

repository.ub.ac.id

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE CAMPURAN
AIR DAN COOLANT TERHADAP UNJUK KERJA RADIATOR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ILCHAM MA'RUF
NIM. 0710620045-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI PROSENTASE CAMPURAN
AIR DAN *COOLANT* TERHADAP UNJUKKERJA RADIATOR

SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ILCHAM MA'RUF
NIM. 0710620045-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D
NIP. 19470330 198002 1 001

Sugiarto, ST., MT.
NIP. 19690417 199512 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE CAMPURAN
AIR DAN COOLANT TERHADAP UNJUK KERJA RADIATOR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

ILCHAM MA'RUF
NIM. 0710620045-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 26 Januari 2012

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Endi Sutikno, MT
NIP. 19590411 198710 1 001

Mega Nur Sasongko, ST.,MT
NIP. 19740930 200012 1 001

Komprehensif

Dr.Ir. Praktikto, MMT
NIP. 19461110 198103 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

PENGANTAR

Assalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakaatuh.

Puji syukur *Alhamdulillah* penulis panjatkan kehadiran Allah *Subhaanahu wa ta'aala* atas segala limpahan nikmat, rahmat, hidayah dan karunia yang telah diberikan, juga sholawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Prosentase Campuran Air dan Coolant Terhadap Unjuk Kerja Radiator”**

Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Eng., Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Prof. ING Wardana selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan selama masa kuliah.
4. Bapak Dr. Eng., Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT. dan Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku Ketua dan Mantan Ketua Kelompok Pengajar Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
5. Bapak Prof., Ir. Sudjito, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan masukan, pengetahuan dan telah banyak meluangkan waktu untuk berdiskusi dengan penulis selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Sugiarto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan, masukan dan berdiskusi bersama serta meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M. ENG., selaku Kepala Laboratorium Motor Bakar yang telah mengizinkan dan menyediakan fasilitas serta alat-alat yang diperlukan penulis dalam melakukan penelitian.
8. Seluruh dosen pengajar beserta staf administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
9. Bapak, Ibu dan kakak yang telah memberikan bantuan, dukungan moril dan nasehat yang sangat berarti dalam penyelesaian skripsi ini.

10. Rohmat Rudianto, Lalu Choirul Abror, Mohammad Hasyim, Bahrudin, Hudzaifah Attamimi, Fachri Isnaeni Ali, Lendy Prabowo serta teman-teman M'07 yang banyak sekali membantu dalam penyusunan skripsi ini.

11. Laboran dan asisten Laboratorium Motor Bakar serta semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa ilmu yang dimiliki masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakaatuh.

Malang, Januari 2012

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Sistem Pendingin	4
2.2.1 Komponen-Komponen Sistem Pendingin	5
2.2.2 <i>Coolant</i>	9
2.2.3 <i>Ethylene Glycol</i>	10
2.3 Energi Kalor	13
2.4 Perpindahan Kalor	13
2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi	13
2.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi	15
2.4.2.1 Angka <i>Prandtl</i> (<i>Pr</i>)	16
2.4.2.2 Angka <i>Reynold</i> (<i>Re</i>)	17
2.4.2.3 Angka <i>Nusselt</i> (<i>Nu</i>)	18
2.5 <i>Heat Exchanger</i>	19
2.6 Laju Perpindahan Kalor Pada <i>Heat Exchanger</i>	19

2.7 Efektifitas	21
2.8 <i>Pressure Drop</i> (Penurunan Tekanan)	22
2.8.1 <i>Major Losses</i>	23
2.8.2 <i>Minor Losses</i>	23
2.9 Hipotesis	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Variabel Penelitian	24
3.3 Alat-alat Penelitian	25
3.4 Tempat Penelitian	27
3.5 Prosedur Penelitian	27
3.6 Diagram Alir Penelitian	28

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data	30
4.1.1 Data Hasil Pengujian	30
4.1.2 Contoh Perhitungan	31
4.1.3 Data Hasil Perhitungan	34
4.2 Pembahasan	35
4.2.1 Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap Laju Perpindahan Kalor	35
4.2.2 Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh	37
4.2.3 Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap Efektifitas	39
4.2.4 Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap <i>Pressure Drop</i>	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Titik beku <i>coolant</i> dalam variasi prosentase konsentrasi <i>ethylene glycol</i>	10
Tabel 2.2	Titik didih <i>coolant</i> dalam variasi prosentase konsentrasi <i>ethylene glycol</i>	10
Tabel 4.1	Data hasil pengujian dengan berbagai variasi prosentase campuran air dan <i>coolant</i>	29
Tabel 4.2	Data hasil perhitungan dengan laju alir massa 50 (Kg/jam)	34
Tabel 4.3	Data hasil perhitungan dengan laju alir massa 55 (Kg/jam)	34
Tabel 4.4	Data hasil perhitungan dengan laju alir massa 60 (Kg/jam)	35

