekeliling (°F)

2.2.8 Perpindahan panas gabungan

Didalam praktek, perpindahan panas terjadi secara gabungan antara konveksi dengan konduksi, konveksi dengan radiasi atau gabungan antara ketiga mekanisme tersebut. Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi akan lebih mudah ditentukan jika menggunakan metode Thermal resisten (R_t). Metode ini ditentukan dengan perpindahan muatan listrik. Dengan demikian tahanan thermal untuk konduksi satu dimensi pada plat datar dinyatakan sebagai:

$$R_t \text{ kond} = \frac{(T_{w_1} - T_{w_2})}{q} = \frac{L}{kA} \dots\dots\dots (14)$$

Hal yang sama juga berlaku pada konveksi:

$$R_t \text{ konv} = \frac{(T_w - T_{\infty})}{q} = \frac{1}{hA} \dots\dots\dots (15)$$

Untuk plat datar satu dimensi, maka perpindahan panas gabungan konduksi dan konveksi adalah:

$$q = \frac{(T_{\infty_1} - T_{\infty_2})}{R_{tot}} \dots\dots\dots (16)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana:

R_{tot} = Total tahanan thermal

$T_{\infty 1}$ = Temperatur fluida 1 $^{\circ}\text{F}$

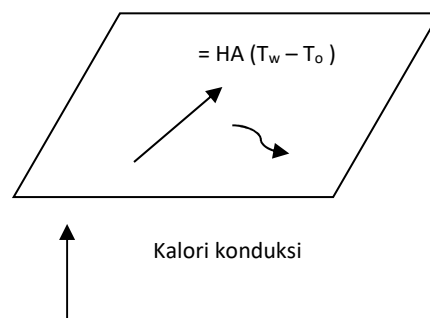
$T_{\infty 2}$ = Temperatur fluida 2 $^{\circ}\text{F}$

h_1 = Koefesien konveksi fluida 1 ($\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$)

h_2 = koefesien konveksi fluida 2 ($\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F}$)

k = konduktifitas thermal ($\text{Btu} / \text{h} \cdot \text{ft} \text{ } ^{\circ}\text{F}$)

A = Luas permukaan perpindahan panas (ft^2)



Gambar 2.10 Perpindahan panas gabungan antara konduksi, konveksi, radiasi

II.2.9 Penukar Panas

Penukar ialah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida yang lainnya. Jenis dari penukar panas secara umum ialah:

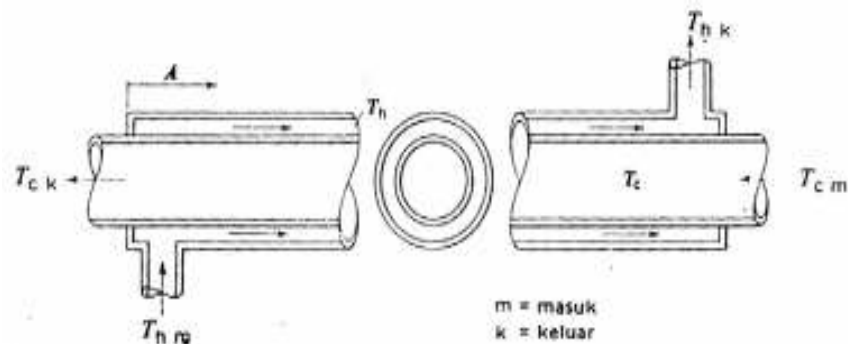
1. Penukar panas yang menggunakan pencampuran fluida secara langsung
 - Pemanas air pengisi ketel terbuka (*Open feed-water heater*)
 - Pemanas lanjut (*de-super heater*)
 - Kondensor jet (*Jet condenser*)

2. Penukar panas dimana suatu fluida terpisah dengan fluida yang lainnya melalui suatu dinding atau sekat atau biasa disebut dengan *recuperator*

- Kondensor (*condenser*)

- Alat penguapan (*Evaporator*)

Penukar panas jenis ini juga termasuk didalamnya terdapat suatu medan luas penukar panas cangkang dan pipa (*shell and tube*) biasa. Tipe penukar panas yang paling sederhana ialah terdiri dari sebuah pipa konsentrik didalam pipa lainnya yang merupakan cangkang untuk susunan ini, salah satu fluida mengalir melalui pipa dalamnya sedangkan fluida yang lainnya mengalir melalui cincin yang berbentuk diantara pipa dalam dan pipa luar.

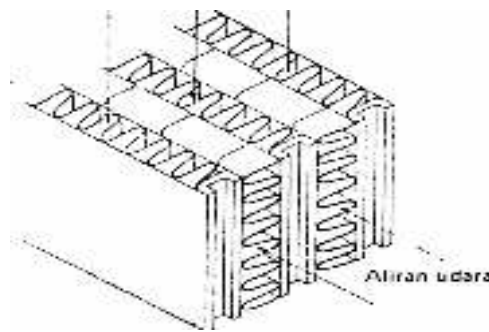


Gambar 2.11 Penukar panas *counter flow* pipa dalam pipa yang sederhana

Kedua aliran fluida ketika melintasi penukar panas hanya sekali sehingga disebut susunan penukar panas satu lintas (*single pass*). Penukar panas jenis ini mempunyai berbagai variasi aliran yaitu:

- Penukar panas aliran searah (*parallel flow*)
- Penukar panas aliran berlawanan (*counter flow*)
- Penukar panas aliran lintang / saling tegak lurus (*cross flow*)

Untuk penukar panas jenis *cross flow* terdapat jenis penukar panas dimana fluida yang bekerja didalamnya tidak bercampur (*unmixed*) sewaktu melintasi penukar panas tersebut yang mengakibatkan suhu fluida yang meninggalkan penampang pemanas tidak seragam, pada satu sisi lebih panas dari sisi yang lainnya. Pemanas bertipe pelat datar merupakan jenis penukar panas seperti yang telah diuraikan di atas. Tipe penukar panas ini banyak digunakan pada mekanisme *heat changer* radiator kendaraan.



Gambar 2.12 Penukar panas tipe pelat datar jenis aliran lintang dengan kedua fluida tak bercampur (*unmixed*)

2.2.10 Fungsi Pendingin

Panas akibat pembakaran yang berlebihan akan mengakibatkan komponen mesin yang berhubungan dengan panas pembakaran akan mengalami kenaikan temperatur yang berlebihan (*over heating*). Komponen-komponen mesin seperti torak dengan dinding silinder menjadi macet, dan kepala silinder akan menjadiretak, untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sistem pendinginan.

Fungsi sistem pendinginan dapat dibagi menjadi empat yaitu:

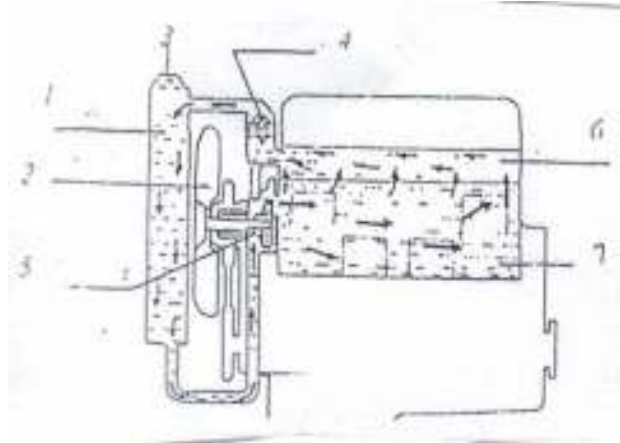
1. Mengurangi panas pada motor. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dengan udara dapat mencapai temperatur sekita

2500°C panas yang cukup tinggi ini dapat melelehkan logam atau bagian lain yang digunakan pada motor untuk menjamin kerja motor itu sendiri. Apabila motor tidak dilengkapi dengan sistem pendinginan dapat merusakkan bagian - bagian dari motor tersebut.

2. Mempertahankan temperatur motor agar selalu pada temperatur kerja yang paling efisien.
3. Mempercepat motor mencapai temperatur kerjanya, karena untuk mencegah terjadinya keausan dan emisi gas buang yang berlebihan.
4. Memanaskan ruangan di dalam ruang penumpang, pada negara-negara yang mengalami musim dingin.