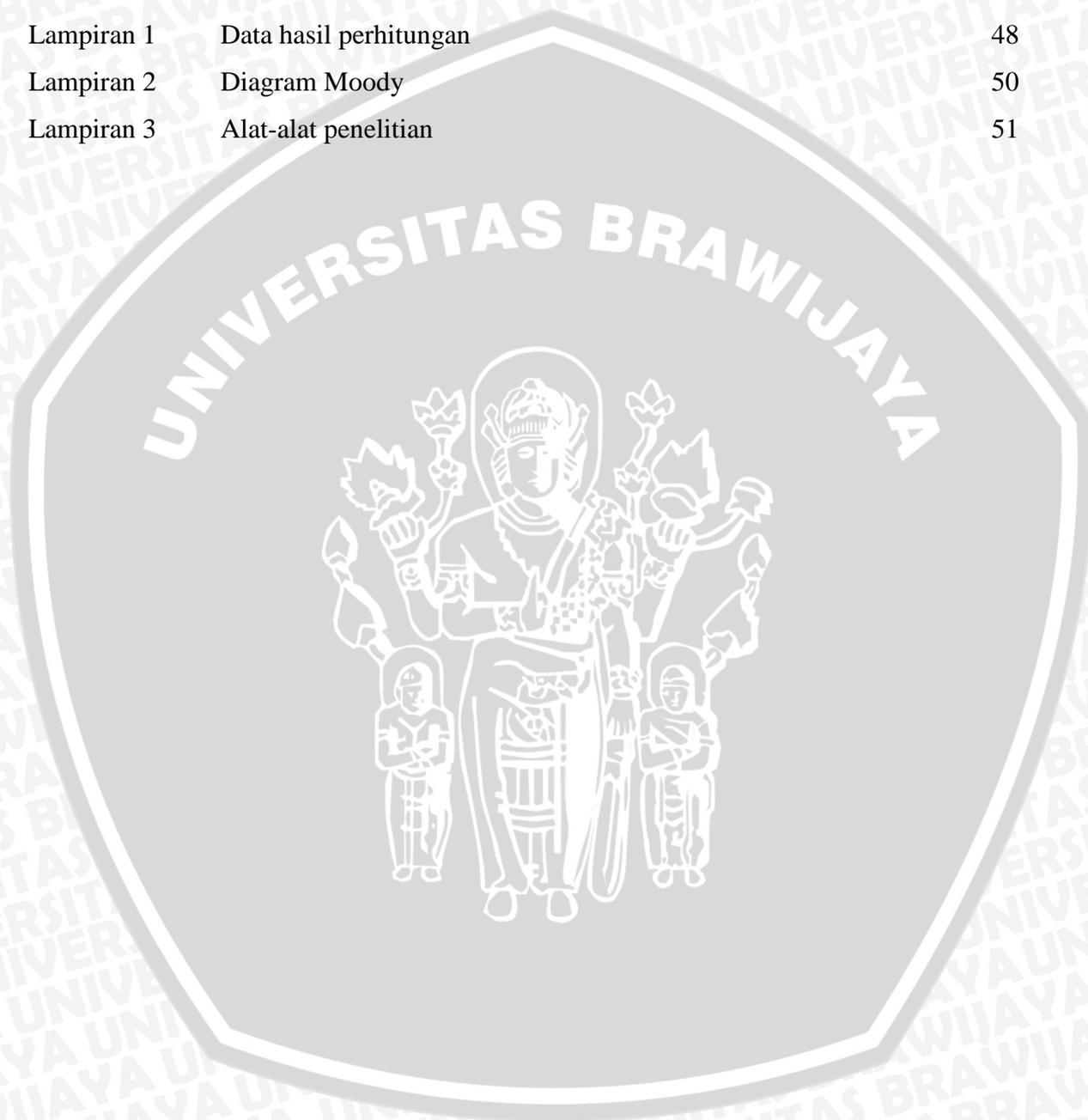


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Komponen-komponen sistem pendingin	5
Gambar 2.2	Bagian-bagian radiator	6
Gambar 2.3	Sirkulasi sistem pendingin pada mobil	7
Gambar 2.4	Pompa air	7
Gambar 2.5	Termostat	8
Gambar 2.6	Cara kerja termostat	8
Gambar 2.7	Kipas radiator	9
Gambar 2.8	Konduktivitas Termal (K) <i>coolant</i> dalam variasi temperatur dan konsentrasi <i>ethylene glycol</i>	12
Gambar 2.9	Viskositas Dinamik (μ) <i>coolant</i> dalam variasi temperatur dan konsentrasi <i>ethylene glycol</i>	12
Gambar 2.10	Berat jenis (γ) <i>coolant</i> dalam variasi temperatur dan konsentrasi <i>ethylene glycol</i>	13
Gambar 2.11	Konduktivitas termal (K) <i>coolant</i> dalam variasi temperatur dan konsentrasi <i>ethylene glycol</i>	13
Gambar 2.12	Transfer energi kalor pada sistem dengan <i>control volume</i> Perpindahan kalor konduksi	14
Gambar 2.13	Konveksi paksa (kiri) dan konveksi bebas (kanan)	15
Gambar 2.14	Hambatan termal pada <i>concentric double tube heat exchanger</i>	19
Gambar 3.1	Skema radiator	25
Gambar 3.2	Skema instalasi peralatan pengujian	27
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan <i>coolant</i> dengan laju perpindahan kalor	35
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan <i>coolant</i> dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh	37
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan <i>coolant</i> dengan efektifitas radiator	40
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan <i>coolant</i> terhadap <i>pressure drop</i>	41

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data hasil perhitungan	48
Lampiran 2	Diagram Moody	50
Lampiran 3	Alat-alat penelitian	51



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Besaran Dasar	Satuan
D_h	Diameter hidrolis	meter (m)
ϵ	Efektivitas	persen (%)
C_p	Kalor spesifik pada tekanan konstan	joule per kilogram derajat celcius (J/kg ^o C)
v	Kecepatan	meter per sekon (m/s)
h	Koefisien perpindahan kalor konveksi	watt per meter kuadrat derajat celcius (W/m ² . ^o C)
U	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh	watt per meter kuadrat derajat celcius (W/m ² . ^o C)
k	Konduktivitas <i>thermal</i>	watt per meter derajat celcius (W/m ^o C)
\dot{m}	Laju massa alir	kilogram per sekon (kg/s)
\dot{Q}	Laju perpindahan kalor	watt (W)
A	Luas perpindahan kalor	meter kuadrat (m ²)
h_{ma}	<i>Major losses</i>	meter (m)
ρ	Massa jenis	kilogram per meter kubik (kg/m ³)
h_{mi}	<i>Minor losses</i>	meter (m)
g	Percepatan gravitasi bumi	meter per sekon kuadrat (m/s ²)
T	Temperatur	derajat Celcius (^o C)
μ	Viskositas dinamik	kilogram per meter sekon (kg/m.s)
ν	Viskositas kinematik	meter kuadrat per sekon (m ² /s)
ΔP	<i>Pressure drop</i>	pascal (Pa)
Pr	Angka prandlt	-
Re	Angka Reynold	-
Nu	Angka Nusselt	-
Δz	Perbedaan ketinggian manometer	Meter (m)
HHP	Daya hidrolis pompa	HP
Q	Kapasotas pompa	m ³ /s
H	Head total	m
γ	Berat spesifik fluida	kg/ m ³

RINGKASAN

Ilcham Ma'ruf, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2011, Pengaruh Variasi Prosentase Campuran Air dan *Coolant* Terhadap Unjuk Kerja Radiator.

Dosen Pembimbing : Sudjito dan Sugiarto

Air dalam keadaan normal mampu menyerap dan melepas kalor apabila melewati bidang permukaan yang luas. Namun apabila air sudah mencapai titik didih, air tidak dapat menerima kalor lagi karena air tersebut sudah jenuh dengan kalor sehingga dapat terjadi *overheating*. Mesin yang *overheating* akan menyebabkan kalor dari mesin mencari ruang untuk memuai. Bagian yang paling mudah untuk memuai adalah silinder dan piston karena letaknya berdekatan dengan ruang bakar. Jika terjadi secara terus-menerus maka silinder dan piston akan memuai dan celah antara keduanya menyempit sehingga terjadi gesekan, akibatnya performa mesin akan menurun. *Coolant* yang mengandung *ethylene glycol* memiliki kelebihan dibandingkan dengan air biasa, yaitu mempunyai titik didih tinggi, memiliki kandungan mineral yang sedikit, mengandung bahan aditif yang anti karat serta mencegah korosi. Pencampuran air dan *coolant* akan mencegah terjadinya *overheating* dan dapat meningkatkan laju perpindahan kalor.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yang secara langsung digunakan ke objek yang akan diteliti. Variabel bebas pada penelitian ini adalah prosentase campuran air dan *coolant* 100 : 0; 70 : 30; 60 : 40; 50 : 50; 40 : 60 dan 30 : 70 % dari *volume* total kapasitas cairan pendingin pada radiator. Variabel terikat pada penelitian ini adalah laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, efektifitas, dan *pressure drop*. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah laju massa alir *coolant* 50; 55; dan 60 kg/jam.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan prosentase *coolant* dan laju alir massa yang semakin tinggi akan meningkatkan laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, efektifitas dan *pressure drop* pada radiator. Unjuk kerja radiator maksimum terjadi pada campuran air dan *coolant* 70 : 30% dengan laju alir massa 60 Kg/jam. Nilai maksimum yang diperoleh dari laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, efektifitas, dan *pressure drop* secara berturut-turut adalah 8576,744 [KJ/jam]; 152,378 [KJ/jam m²°C], 81,13%; dan 42,412 Pa.

Kata kunci : *coolant*, *ethylene glycol*, kalor, prosentase campuran air dan *coolant*, unjuk kerja radiator

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat mengemudikan mobil, seringkali dijumpai berbagai permasalahan dalam perjalanan seperti kemacetan, jarak tempuh perjalanan yang panjang maupun kendaraan yang dipicu pada putaran tinggi yang dapat mengakibatkan temperatur mesin meningkat. Temperatur mesin mobil yang terlalu tinggi akan menyebabkan mesin terlalu panas atau *overheating*. Mesin yang *overheating* dapat menyebabkan komponen seperti piston dan silinder memuai. Akibatnya, gerakan komponen-komponen di mesin menjadi berat karena adanya gesekan yang terjadi antara piston dan silinder. Hal tersebut menyebabkan tenaga yang dihasilkan menurun dan dapat membuat mobil mogok. Untuk itu, diperlukan suatu sistem pendingin yang baik agar tidak terjadi *overheating*.

Sistem pendingin pada mobil umumnya menggunakan sistem pendingin air yang mengaplikasikan radiator sebagai alat penukar panas. Panas dari mesin yang diserap oleh cairan pendingin, dialirkan ke radiator dengan bantuan pompa. Setelah itu, cairan pendingin yang telah panas tersebut melewati kisi-kisi radiator kemudian terjadi perpindahan panas secara konduksi melalui dinding radiator. Selanjutnya, panas dipindahkan dari dinding radiator ke udara luar secara konveksi sehingga temperatur mesin pun menurun.

Air yang digunakan dalam sistem pendingin pada radiator memang dapat digunakan sebagai media pendingin. Akan tetapi, air memiliki titik didih yang cukup rendah, yaitu 100° C. Jika telah mencapai titik didihnya maka akan timbul gelembung-gelembung udara yang dapat menghambat pelepasan panas ke udara luar. Di samping itu, air yang bereaksi dengan dinding radiator dapat menyebabkan korosi yang lambat laun akan mengakibatkan terjadinya pengikisan pada dinding radiator hingga terjadi kebocoran. Selain itu, air juga mengandung mineral-mineral yang dapat menimbulkan kerak sehingga menyumbat bagian-bagian radiator yang menyebabkan sirkulasi aliran tidak berjalan lancar dan dapat mengakibatkan *overheating*. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencampuran air dan *radiator coolant* agar didapatkan titik didih yang lebih tinggi dan tidak menyebabkan korosi serta tidak menimbulkan kerak.

Menurut Murti (2008), laju pembuangan panas pada radiator dengan fluida campuran 80 % air dan 20 % *radiator coolant* lebih besar daripada laju pembuangan

panas fluida kerja 100 % air. Namun pada penelitian tersebut, tidak dijelaskan alasan pemilihan fluida campuran dengan prosentase 80 % air dan 20 % *radiator coolant* sehingga perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh prosentase campuran air dan *radiator coolant* dengan komposisi prosentase yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan prosentase campuran air dan *radiator coolant* yang berbeda memiliki nilai kapasitas panas spesifik, viskositas dinamik, dan massa jenis yang berbeda sehingga laju perpindahan panas yang dihasilkan pun akan berbeda. Oleh karena itu, penting untuk diteliti pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Variasi prosentase campuran air dan *coolant* yang digunakan adalah 100 : 0; 70 : 30; 60 : 40; 50 : 50; 40 : 60 dan 30 : 70 %.
2. Laju massa alir fluida yang digunakan adalah 50, 55, dan 60 [kg/jam].
3. Unjuk kerja radiator yang diteliti meliputi laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, efektifitas dan *pressure drop* pada radiator.
4. Putaran mesin yang digunakan konstan, yaitu 2500 rpm.

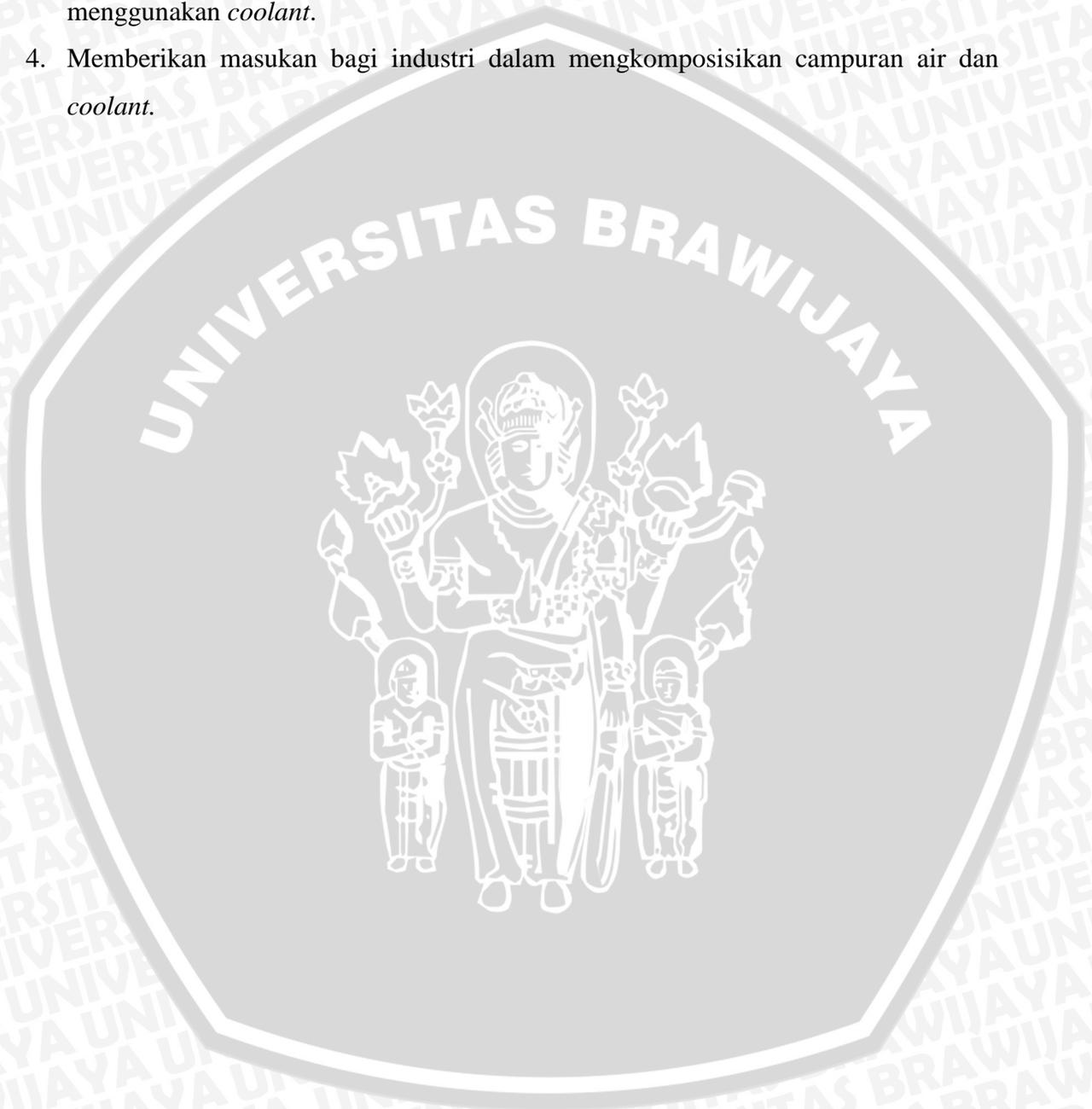
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mampu mengaplikasikan teori yang telah didapat selama perkuliahan tentang perpindahan panas.
2. Sebagai referensi penelitian selanjutnya terutama mengenai perpindahan panas.
3. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk masyarakat dalam menggunakan *coolant*.
4. Memberikan masukan bagi industri dalam mengkomposisikan campuran air dan *coolant*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Brace, *et al.* (2001) meneliti tentang pengaruh putaran pompa terhadap pendinginan motor bakar. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan pompa sentrifugal untuk mensirkulasikan *coolant* dari silinder ke dalam radiator. Hasil penelitian yang dilakukan menyatakan bahwa kapasitas *coolant* yang dialirkan merupakan faktor penting dalam pendinginan berdasarkan beban dari mesin kendaraan itu sendiri.