2.2.11 Jenis Sistem Pendingin

Sistem pendinginan yang digunakan pada Mesin Mesin Toyota Kijang 4K adalah sistem pendingin air sistem tekan. Gambar dibawah merupakan system pendinginan Mesin Toyota Kijang 4K. Pada sistem ini di dalam mesin terdapat mantel pendingin (*water jacket*) yang menyelubungi silinder mesin dan kepala silinder. Mantel pendingin berhubungan dengan radiator yang dipasang didepan mesin. Air yang telah panas di dalam mantel dialirkan ke radiator untuk didinginkan. Pendinginan ini dipercepat dengan udara yang mengalir melalui kisikisi radiator, sedang tarikan udara dilakukan oleh kipas yang digerakkan mesin. Sirkulasi air pendingin dilakukan oleh pompa air



Gambar 2.13 sistem pendingin

Keterangan:

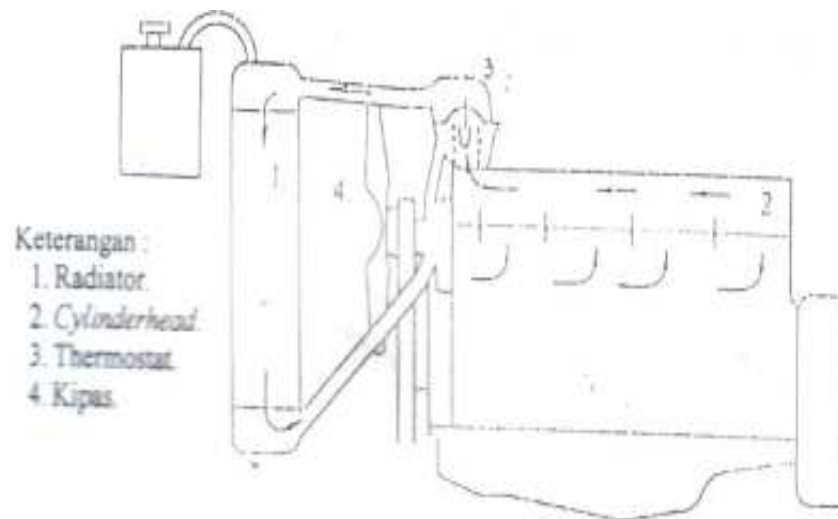
1. Radiator
2. Kipas
3. Tutup Radiator
4. Thermostat
5. Pompa Air
6. Mantel Air

Sistem pendinginan tekan ini merupakan penyempurnaan sistem *thermosyphon* atau sirkulasi alam, dimana air pendingin akan mengalir dengan sendirinya yang diakibatkan oleh perbedaan berat jenis dari yang telah panas dan yang masih dingin, dimana air yang telah panas berat jenisnya lebih rendah jika dibandingkan dengan air yang masih dingin.

2.2.12 Prinsip Kerja Sistem Pendinginan Toyota Kijang 4K

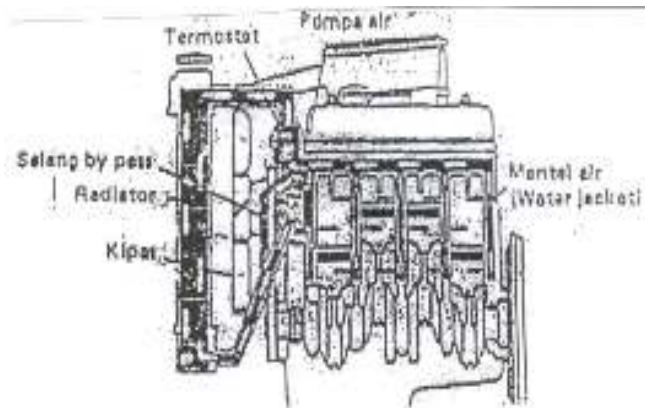
Air pendingin yang masih dingin ditampung didalam radiator, setelah mesin dihidupkan dan suhu naik, air pendingin tersebut dipompa

menuju ke *cylinder head*. Air pendingin yang telah panas sekitar 82°C akan membuka katup thermostat, dan mengalirkan air pendingin yang telah panas tersebut ke radiator untuk didinginkan kembali. Pendingin radiator dibantu oleh isapan angin dari kipas pendingin yang berputar. Proses pendinginan ini akan berlangsung pada saat mesin hidup. Pompa air yang digunakan adalah tipe sentrifugal yang dipasang pada bagian depan blok silinder. Pada poros pompa terdapat puli kipas udara yang digerakkan oleh poros engkol melalui tali kipas udara.



Gambar 2.15 Aliran air pendingin

2.2.13 Kontruksi Sistem Pendinginan Toyota Kijang 4K



Gambar 2.15 kontruksi sistem pendingin

Keteranga:

1. Radiator
2. Kipas
3. Thermostat
4. Pompa Air
5. Selang Bypass
6. Mantel Air

Konstruksi sistem pendinginan Mesin Toyota Kijang 4K terdiri dari beberapa komponen:

2.2.13.1 Radiator

Radiator berfungsi sebagai alat untuk mendinginkan air pendingin dengan memanfaatkan udara luar yang mengalir di sela-sela radiator. Air dari radiator tersebut dikirim ke bagian yang didinginkan melalui selang radiator, baik dari radiator ke blok silinder ataupun dari blok silinder ke radiator. Konstruksi radiator terdiri dari:

- a. Tangki Atas

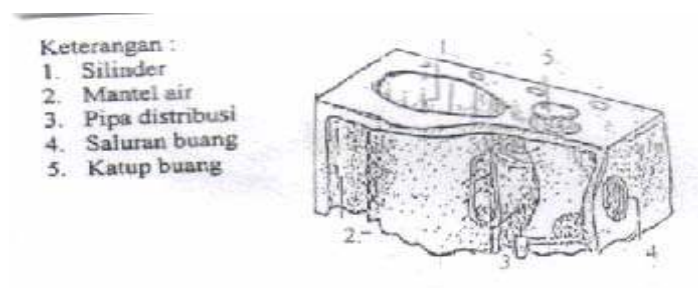
Tangki atas berfungsi untuk menampung air yang telah panas dari mesin. Tangki ini juga dilengkapi dengan lubang pengisian, pipa pembuangan dan saluran masuk air dari mesin.

b. Inti Radiator

Inti radiator berfungsi untuk membuang panas dari air ke udara agar temperatur menjadi lebih rendah dari sebelumnya. Inti radiator terdiri dari pipa-pipa air untuk mengalirkan air dari tangki bawah dan sirip-sirip pendingin untuk membuang panas air yang ada pada pipa. Disalurkan ke mesin melalui pompa air.

2.2.13.2 Mantel pendingin

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



Gambar 2.16 silinder motor dengan mantel pendingin

2.2.13.3 Cairan anti beku (*Coolant*)

Coolant adalah suatu sarana atau media pendingin yang digunakan untuk menyerap panas dari mesin. *Coolant* adalah suatu cairan yang mengandung zat kimia yang digunakan untuk campuran pendingin air yang bahan dasarnya *ethylene glycol*. *Ethylene glycol* adalah bahan kimia yang sangat beracun. Bahan ini akan sangat membayakan manusia ketika masuk ke dalam organ tubuh sekitar 710 mg/kg berat badan. Sistem pendinginan air, dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

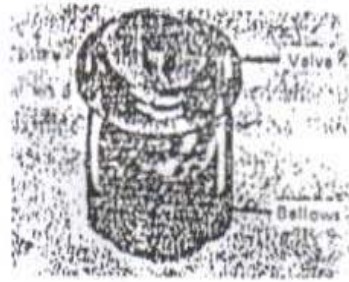
1. Pendinginan yang menggunakan air murni,
 2. Pendinginan yang menggunakan air ditambah zat kimia (*coolant*)
- Sistem pendinginan yang menggunakan air murni mempunyai beberapa kelemahan, yaitu:
- a) Saat suhu dingin terutama pada pagi hari, air dapat membeku, sehingga menyebabkan sirkulasi air pendingin menjadi lebih sulit. Apabila hal ini berlangsung lama, maka pendinginan mesin menjadi tidak lancar dan menyebabkan mesin menjadi panas berlebihan (*overheating*).
 - b) Kadar air yang mengandung kapur, sehingga dapat menyebabkan terjadinya endapan di dalam pipa-pipa radiator. Hal ini akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pipa-pipa radiator sehingga sirkulasi air pendingin di dalam pipa radiator menjadi tidak lancar.
 - c) Air di dalam radiator akan menimbulkan endapan-endapan kotoran yang semakin lama semakin banyak dan akan mengakibatkan terjadinya korosi atau karat pada komponen-komponen sistem

pendingin, misalnya pipa-pipa inti radiator dan *water jacket*, sehingga komponen-komponen sistem pendingin mudah mengalami kerusakan.