Yang, *et al.* (2003) melakukan penelitian mengenai konsep kondensor, *fan*, dan radiator untuk sistem termal kendaraan. Pada penelitian tersebut dilakukan eksperimen dengan mengalirkan kapasitas *coolant* yang berbeda. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa jumlah kalor yang ditransfer akan meningkat sebanding dengan peningkatan kapasitas *coolant* yang dialirkan.

Murti (2008) dalam penelitiannya yang berjudul laju pembuangan panas pada radiator dengan fluida air dengan fluida campuran 80 % air dan 20 % RC pada rpm konstan melakukan eksperimen dengan membandingkan fluida air 100 % dengan fluida campuran 80 % air dan 20 % *radiator coolant* dilihat dari laju pembuangan panas pada radiator. Dari hasil penelitian diketahui bahwa laju pembuangan panas pada radiator dengan fluida campuran 80 % air dan 20 % *radiator coolant* lebih besar daripada laju pembuangan panas fluida kerja 100 % air.

Dalam penelitian yang akan dilakukan, penulis melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh Murti dengan menggunakan berbagai variasi prosentase campuran air dan *coolant* kemudian menganalisisnya untuk didapatkan pengaruh terhadap unjuk kerja radiator yang meliputi laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, efektifitas dan *pressure drop*.

2.2 Sistem Pendingin

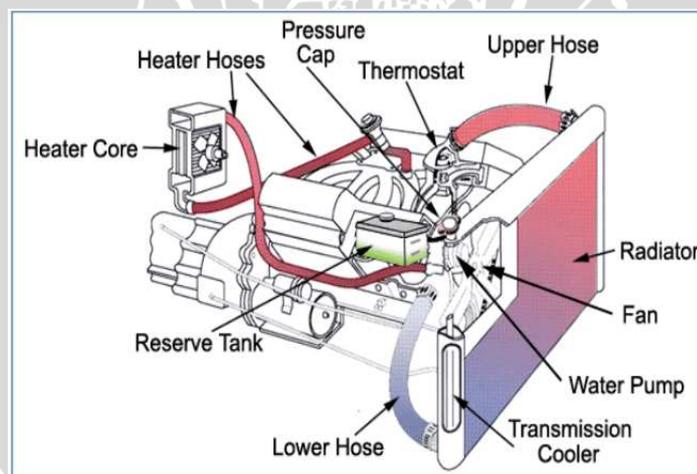
Panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran di dalam ruang bakar diubah menjadi tenaga gerak. Namun kenyataannya hanya sebagian dari panas tersebut yang dimanfaatkan secara efektif. Panas yang diserap mesin harus dengan segera dibuang ke udara luar, karena jika tidak maka akan menyebabkan mesin terlalu panas (*overheating*).

Mesin yang *overheating* dapat menyebabkan komponen seperti piston dan *cylinder head* memuai, akibatnya performa mesin menjadi menurun. Untuk itu, diperlukan suatu sistem pendingin yang baik agar tidak terjadi *overheating*.

Sistem pendingin pada kendaraan bermotor ada 2 macam, yaitu sistem pendingin udara dan sistem pendingin air. Pada umumnya, sistem pendingin pada mobil menggunakan sistem pendingin air. Sistem pendinginan air lebih rumit konstruksinya dibandingkan dengan sistem pendinginan udara. Akan tetapi sistem pendinginan air mempunyai banyak keuntungan, antara lain: temperatur mesin lebih merata, proses pemanasan mesin lebih cepat, media pendingin yang berupa air dapat meredam suara mesin, media pendingin yang panas dapat digunakan sebagai sumber panas untuk pemanas udara dalam kendaraan, ukuran kipas relatif lebih kecil sehingga tenaga yang diperlukan kecil, serta kemungkinan *overheating* kecil walaupun dalam kerja yang berat (Tim Fakultas Teknik Universitas Yogyakarta, 2004).

2.2.1 Komponen-Komponen Sistem Pendingin Air

Komponen-komponen utama sistem pendingin air terdiri dari radiator, pompa air, termostat, dan kipas ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komponen-komponen sistem pendingin
Sumber: www.oakvilleautoradiator.com/services.html

1. Radiator

Radiator merupakan alat penukar kalor dan termasuk ke dalam jenis *heat exchanger*. Radiator berfungsi untuk melepaskan panas yang dibawa oleh cairan pendingin dari mesin ke udara luar melalui dinding radiator. Bagian-bagian radiator

antara lain: tangki air bagian atas (*upper water tank*), tangki air bagian bawah (*lower water tank*), inti radiator (*radiator core*), sirip (*fin*), kisi-kisi (*tube*) tutup radiator (*radiator cap*), sambungan selang atas (*upper hose*) dan sambungan selang bawah (*lower hose*) (Tim Fakultas Teknik Universitas Yogyakarta, 2004). Bagian-bagian radiator dapat dilihat pada gambar 2.2.

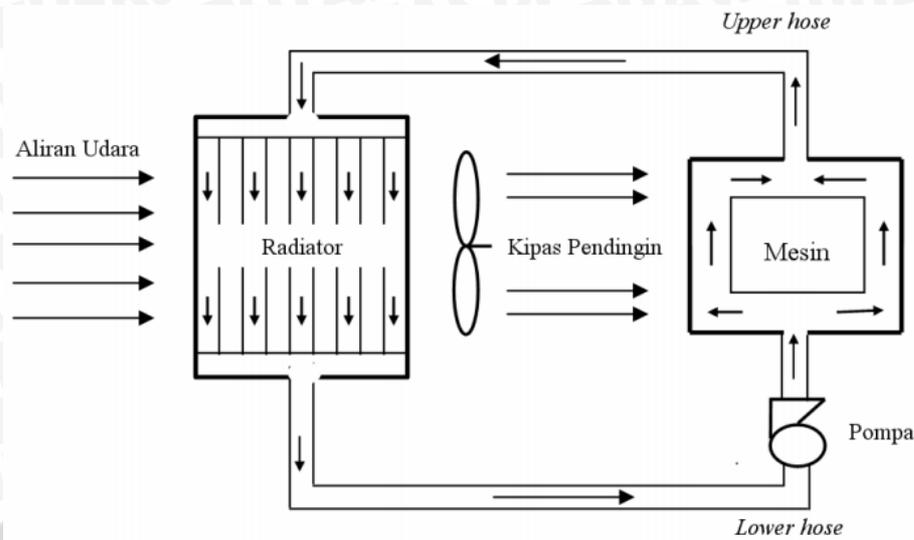


Gambar 2.2 Bagian-bagian radiator

Sumber: www.autoexcellenceonline.com/radiator-water-pump-cooling-system.html

Cara kerja radiator adalah panas dari mesin yang diserap oleh cairan pendingin (*coolant*) dialirkan ke radiator dengan bantuan pompa. Setelah itu, *coolant* yang telah panas tersebut melewati kisi-kisi radiator kemudian terjadi perpindahan panas secara konduksi melalui dinding radiator. Selanjutnya, panas dipindahkan dari dinding radiator ke udara luar secara konveksi dengan bantuan kipas sehingga temperaturnya pun menurun. *Coolant* yang telah dingin kembali tersebut kemudian dipompakan ke *water jacket* untuk bersirkulasi dan menyerap serta melepas panas lagi.

Sirkulasi sistem pendingin pada mobil dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Sirkulasi sistem pendingin pada mobil

Sumber: Murti: 2008

2. Pompa air

Pompa air (*water pump*) berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin dari *water jacket* ke radiator kemudian dipompakan kembali ke *water jacket*. Pada umumnya pompa air yang digunakan adalah jenis pompa sentrifugal (*centrifugal pump*). Contoh pompa air dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pompa Air

Sumber: www.autoexcellenceonline.com/radiator-water-pump-cooling-system.html

3. Termostat

Termostat dirancang untuk mempertahankan agar temperatur *coolant* berada dalam batas yang diijinkan. Kerja termostat tergantung oleh suhu, jika suhunya naik maka termostat akan membuka dan sebaliknya jika suhunya turun maka termostat akan menutup. Hal tersebut dapat terjadi karena didalam termostat terdapat *wax* yang volumenya akan berubah apabila suhunya juga berubah. Perubahan volume akan menyebabkan silinder bergerak turun atau naik, mengakibatkan katup membuka atau menutup. Gambar termostat dapat dilihat pada gambar 2.5.

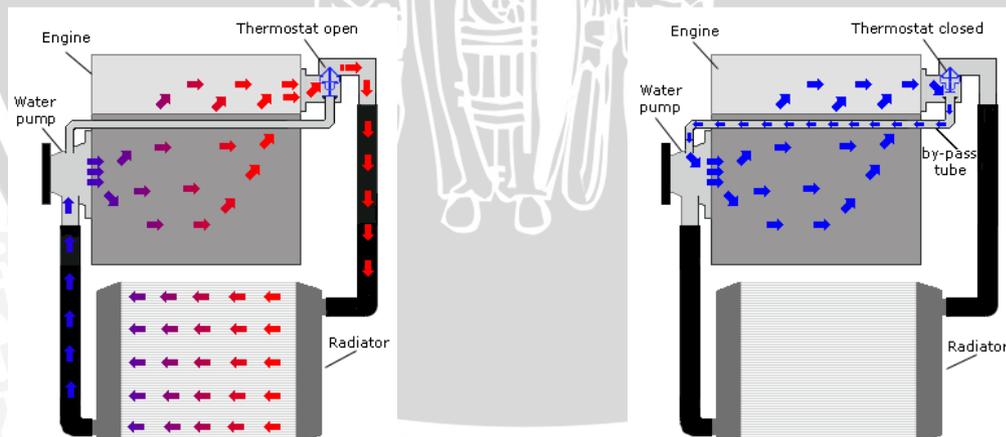


Gambar 2.5 Termostat

Sumber : www.samarins.com/glossary/thermostat.html

Pada saat mesin masih dingin, air hanya bersirkulasi di sekitar mesin karena termostat masih menutup. Dalam hal ini termostat berfungsi untuk membuka dan menutup saluran air dari mesin ke radiator. Air mendapat tekanan dari pompa air, tetapi tekanan tersebut tidak mampu menekan termostat menjadi terbuka. Untuk mencegah timbulnya tekanan yang berlebihan akibat proses pemompaan, maka pada sistem pendingin dilengkapi dengan saluran *by pass*, sehingga air yang bertekanan akan kembali melalui saluran *by pass* tersebut.

Pada saat mesin panas, termostat terbuka sehingga air yang telah panas karena menyerap panas dari mesin tersebut disalurkan ke radiator untuk didinginkan dengan bantuan kipas radiator dan aliran udara dengan adanya gerakan maju dari kendaraan. Air pendingin yang sudah dingin kemudian disalurkan kembali ke *water jacket* oleh pompa air. Cara kerja termostat tersebut ditunjukkan pada gambar 2.6.



a. Termostat dalam keadaan terbuka

b. Termostat dalam keadaan tertutup

Gambar 2.6 Cara kerja termostat

Sumber: www.samarins.com/glossary/thermostat.html

4. Kipas

Kipas pada sistem pendingin digunakan untuk membantu proses pendinginan yang sudah dilakukan radiator. Pada proses pendinginan, radiator didinginkan oleh udara luar, tetapi pendinginannya belum cukup jika kendaraan tidak bergerak. Kipas pendingin ditempatkan di bagian belakang radiator. Penggerak kipas pendingin adalah mesin itu sendiri melalui belt atau motor listrik. Kipas radiator dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kipas radiator

Sumber: www.mustangmonthly.com/eventcoverage/mump_0903_2008_sema_ford_mustangs/photo_13.html

2.2.2 Coolant

Coolant merupakan cairan pendingin yang digunakan dalam sistem pendingin untuk menyerap panas dari mesin dan melepaskannya ke udara luar melalui dinding radiator (Subroto, 2004). Kemampuan *Coolant* dalam menyerap dan melepas panas sangat penting dalam sistem pendingin mesin agar tidak terjadi *overheating*.