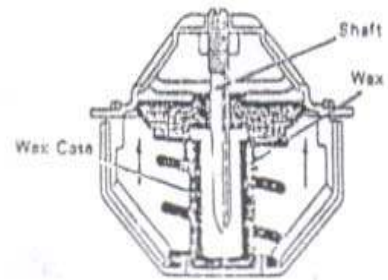
Proses pendinginan dengan menggunakan *coolant* saat ini banyak digunakan karena pendinginan dengan *coolant* lebih efektif dan mudah didapatkan. Selain itu sistem pendinginan dengan menggunakan *coolant* dirasakan lebih baik jika dibanding dengan pendingin air murni. Peranan *coolant* adalah untuk mencegah panas berlebih, mencegah pembekuan air pendingin, korosi komponen sistem pendingin agar air pendingin mampu bertahan selama satu tahun, dan sebagai langkah preventif agar system pendingin selalu bekerja optimal dalam jangka waktu yang panjang.

2.2.13.4 Thermostat

Thermostat dipasang pada blok silinder bagian atas dengan sambungan selang. Thermostat bekerja pada suhu yang kurang dari 80°C . dan pada suhu tersebut thermostat membuka, sehingga air hanya beredar disekeliling blok silinder tidak sampai ke radiator. Dengan demikian suhu mesin dapat dikendalikan dan ini merupakan fungsi thermostat sebagai pengendali suhu mesin. Jenis thermostat yang digunakan adalah tipe *wax pellet*. Tipe *Wax Pellet* ini adalah semacam lilin yang dapat mengembang pada saat panas dan akan menyusut pada waktu dingin.



Gambar 1-97 Termostat tipe bellow

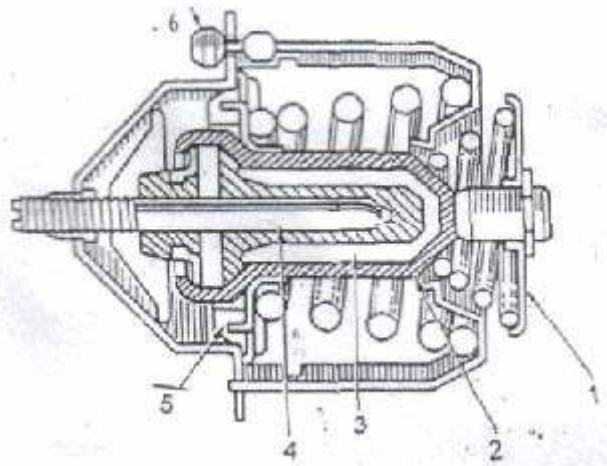


Gambar 1-98 Termostat tipe wax

Gambar 2.17 Macam-macam thermostat

Keterangan :

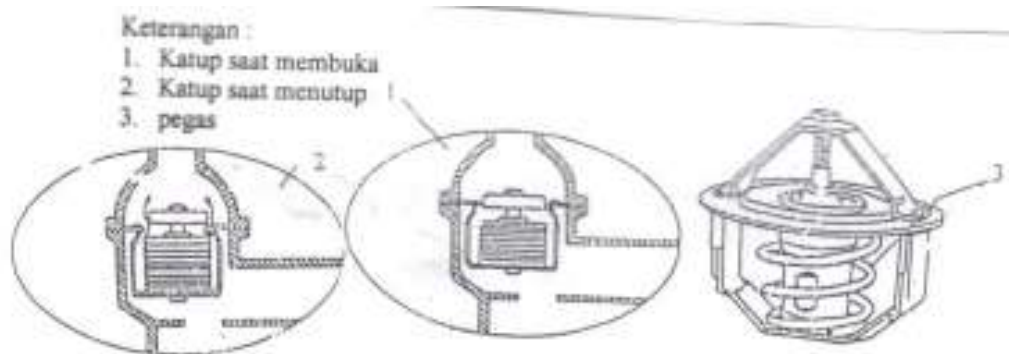
1. Bypass valve
2. Cylinder
3. Wax
4. Piston
5. Valve
6. Jingle



Gambar 2.18 Thermostat

Cara kerja:

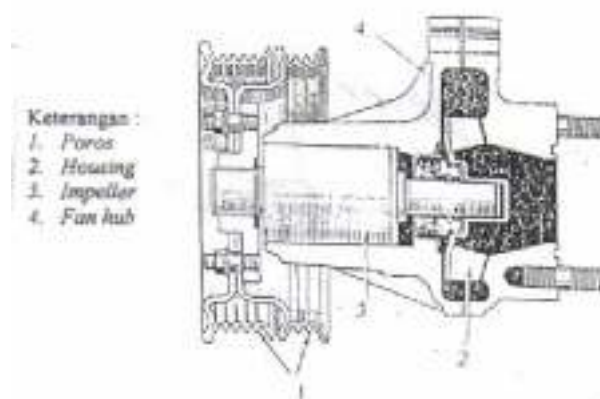
Pada saat air pendingin panas lilin atau *Wax Pellet* yang ada didalam *thermostat* akan memuai dan mendorong katup untuk membuka (1). Hal ini disebabkan karena pemuai lilin tersebut mampu menekan tahanan pegas (3), *thermostat* pada saat temperatur air pendingin telah dingin, maka lilin di dalam *thermostat* akan menyusut, sehingga pegas di dalam *thermostat* akan mendorong katup *thermostat* untuk menutup kembali (2).



Gambar 2.19 Cara kerja Termostat

2.2.13.5 Pompa air

Pompa air berfungsi untuk mensirkulasi air pendingin dari radiator ke silinder mesin. Pompa air yang digunakan adalah pompa tipe sentrifugal yang akan dipasang pada bagian depan blok silinder. Gerak putar pompa diperoleh dari putaran poros engkol melalui tali kipas. Pada pemasangannya dengan kepala silinder, pompa ini dilengkapi dengan gasket yang berguna untuk mencegah terjadinya kebocoran air pendingin.



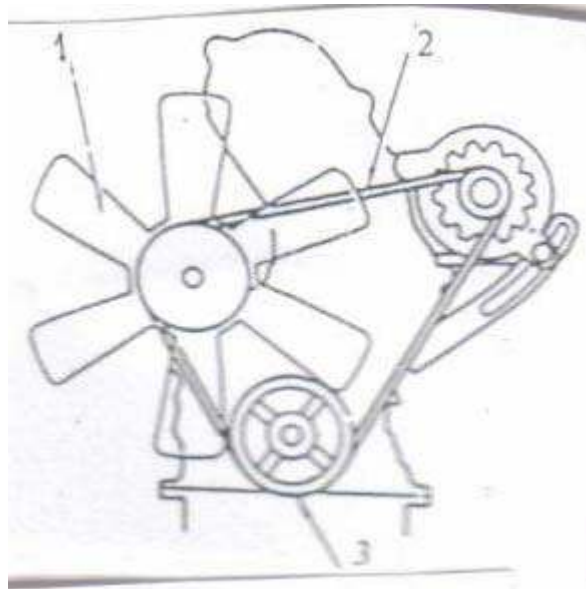
Gambar 2.20 Pompa air dingin

2.2.13.6 Kipas pendingin

Perkembangan sistem penggerak kipas pada mesin ada 3 macam yaitu:

1. Penggerak kipas digerakkan langsung dengan poros engkol
2. Penggerak kipas model kopling
3. Penggerak kipas model elektrik fan

Kipas pada sistem pendinginan berfungsi untuk mengalirkan udara pada inti radiator agar panas yang terdapat pada inti radiator dapat dirambatkan dengan mudah ke udara. Gerakan kipas diperoleh dari poros engkol bersamaan dengan berputarnya pompa. Tujuan pemasangan kipas adalah untuk mempercepat pendinginan air di dalam radiator dengan jalan memperbanyak udara yang mengalir melalui radiator terutama pada saat mobil berjalan lambat. Pada saat berjalan cepat aliran udara akibat jalanya mobil sudah cukup untuk mendinginkan air di dalam radiator. Jumlah daun kipas, besar dan kemiringannya akan mempengaruhi jumlah udara yang mengalir akibat putaran kipas tersebut.