Agar sistem pendinginan dapat bekerja dengan optimal maka diperlukan cairan pendingin yang memiliki sifat: kemampuan *heat transfer* yang baik, tidak mudah bereaksi dengan logam, memiliki derajat kesadahan yang rendah (mencegah terjadinya kerak, karat, dan pengikisan), memiliki titik beku yang rendah, titik didih yang tinggi, serta memiliki kemampuan melindungi komponen mesin yang dilewatinya (Subroto, 2004).

Secara teori, air merupakan media pendingin yang baik untuk membuang panas dari mesin. Air dalam keadaan normal mampu menyerap dan mengeluarkan kalor apabila melewati bidang permukaan yang luas atau tipis. Namun jika air sudah mencapai

titik didih, air tidak dapat menerima kalor lagi. Hal itu dikarenakan air tersebut sudah jenuh dengan kalor yang menyebabkan molekul oksigen bergetar keras dan berbenturan sehingga bergabung menjadi gelembung udara yang dapat menghambat pelepasan kalor ke udara luar.. Hal tersebut menyebabkan kalor dari mesin akan mencari ruang untuk memuai. Bagian yang paling mudah untuk memuai adalah ruang bakar (silinder) karena letaknya yang langsung dengan pembakaran. Jika terjadi secara terus-menerus maka silinder, ring piston, dan piston akan memuai lalu celah (gap) liner akan menyempit, akibatnya gerakan komponen-komponen di mesin menjadi berat karena adanya gesekan yang terjadi antara piston dan *cylinder head*. Hal tersebut dapat membuat tenaga yang dihasilkan menurun dan dapat membuat mobil mogok.

Di samping itu, air dapat menyebabkan korosi yang lambat laun akan mengakibatkan terjadinya pengikisan pada dinding radiator hingga terjadi kebocoran. Selain itu, air juga memiliki kandungan mineral-mineral yang dapat menimbulkan kerak dan endapan sehingga menyumbat bagian-bagian radiator yang menyebabkan sirkulasi aliran tidak berjalan lancar dan dapat mengakibatkan *overheating*.

Coolant memiliki kelebihan dibandingkan dengan air biasa, yaitu memiliki titik didih tinggi, memiliki kandungan mineral yang sedikit, mengandung bahan aditif yang anti karat, mencegah korosi, mampu melumasi pompa air, dan menetralkan asam agar tidak timbul deposit mineral serta kegunaan lainnya. Bahan dasar yang paling umum dalam penggunaan *coolant* adalah *ethylene glycol*.

2.2.3 Ethylene Glycol

Ethylene glycol merupakan senyawa yang dapat digolongkan sebagai polialkohol, berupa zat cair yang tidak berwarna, kental, mudah larut dalam air serta berasa manis namun beracun. *Ethylene glycol* memiliki titik didih yang relatif tinggi yaitu 198° C dan titik bekunya -12° C.

Pembuatan *ethylene glycol* dapat dibuat dengan mengoksidasi etilena menggunakan katalisator perak, sehingga terbentuk etilen oksida. Etilen oksida yang diperoleh dihidrolisis dalam lingkungan asam sehingga terbentuk etilen glikol. *ethylene glycol* seperti halnya air dapat membentuk ikatan hidrogen, maka etilen glikol dapat bercampur dengan air pada segala perbandingan. Campuran *ethylene glycol* dalam air sangat berperan dalam meningkatkan titik didih. Karena jumlah *ethylene glycol* yang ada dalam larutan akan sangat menurunkan tekanan uap larutan yang terjadi. Hal ini

selain disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen antara molekul air dan molekul etilen glikol, secara kuantitatif molekul etilen glikol akan menghalangi proses penguapan pelarut air, sehingga titik didih larutan akan meningkat (Hart Harold, 2007 : 238). Nilai titik beku dan titik didih *ethylene glycol* dalam variasi konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Titik Beku *Coolant* dalam Variasi Prosentase Konsentrasi *Ethylene Glycol*

Weight Percent EG (%)	Freezing Point (deg F)	Freezing Point (deg C)
0	32	0
10	25	-4
20	20	-7
30	5	-15
40	-10	-23
50	-30	-34
60	-55	-48
70	-60	-51
80	-50	-45
90	-20	-29
100	10	-12

Sumber: www.en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol

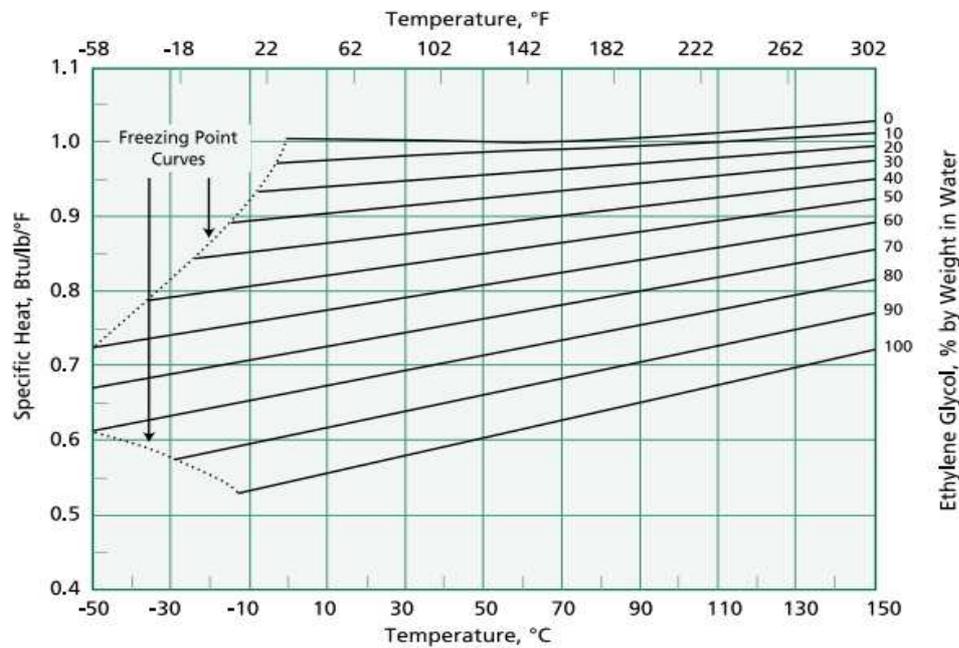
Tabel 2.2 Titik Didih *Coolant* dalam Variasi Prosentase Konsentrasi *Ethylene Glycol*

Weight Percent EG (%)	Boiling Point (deg F)	Boiling Point (deg C)
0	212	100
10	215	102
20	215	102
30	220	104
40	220	104
50	225	107
60	230	110
70	240	116
80	255	124
90	285	140
100	387	197