Gambar 2.21 Kipas pendingin

Keterangan:

1. Kipas
2. Sabuk
3. *Pully* poros engkol

2.2.13.7 Tutup radiator

Pada umumnya radiator dilengkapi dengan tutup radiator (*radiator cap*) yang bertekanan dan menutup rapat pada radiator. Ini memungkinkan naiknya temperatur pendingin 100°C tanpa terjadi mendidih. Penggunaan tutup radiator yang bertekanan (*pressure cap*) diutamakan sebab efek pendinginan radiator bertambah dan membuat perbedaan suhu antara udara luar dan cairan pendingin. Ini berarti ukuran radiator dapat berkurang (menjadi tipis) tanpa mengurangi pendinginan yang diperlukan. Tutup radiator berfungsi menaikkan titik didih *coolant* dengan jalan menahan ekspansi dari air pada saat air menjadi panas sehingga tekanan air menjadi lebih tinggi dari tekanan udara luar, disamping itu tutup radiator juga berfungsi mempertahankan suhu *coolant* didalam sistem agar tetap stabil walaupun mesin dalam keadaan dingin atau panas.

2.2.13.8 Tangki cadangan

Tangki cadangan (*reservoir tank*) dihubungkan ke radiator dengan selang *overflow* apabila volume cairan pendingin berekspansi disebabkan naiknya temperatur maka cairan pendingin yang ada di dalam tangki cadangan akan kembali ke radiator. Hal ini untuk mencegah terbuangnya cairan pendingin saat diperlukan agar jumlahnya tetap.

2.2.13.9 Pipa-pipa saluran

Pipa-pipa yang menghubungkan komponen-komponen pada sistem pendingin terbuat dari karet agar dapat menyerap getaran dan mudah memasang atau melepas. Pipa bagian atas disebut pipa *outlet* dan pipa bagian bawah disebut pipa *inlet*. Sistem pendinginan sangat berpengaruh pada kondisi mesin, yaitu untuk mengendalikan suhu mesin, kalau suhu mesin dalam suhu kerja, mesin dapat hidup dalam waktu yang lama. Tetapi jika sistem tidak berfungsi dengan baik, maka akan menyebabkan *overheating*

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam melakukan penelitian, kita dapat menggunakan bermacam-macam metode, sehingga rancangan penelitiannya juga bermacam-macam. Pengambilan keputusan mengenai rancangan apa yang akan diteliti, dan berbagai alternatif yang akan digunakan. Dalam tugas akhir ini penulis memilih jenis *Penelitian Experimental Nyata (True Experimental Research.)*

Dipilihnya jenis penelitian ini karena sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan. Yaitu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perpindahan kalor terhadap putaran mesin dalam sistem pendingin pada mobil Toyota kijang 4k diantara faktor dan variabel-variabel yang ada.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Jenis mesin yang digunakan

Jenis mesin yang dipakai dalam penelitian ini adalah Toyota Kijang dalam kondisi standart dengan spesifikasi mesin sebagai berikut:

Merk Motor	: Toyota
Tipe Motor	: 4K – Over Head Valve (OVH)
Volume Motor	: 1300 cc
Diameter silinder	: 75 mm
Panjang langkah	: 73 mm

Jumlah Silinder	: 4 (Empat)
Rasio Langkah	: 9,5 : 1
Tekanan Kompresi	: 11kg/cm ² pada 250 rpm
Tekanan Maksimum	: 50 ps pada 4800 rpm
Daya maksimum	: 80 ps pada 4500 rpm
Torsi maksimum	: 14,3 kgm pada 2800 rpm
Urutan Pengapian	: 1-3-4-2
Bahan Bakar	: Premium

3.2.2 Data mesin pendingin

Radiator	: ADR Radiator
Diameter Kipas	: 30 cm
Daun Kipas	: 4 buah

3.2.3 Alat bantu

a. Tacohmeter

Merupakan alat untuk mengetahui putaran mesin yang terjadi pada poros output. Besaran putaran mesin dapat langsung dibaca pada skala pengukur, satuannya adalah RPM (Rotation per minute).

b. Thermometer

Thermometer digunakan untuk mengukur temperature air pendingin, ini dipasang pada aliran masuk dan keluar pada selang radiator, dengan spesifikasi:

- Jenis Thermometer : Raksa
- Jangkauan Skala : 0° sampai dengan 200°

3.3 Pelaksanaan Percobaan

3.3.1 Persiapan Pengujian

- a. Mempersiapkan mesin uji beserta perlengkapan
- b. Mengisi bahan bakar dan mengecek air pendingin pada radiator
- c. Pastikan bahwa kondisi kerja mesin normal dengan cara menghidupkan mesin dan melakukan pemanasan awal
- d. Siapkan lembar pengamatan secukupnya

3.3.2 Metode Pengambilan Data

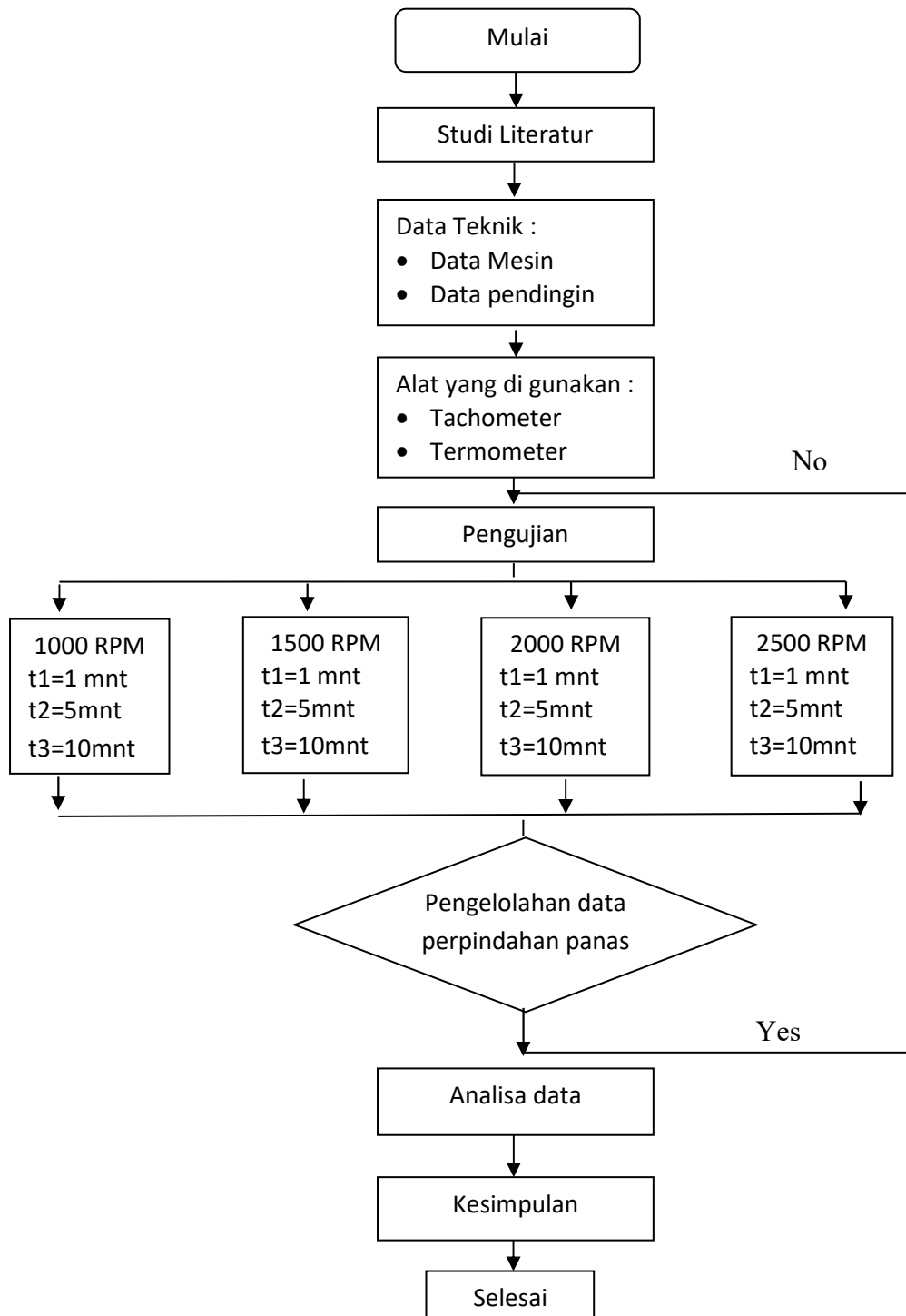
Penelitian ini akan mencari pengaruh putaran mesin terhadap perpindahan kalor dalam sistem pendingin mobil. Penelitian ini menggunakan empat tingkar putaran mesin: 1000, 1500, 2000 dan 2500 rpm, dengan empat kali pengulangan. Oleh karena itu pengujian harus dilakukan dengan cermat dan teliti agar diperoleh data-data yang akurat.

- a. Motor bakar dihidupkan dengan memutar stop kontak pada posisi ON, dan periksa air radiator nya.
- b. Untuk pengambilan data, pertama-tama yang dilakukan memanaskan mesin hingga mesin itu stabil dan kecepatan putaran mesin 700 rpm yang dapat dilihat pada alat pengukur putaran yang berada dalam mobil, mulai mengukur perpindahan

panas menggunakan thermometer pada selang masuk dan keluar pada radiator setelah mendapatkan data pada kecepatan tersebut naikan putaran 1000, 1500, 2000 dan 2500 rpm. Pada setiap putaran mesin dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali dengan waktu 1, 5 dan 10 Menit. Jangan lupa pengambilan data dilakukan pada pertama mesin hidup

- c. Setelah melakukan berbagai perlakuan, maka putaran mesin diturunkan secara perlahan-lahan kemudian putar stop kontak pada posisi OFF

3.3.3 Flow Chart



3.4 Penyajian Data

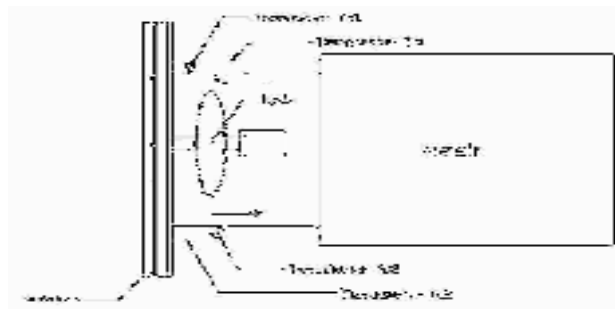
Tabel 3.1 Data Penelitian Perpindahan Kalor 1, 5 dan 10 menit

Perpindahan kalor	Putaran Mesin (Rpm)	ulangan tempetatur (°C)			
		1	2	3	4
Th1	1000				
	1500				
	2000				
	2500				
Th2	1000				
	1500				
	2000				
	2500				
Tc1	1000				
	1500				
	2000				
	2500				
Tc2	1000				
	1500				
	2000				
	2500				

3.5 Rencana Analisa Data

3.5.1 Pembuangan Panas Radiator

Besar pembuangan panas radiator adalah suatu nilai yang menunjukkan besarnya panas pada air radiator yang dapat di buang ke udara.



Persamaan yang dapat dihitung Sesuai dengan dimensi panas konveksi paksa yang dilepas air dapat ditentukan

$$q = m \cdot Cp \cdot (T_{h,in} - T_{h,out}) \dots\dots (w)$$

Sedangkan untuk mencari nilai laju massa alirannya

$$m = \rho \cdot V \cdot A \text{ atau } \rho \cdot Qh \dots\dots (kg/s)$$

Dimana:

q = laju perpindahan panas air (w)

m = laju massa aliran air (kg/s)

ΔT = beda suhu air antara suhu masuk dan suhu keluar ($^{\circ}F$)

V = kecepatan rata-rata air (ft/hr = ft/s)

A = luas penampang yang dialiri air (ft²)

Q_h = Kapasitas aliran air (ltr/min)

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

$T_{h.out}$ = Temperatur saat keluar dari radiato($^{\circ}C$)

Tabel 3.2 Data perpindahan panas pada putaran mesin

No	putaran mesin(RPM)	Debit(Lt/Min)	Th1 ($^{\circ}C$)	Th2 ($^{\circ}C$)	Tc1 ($^{\circ}C$)	Tc2 ($^{\circ}C$)	q (w)
1							
2							
3							
4							
Rata – rata							

3.5.2 Efektifitas radiator (sumber: Holaman J.P 1997)

Untuk mencari nilai efektifitas radiator menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}}$$

Tabel 3.3 Data efektifitas perpindahan panas

No	putaran mesin (rpm)	th1 ($^{\circ}c$)	th2 ($^{\circ}c$)	tc1 ($^{\circ}c$)	tc2 ($^{\circ}c$)	ϵ
1	1000					
2	1500					
3	2000					
4	2500					

Dimana:

ε = nilai efektifitas radiator

T_{h1} = suhu air sebelum masuk ke radiator

T_{h2} = suhu air setelah keluar dari radiator

T_{c1} = suhu udara sebelum menumpuk ke radiator

T_{c2} = suhu udara setelah melewati radiator

BAB IV

ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Percobaan

Dari hasil penelitian yang dilakukan selama 1 menit, diperoleh data-data sebagai berikut:

Gambar 4.1 Tabel perpindahan panas dalam 1menit

Perpindahan kalor	Putaran Mesin (rpm)	Ulangan temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
		1	2	3	4
Th1	1000	70	71	72	71
	1500	70	70	70	71
	2000	70	71	70	70
	2500	75	75	75	74
Th2	1000	64	66	65	66
	1500	66	67	67	66
	2000	68	68	67	68
	2500	70	69	69	69
Tc1	1000	31	31	31	31
	1500	31	30	31	31
	2000	31	31	31	32
	2500	31	30	31	31
Tc2	1000	32	32	32	32
	1500	33	33	34	32
	2000	34	34	33	34
	2500	36	36	36	37

Gamabr 4.2 Tabel perpindahan panas dalam 5menit

Perpindahan kalor	Putaran Mesin (rpm)	Ulangan temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
		1	2	3	4
Th1	1000	72	71	72	72
	1500	75	74	76	75
	2000	81	81	82	81
	2500	85	85	86	85
Th2	1000	64	62	63	63
	1500	70	72	72	71
	2000	76	77	78	77
	2500	75	74	75	74
Tc1	1000	31	31	31	31
	1500	30	31	30	31
	2000	31	32	31	32
	2500	31	32	31	31
Tc2	1000	45	44	44	43
	1500	55	55	56	55
	2000	62	62	62	63
	2500	68	67	67	67

Gambar 4.3 Tabel perpindahan panas dalam 10menit

Perpindahan kalor	Putaran Mesin (rpm)	Ulangan temperature ($^{\circ}\text{C}$)			
		1	2	3	4
Th1	1000	72	71	72	71
	1500	78	79	80	79
Th2	1000	64	63	63	63
	1500	71	73	72	71
	2000	78	79	79	79
Th2	2500	80	80	80	81
	1000	31	31	31	31
	1500	31	31	31	31
Tc1	2000	31	31	31	32
	2500	32	31	31	31
Tc2	1000	53	53	54	53
	1500	56	57	59	57
	2000	65	66	66	66
	2500	74	73	73	

4.2 Perhitungan

4.2.1 Pembuangan panas radiator pada fluida

Data hasil penelitian ini didapatkan dari data hasil eksperimen yang dilakukan oleh penulis. Mesin yang digunakan untuk pengambilan data penelitian ini ialah mesin *Kijang 4k* dengan spesifikasi terlampir. Pengambilan data eksperimen ini dilakukan dengan cara mengukur suhu yang bekerja pada *radiator kijang 4k*.