Sumber: www.en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol

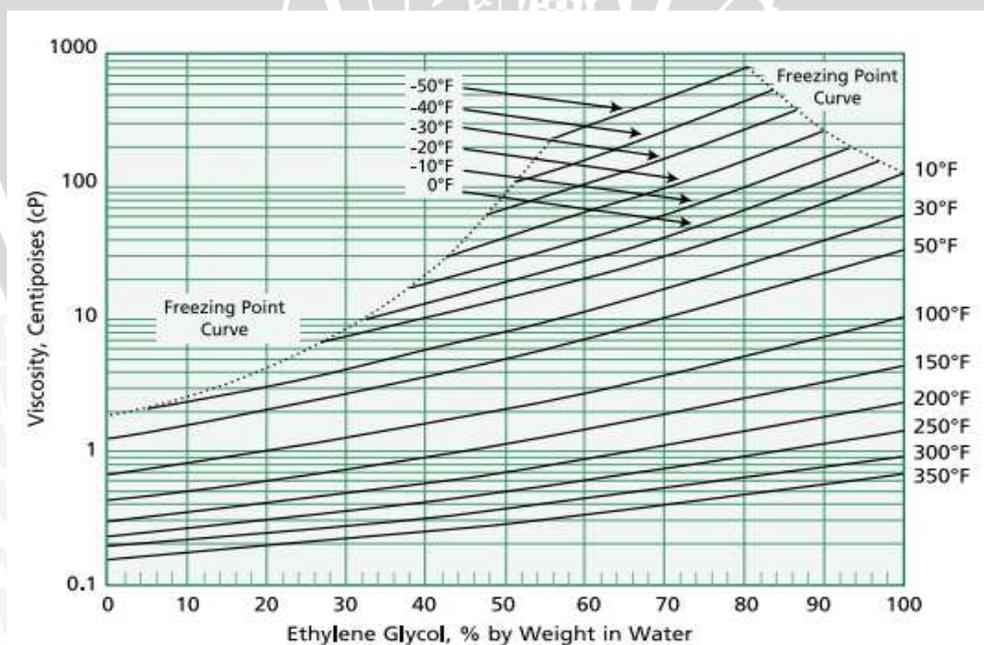
Setiap variasi prosentase *ethylene glycol* memiliki properties fluida yang berbeda-beda pula. Nilai kapasitas panas spesifik, viskositas dinamik dan berat jenis

ethylene glycol bervariasi sesuai dengan prosentase konsentrasi *ethylene glycol* dan air. Nilai parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8, 2.9, 2.10 dan 2.11.



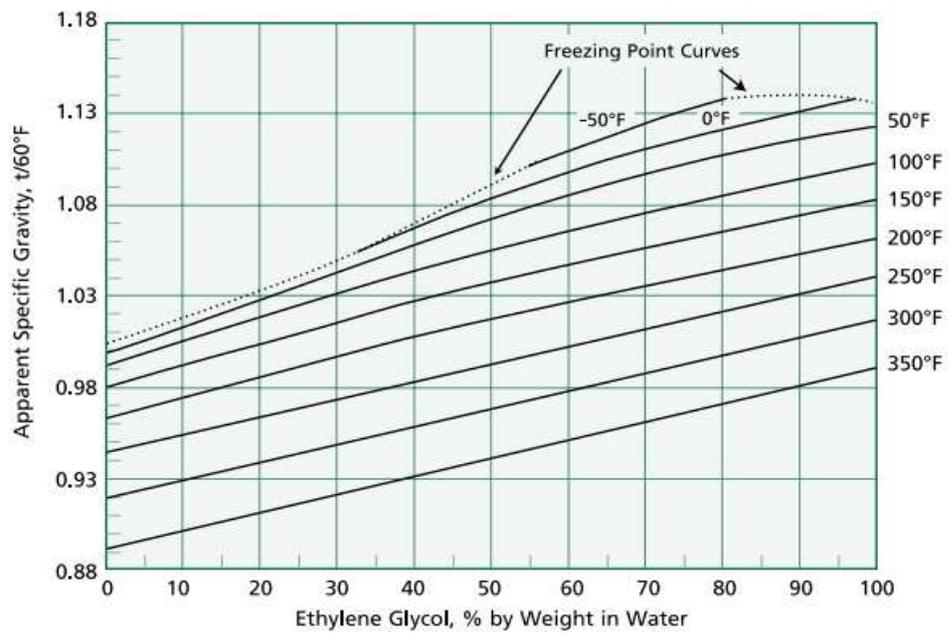
Gambar 2.8 Kapasitas Panas Spesifik (C_p) *Coolant* dalam Variasi Temperatur dan Konsentrasi *Ethylene glycol*

Sumber: <http://www.dow.com/ethyleneglycol>



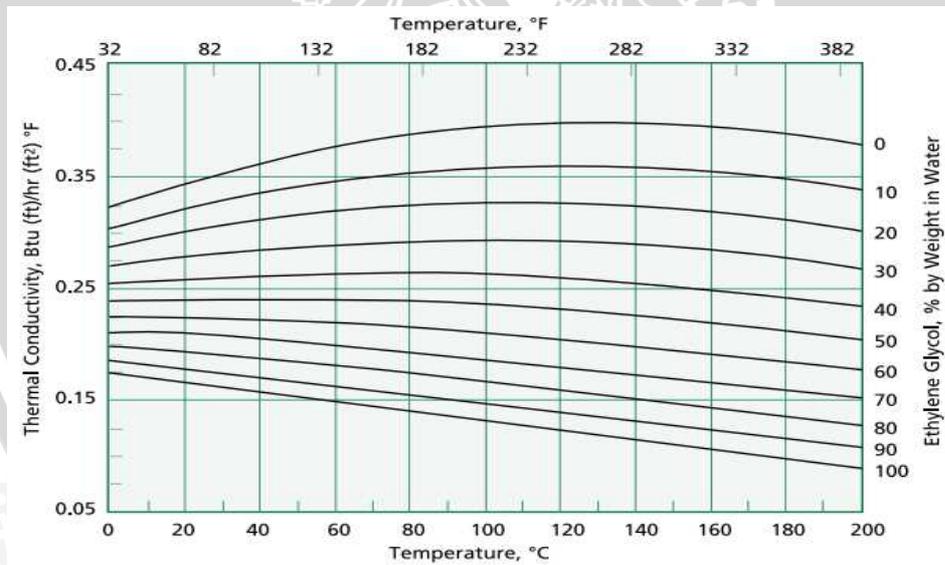
Gambar 2.9 Viskositas Dinamik (μ) *Coolant* dalam Variasi Temperatur dan Konsentrasi *Ethylene glycol*

Sumber: <http://www.dow.com/ethyleneglycol>



Gambar 2.10 Berat Jenis (γ) Coolant dalam Variasi Temperatur dan Konsentrasi Ethylene glycol

Sumber: <http://www.dow.com/ethyleneglycol>



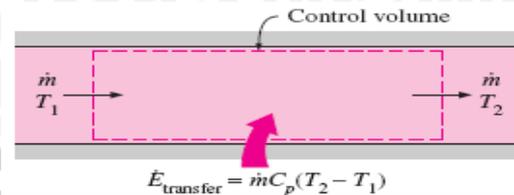
Gambar 2.11 Konduktivitas Termal (K) Coolant dalam Variasi Temperatur dan Konsentrasi Ethylene glycol