Dimana:

q = laju perpindahan panas air (W)

m = laju massa aliran air (Kg/s)

V = kecepatan rata-rata air (ft/hr = ft/s)

A = luas penampang yang dialiri air (ft²)

Q_h = debit air yang bersikulasi (Lt/min)

$T_{h.in}$ = Temperatur saat masuk ke radiator(°C)

$T_{h.out}$ = Temperatur saat keluar dari radiator(°C)

Dengan debit air yang telah ditentukan sebagai berikut:

(Sumber: Yudhi Praseto 2007)

1000 rpm = 0,011

1500 rpm = 0,016

2000rpm = 0,024

2500rpm = 0,028

Persamaan yang dapat dihiutng Sesuai dengan dimensi panas konveksi paksa yang dilepas air dapat ditentukan

$$q = m \cdot Cp \cdot (T_{h.in} - T_{h.out}) \dots\dots (W)$$

Sedangkan untuk mencari nilai laju massa alirannya dapat dihitung :

$$m = \rho \cdot V \cdot A \text{ atau } \rho \cdot Qh \dots \dots (kg/s)$$

Dimana:

$$\rho = 977,3 \text{ kg / m}^3$$

$$Qh = 0,011 \text{ m}^3 / \text{menit}$$

$$m = \rho \cdot Qh$$

$$m = 977,3 \text{ kg/m}^3 \times 0,011 \text{ m}^3 / \text{menit}$$

$$= 10,75 \text{ (Kg/menit)}$$

$$= 0,179 \text{ (kg / s)}$$

Untuk mencari perpindahan panas nya adalah:

Dimana:

$$Cp = 4,179 \text{ kj / kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{h.in} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{h.out} = 64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = m \cdot C_p \cdot (T_{h,in} - T_{h,out}) \dots\dots\dots (W)$$

$$q = 0,179 \text{ kg/s} \times 4,186 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} (70^\circ\text{C} - 64^\circ\text{C})$$

$$= 0,749 \text{ kJ/s} \cdot ^\circ\text{C} (6^\circ\text{C})$$

$$= 4,496 \text{ kJ/s}$$

$$= 4,496 \text{ kw}$$

Dengan cara perhitungan yang sama seperti diatas, maka perhitungan perpindahan kalor pada waktu pemanasan awal 1 menit dengan putaran mesin 1000,1500,2000 dan 2500 rpm ditabelkan

Tabel 4.4 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 1 menit dengan putaran 1000 rpm

No	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°c)	Th2 (°c)	Tc1 (°c)	Tc2 (°c)	q(kw)
1	1000	0,011	70	64	31	32	4.4960
2	1000	0,011	71	66	31	32	3.7450
3	1000	0,011	70	65	31	32	3.7450
4	1000	0,011	70	66	31	32	2.9960
Rata - rata			70,25	65,25	31	32	3.7450

Tabel 4.5 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 1 menit dengan putaran 1500 rpm

No	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°c)	Th2 (°c)	Tc1 (°c)	Tc2 (°c)	q (kw)
1	1500	0,016	70	66	31	42	4.3710
2	1500	0,016	70	67	30	42	3.2770
3	1500	0,016	70	67	31	41	3.2770
4	1500	0,016	71	66	31	40	5.4630
Rata - rata			70,25	66,5	30,75	41,25	4.0970

Tabel 4.6 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 1 menit dengan putaran 2000 rpm

No	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	2000	0,024	70	68	31	44	3.2730
2	2000	0,024	71	68	31	45	4.9110
3	2000	0,024	70	67	31	44	4.9110
4	2000	0,024	70	68	32	44	3.2730
Rata - rata			70,25	67,75	31,25	44,25	4.0920

Tabel 4.7 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 1 menit dengan putaran 2500 rpm

No	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	2500	0,028	75	70	31	46	9.5150
2	2500	0,028	75	69	30	46	11.4180
3	2500	0,028	75	69	31	46	11.4180
4	2500	0,028	75	69	31	47	11.4180
Rata - rata			75	69,25	30,75	46,25	10.9423

Dengan cara perhitungan yang sama seperti diatas, maka perhitungan perpindahan kalor pada waktu pemanasan awal 5 menit dengan putaran mesin 1000,1500,2000 dan 2500 rpm ditabelkan

Tabel 4.8 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 5 menit dengan putaran 1000 rpm

No	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q (kw)
1	1000	0,011	72	64	31	45	5.9940
2	1000	0,011	71	62	31	44	6.7410
3	1000	0,011	72	63	31	44	6.7410
4	1000	0,011	72	63	31	43	6.7410
Rata - rata			71.75	63	31	44	6.5543

Tabel 4.9 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 5 menit dengan putaran 1500 rpm

No	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	1500	0,016	75	70	31	55	5.4270
2	1500	0,016	74	72	30	55	2.1850
3	1500	0,016	76	72	31	56	4.3400
4	1500	0,016	75	71	30	55	4.3400
Rata - rata			75	71,25	30,5	55,25	4.0730

Tabel 4.10 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 5 menit dengan putaran 2000 rpm

no	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	2000	0,024	81	76	31	62	9.5010
2	2000	0,024	81	77	32	62	7.6000
3	2000	0,024	82	78	31	62	7.6000
4	2000	0,024	81	77	31	63	7.6000
Rata - rata			81,25	77	31,25	62,25	8.0753

Tabel 4.11 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 5 menit dengan putaran 2500 rpm

no	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	2500	0,028	85	75	31	68	18.9370
2	2500	0,028	85	74	32	67	20.8340
3	2500	0,028	86	75	31	67	20.8340
4	2500	0,028	85	74	31	67	20.8340
Rata - rata			85,25	74,5	31,25	67,25	20.3598

Dengan cara perhitungan yang sama seperti diatas, maka perhitungan perpindahan kalor pada waktu pemanasan awal 10 menit dengan putaran mesin 1000,1500,2000 dan 2500 rpm ditabelkan

Tabel 4.12 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 10 menit dengan putaran 1000 rpm

no	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q (kw)
1	1000	0,011	78	72	31	53	4.4760
2	1000	0,011	79	71	32	53	5.9680
3	1000	0,011	79	72	31	54	5.2220
4	1000	0,011	79	71	31	53	5.9680
Rata - rata			78,75	71,5	31,25	53,25	5.4085

Tabel 4.13 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 10 menit dengan putaran 1500 rpm

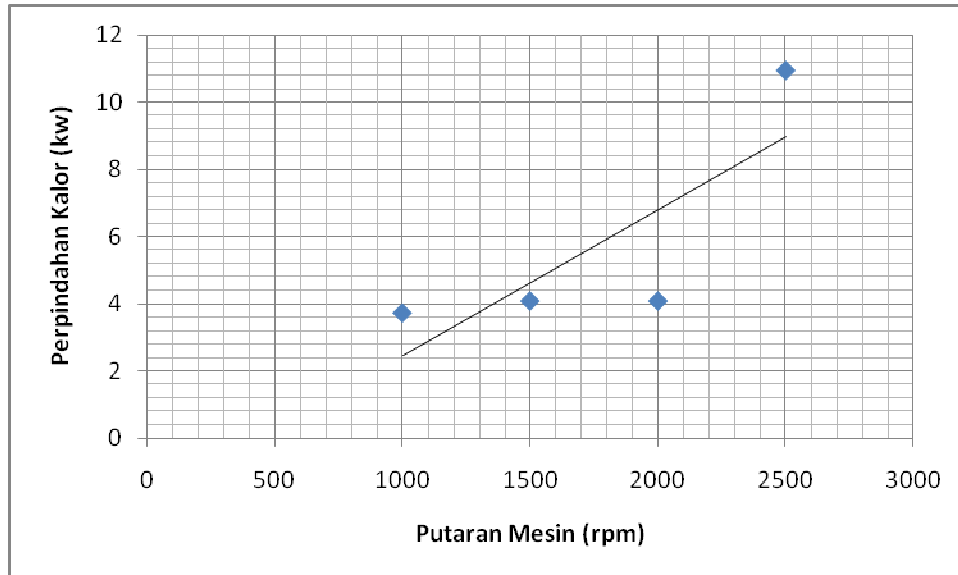
no	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	1500	0,016	78	71	31	56	7.6060
2	1500	0,016	79	73	31	57	8.6880
3	1500	0,016	80	71	31	59	9.7740
4	1500	0,016	79	71	31	57	8.6880
Rata - rata			79	72,25	31	57,25	8.6890

Tabel 4.14 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 10 menit dengan putaran 2000 rpm

no	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	2000	0,024	86	79	31	65	11.3660
2	2000	0,024	87	80	31	66	11.3660
3	2000	0,024	88	80	31	66	12.9920
4	2000	0,024	87	80	31	66	11.3660
Rata - rata			87	79,75	31	65,75	11.7725

Tabel 4.15 Perpindahan panas pada waktu pemanasan awal 10 menit dengan putaran 2500 rpm

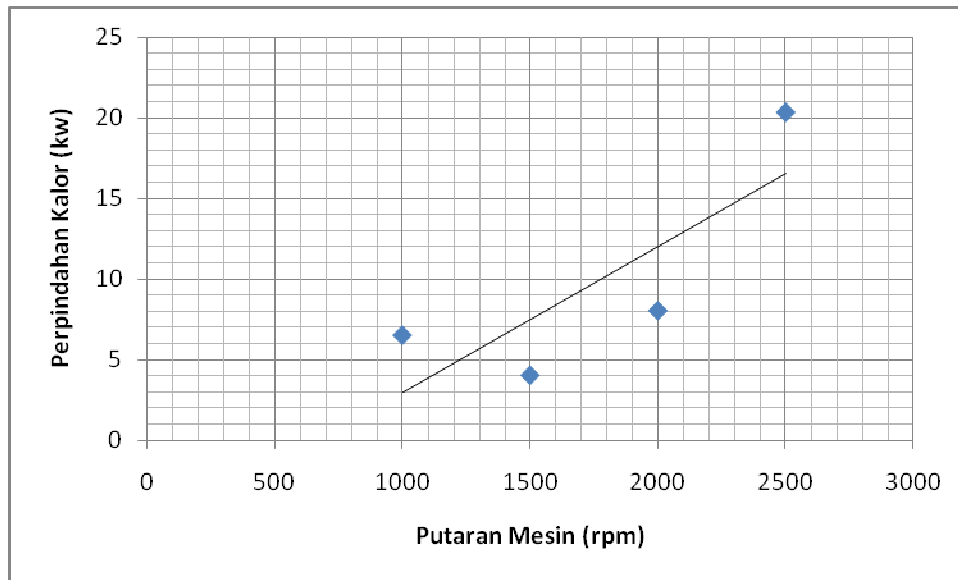
no	putaran mesin (rpm)	Debit (m ³ /menit)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	q(kw)
1	2500	0,028	90	80	32	74	18.8760
2	2500	0,028	91	80	31	73	20.7570
3	2500	0,028	90	80	31	73	18.8760
4	2500	0,028	90	81	31	73	16.9890
Rata - rata			90,25	80,25	31,25	73,25	18.8745



Gambar 4.1 Grafik perpindahan panas terhadap putaran mesin selama 1menit

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa putaran mesin sangat berpengaruh terhadap perpindahan kalor. Dimana semakin tinggi putaran mesin semakin tinggi juga nilai besaran kalor yang dihasilkan, hal ini disebabkan terjadinya pembakaran gas dalam silinder menyebabkan suhu udara meningkat.

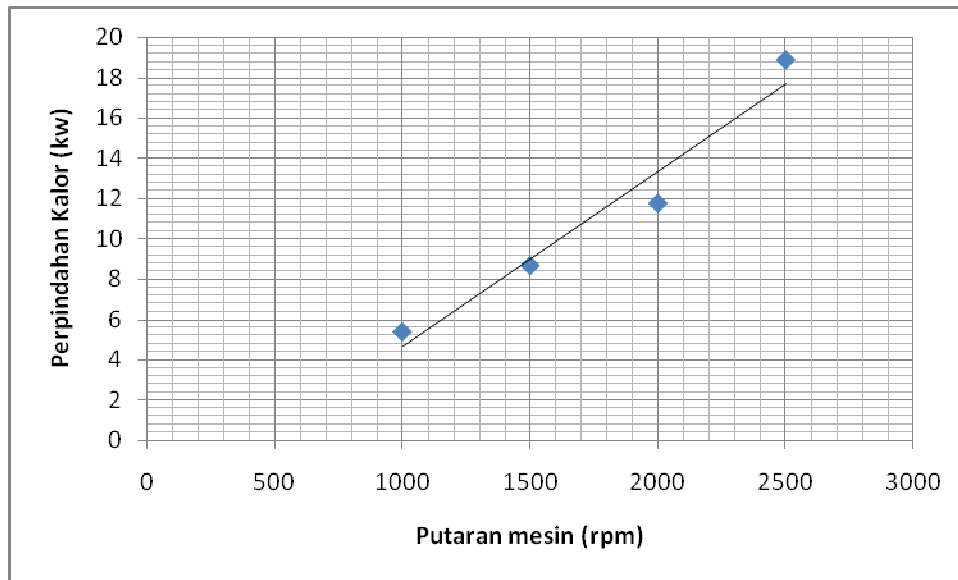
Pada waktu pemanasan 1 menit dengan putaran mesin 1000 rpm didapat bahwa perpindahan kalor terhadap putaran mesin nya 3.745 kw dan perpindahan kalor meningkat menjadi 4.097 , 4.097 dan 10.945 kw pada putaran 1500, 2000 dan 2500 rpm



Gambar 4.2 Grafik perpindahan panas terhadap putaran mesin selama 5menit

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa putaran mesin sangat berpengaruh terhadap perpindahan kalor. Dimana semakin tinggi putaran mesin semakin tinggi juga nilai besaran kalor yang dihasilkan, hal ini disebabkan terjadinya pembakaran gas dalam silinder menyebabkan suhu udara meningkat.

Pada waktu pemanasan 5 menit dengan putaran mesin 1000 rpm didapat bahwa perpindahan kalor terhadap putaran mesin nya 6.554 kw dan perpindahan kalor menurun pada putaran 1500 menjadi 4.073 kw kemudian perpindahan kalor meningkat menjadi 8.075 kw dan 20.360 kw pada putaran 2000 dan 2500 rpm



Gambar 4.3 Grafik perpindahan panas terhadap putaran mesin selama 10menit

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa putaran mesin sangat berpengaruh terhadap perpindahan kalor. Dimana semakin tinggi putaran mesin semakin tinggi juga nilai besaran kalor yang dihasilkan, hal ini disebabkan terjadinya pembakaran gas dalam silinder menyebabkan suhu udara meningkat.

Pada waktu pemanasan 10 menit dengan putaran mesin 1000 rpm didapat bahwa perpindahan kalor terhadap putaran mesin nya 5.409 kw dan perpindahan kalor meningkat menjadi 8.689 , 11.773 dan 18.875 kw pada putaran 1500, 2000 dan 2500 rpm

4.3 Efektifitas Radiator

Untuk mencari nilai efektifitas radiator menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}}$$

Dimana:

$$Th1 = 70,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tc2 = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tc1 = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon = \frac{Tc2 - Tc1}{Th1 - Tc1}$$

$$= \frac{32 - 31}{70,25 - 31}$$

$$= 0,0255$$

Dengan cara perhitungan yang sama seperti diatas, untuk nilai efisiensinya pada waktu 1,5 dan 10 menit dengan putaran mesin 1000,1500,2000 dan 2500 rpm di tabelkan

Tabel 4. 16 Nilai efektifitas pada waktu 1 menit dengan putaran 1000, 1500, 2000, 2500 rpm

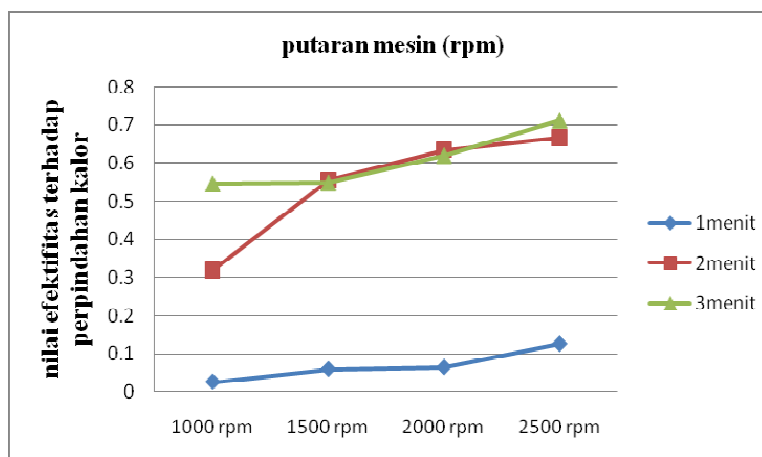
No	putaran mesin (rpm)	th1 ($^{\circ}\text{C}$)	th2 ($^{\circ}\text{C}$)	tc1 ($^{\circ}\text{C}$)	tc2 ($^{\circ}\text{C}$)	ε
1	1000	70,25	65,25	31	32	0,0255
2	1500	70,25	66,5	30,75	41,25	0,0591
3	2000	70,25	67,75	31,25	44,25	0,0639
4	2500	75	69,25	30,75	46,25	0,1250

Tabel 4. 17 Nilai efektifitas pada waktu 5 menit dengan putaran 1000, 1500, 2000, 2500 rpm

No	putaran mesin (rpm)	th1 ($^{\circ}\text{C}$)	th2 ($^{\circ}\text{C}$)	tc1 ($^{\circ}\text{C}$)	tc2 ($^{\circ}\text{C}$)	ε
1	1000	71,75	63	31	44	0,3191
2	1500	75	71,25	30,5	55,25	0,5561
3	2000	81,25	77	30,5	62,25	0,6347
4	2500	85,25	74,5	31,25	67,25	0,6666

Tabel 4. 18 Nilai efektifitas pada waktu 10 menit dengan putaran 1000, 1500, 2000, 2500 rpm

No	putaran mesin (rpm)	th1 (°C)	th2 (°C)	tc1 (°C)	tc2 (°C)	ϵ
1	1000	78,75	71,5	31,25	53,25	0,5465
2	1500	79	72,25	31	57,25	0,5490
3	2000	87	79,75	31	66	0,6205
4	2500	90,25	80,25	31,25	73,25	0,7119



Gambar 4.4 Grafik nilai efektifitas perpindahan panas terhadap putaran mesin

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa putaran mesin sangat berpengaruh terhadap efektifitas perpindahan kalor. Dimana semakin tinggi putaran mesin semakin tinggi juga nilai efektifitas besaran kalor yang dihasilkan, hal ini disebabkan terjadinya pembakaran gas dalam silinder mengakibatkan suhu udara meningkat.

Pada waktu pemanasan 1 menit dengan putaran mesin 1000 rpm didapat bahwa nilai efektifitas perpindahan kalor terhadap putaran mesin

nya 0.0255 dan perpindahan kalor meningkat menjadi 0.0591 , 0.0639 dan 0.1250 pada putaran 1500, 2000 dan 2500 rpm

Pada waktu pemanasan 5 menit dengan putaran mesin 1000 rpm didapat bahwa nilai efektifitas perpindahan kalor terhadap putaran mesin nya 0.3191 dan perpindahan kalor meningkat menjadi 0.5561 , 0.6347 dan 0.6667 pada putaran 1500, 2000 dan 2500 rpm

Pada waktu pemanasan 10 menit dengan putaran mesin 1000 rpm didapat bahwa nilai efektifitas perpindahan kalor terhadap putaran mesin nya 0.5465 dan perpindahan kalor meningkat menjadi 0.5490 , 0.6205 dan 0.7119 pada putaran 1500, 2000 dan 2500 rpm.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada pengambilan data dan pengujian terlihat bahwa perpindahan kalor meningkat pada putaran mesin dikarenakan terjadinya pembakaran dari ruang bakar menyebabkan udara di dalam mesin juga meningkat. Dengan hasil yang didapat dengan melakukan penelitian dan perhitungan maka didapatkan hasil perpindahan panas dan nilai Efektifitas nya sebagai berikut:

- Ukuran waktu 1 menit perpindahan panas yang dihasilkan 22.881 kw, nilai Efektifitas nya 0.2735 pada jumlah semua putaran mesin
- Ukuran waktu 5 menit perpindahan panas yang dihasilkan 39.062 kw, nilai Efektifitas nya 2.1765 pada jumlah semua putaran mesin
- Ukuran waktu 10 menit perpindahan panas yang dihasilkan 44.745 kw, nilai efektifitas nya 2.4279 pada jumlah semua putaran mesin

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan maka akhir penelitian ini dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut:

- 5.2.1 Dalam penelitian yang sejenis, maka perlu dikembangkan aspek-aspek penelitian yang belum terjangkau oleh peneliti, bahan bakar dan sebagainya.

5.2.2 Sebelum melakukan perjalanan lebih baik periksa dulu air radiator nya supaya pendingin nya berjalan dengan baik dan mesin tidak cepat panas

Data penelitian selama 5 menit

perlakuan	putaran mesin	Ulangan			
		1	2	3	4
Th1	700	64	65	65	66
	1000	72	71	72	72
	1500	75	74	76	75
	2000	81	81	82	81
	2500	85	85	86	85
Th2	700	51	51	51	52
	1000	64	62	63	63
	1500	70	72	72	71
	2000	76	77	78	77
	2500	75	74	75	74
Tc1	700	31	31	31	31
	1000	31	31	31	31
	1500	30	31	30	31
	2000	31	32	31	31
	2500	31	32	31	31
Tc2	700	46	46	47	47
	1000	45	44	44	43
	1500	55	55	56	55
	2000	62	62	62	63
	2500	68	67	67	67

Th1 = suhu air yang masuk ke radiator

Th2 = suhu air yang keluar dari radiator

Tc1 = suhu aliran udara yang menumbuk radiator

Tc2 = suhu aliran udara yang keluar dari radiator

Data penelitian selama 10 menit

Perlakuan	putaran mesin	Ulangan			
		1	2	3	4
Th1	700	65	65	66	64
	1000	72	71	72	71
	1500	78	79	80	79
	2000	86	87	88	87
	2500	90	91	90	90
Th2	700	52	51	52	51
	1000	78	79	79	79
	1500	71	73	71	71
	2000	79	80	80	80
	2500	80	80	80	81
Tc1	700	31	31	31	31
	1000	31	32	31	31
	1500	31	31	31	31
	2000	31	31	31	31
	2500	32	31	31	31
Tc2	700	47	46	47	47
	1000	53	53	54	53
	1500	56	57	59	57
	2000	65	66	66	66
	2500	74	73	73	73

Th1 = suhu air yang masuk ke radiator

Th2 = suhu air yang keluar dari radiator

Tc1 = suhu aliran udara yang menumbuk radiator

Tc2 = suhu aliran udara yang keluar dari radiator

LAMPIRAN

Data hasil penelitian selama 1 menit

Perlakuan	Putr. Mesin	Ulangan			
		1	2	3	4
Th1	700	65	65	66	64
	1000	70	71	70	70
	1500	70	70	70	71
	2000	70	71	70	70
	2500	75	75	75	75
Th2	700	50	51	51	51
	1000	64	66	65	66
	1500	66	67	67	66
	2000	68	68	67	68
	2500	70	69	69	69
Tc1	700	31	31	31	31
	1000	31	31	31	31
	1500	31	30	31	31
	2000	31	31	31	32
	2500	31	30	31	31
Tc2	700	32	32	32	33
	1000	32	32	32	32
	1500	42	42	41	40
	2000	44	45	44	44
	2500	46	46	46	47

Th1 = suhu air yang masuk ke radiator

Th2 = suhu air yang keluar dari radiator

Tc1 = suhu aliran udara yang menumbuk radiator

Tc2 = suhu aliran udara yang keluar dari radiator

Tabel A-9 Sifat-sifat Air (Zat-cair Jenuh)[†]

$$\text{Catatan } Gr_x Pr = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$$

°F	°C	c_p , kJ/kg · °C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m · s	k , W/m · °C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$, 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

[†] Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

Daftar ini menggunakan satuan SI.