Sumber: <http://www.dow.com/ethyleneglycol>

2.3 Energi Kalor

Kalor adalah suatu bentuk energi yang dipindahkan dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Pada fluida yang mengalir *steady* di dalam suatu saluran terdapat satu *inlet* dan satu *outlet* maka laju aliran massa fluida yang masuk

akan sama dengan laju aliran massa fluida keluar atau $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$, jika fluida tersebut tidak melakukan kerja maka besarnya energi kalor yang ditransfer akan sama dengan perubahan energi yang terdapat pada sistem tersebut, ilustrasi tentang hal ini dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Transfer energi kalor pada sistem dengan *control volume*
Sumber: Cengel (2003:13)

Besarnya laju energi kalor pada sistem tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (\text{Cengel, 2002:13}) \quad (2-1)$$

dengan : \dot{Q} = Laju energi kalor (W)

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

C_p = Kalor spesifik pada tekanan konstan (J/kg.°C)

ΔT = Perubahan temperatur (°C)

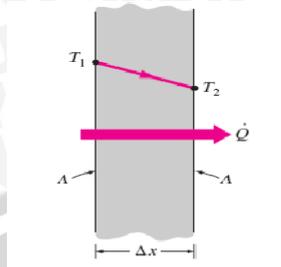
2.4 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Perpindahan energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu lebih rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama. Jika kedua sistem mempunyai temperatur yang sama maka tidak akan ada perpindahan panas pada kedua sistem tersebut. Panas dapat berpindah dengan tiga cara yang berbeda yaitu: konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada *heat exchanger*, perpindahan kalor terjadi secara konduksi dan konveksi.

2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah proses perpindahan panas melalui lapis benda padat. Laju perpindahankalor konduksi melalui medium benda padat tergantung pada geometri, ketebalan, dan material dari medium, serta tergantung pada perbedaan

temperatur yang melintasi medium tersebut. Perpindahan kalor konduksi melalui sebuah dinding dapat dilihat pada gambar 2.13 di bawah ini.



Gambar 2.13 Perpindahan kalor konduksi
Sumber: Çengel (2003:18)

Besarnya laju perpindahan kalor konduksi tergantung kepada luas permukaan yang dilalui kalor, perbedaan temperatur, dan konduktivitas termal material, namun berbanding terbalik terhadap ketebalan dari permukaan yang dilalui oleh kalor, sehingga dapat dinyatakan:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Çengel, 2003:18}) \quad (2-2)$$

dengan:

\dot{Q}_{cond} = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m °C)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m²)

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$ = Perbedaan temperatur permukaan perpindahan kalor (°C)

Δx = Ketebalan permukaan perpindahan panas pada arah x (m)

Konduktivitas termal merupakan suatu konstanta proporsional yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan kalor. konduktivitas termal di definisikan sebagai besarnya kalor yang dapat dihantarkan oleh setiap unit tebal dari material per unit area per unit perbedaan temperatur.

2.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor konveksi merupakan proses perpindahan kalor melalui lapis fluida. Semakin cepat gerakan fluida akan menyebabkan semakin besar pula perpindahan kalor konveksinya. Dengan tidak adanya gerakan fluida maka perpindahan kalor antara permukaan benda padat dengan fluida disekitarnya merupakan murni perpindahan kalor konduksi. Secara umum, perpindahan kalor konveksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

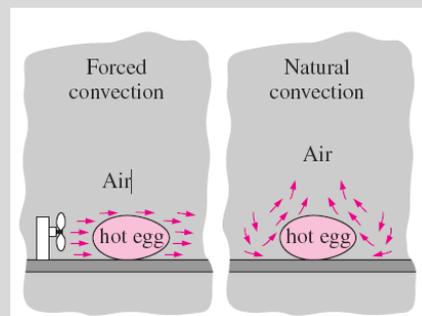
1. Konveksi bebas (*free convection*)

Pada konveksi bebas gerakan perpindahan fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradien temperatur, proses ini terjadi secara alamiah sehingga sering disebut konveksi alamiah (*natural convection*).

2. Konveksi paksa (*forced convection*)

Pada konveksi paksa fluida dipaksa bergerak oleh adanya gaya atau energi dari luar, misalnya oleh kipas, transfer kalor yang dihasilkan akan lebih tinggi dari konveksi bebas.

Gambar 2.14 menunjukkan ilustrasi konveksi bebas dan konveksi paksa pada proses pendinginan telur rebus.



Gambar 2.14 Konveksi paksa (kiri) dan konveksi bebas (kanan)

Sumber: Cengel (2003:26)

Berdasarkan hukum pendinginan Newton, besarnya laju perpindahan kalor konveksi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h A (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{Cengel, 2003 : 26}) \quad (2-3)$$

dengan :

\dot{Q}_{conv} = Laju perpindahan kalor konveksi (W)

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

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

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

T_{∞} = Temperatur fluida pada jarak tertentu dari permukaan benda ($^\circ\text{C}$)

2.4.2.1 Angka Prandtl (Pr)

Perbandingan antara viskositas kinematik fluida dan difusivitas termal dapat dideskripsikan oleh parameter tak berdimensi yaitu angka Prandtl. Viskositas kinematik fluida merupakan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerakan

molekul. Sedangkan difusivitas termal merupakan petunjuk tentang difusi kalor dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua hal tersebut menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor dalam fluida.

Kedua laju difusi ini akan menentukan berapa tebal lapisan batas termal pada suatu medan aliran tertentu. Sehingga bilangan Prandtl merupakan penghubung antara medan kecepatan dan medan suhu yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Pr = \frac{\text{difusivitas momentum}}{\text{difusivitas termal}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/C_p \rho} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (\text{Holman, 1991 : 213}) \quad (2-4)$$

dengan:

- α = difusivitas termal fluida (m^2/s)
- c_p = kalor spesifik ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)
- k = konduktivitas termal fluida ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
- μ = viskositas dinamik fluida ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
- ν = viskositas kinematik (m^2/s)

2.4.2.2 Angka Reynold (Re)

Angka Reynold merupakan perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos yang digunakan sebagai kriteria yang menunjukkan apakah aliran itu laminar atau turbulen (Holman, 1991:195). Fluida yang mengalir memiliki suatu pola aliran tertentu, aliran fluida dapat berupa aliran laminar yang bergerak secara teratur dan *streamline*, serta aliran turbulen yang bergerak tidak teratur (acak). Pola aliran fluida ini tergantung dari perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos yang dinyatakan dengan angka Reynold. Jika angka Reynold rendah maka gaya viskos dapat menghambat gaya inersia akibat kecepatan fluida sehingga aliran fluida menjadi laminar, jika angka Reynold tinggi maka gaya inersia yang berhubungan dengan densitas dan kecepatan fluida nilainya relatif lebih besar terhadap gaya viskos, gaya viskos tidak dapat menahan fluktuasi fluida yang cepat dan acak, hal ini menimbulkan turbulensi pada aliran tersebut.

Angka Reynold aliran menjadi turbulen disebut dengan angka Reynold kritis. Besarnya angka Reynold kritis berbeda tergantung pada bentuk geometri aliran. Berdasarkan kebanyakan kondisi percobaan, aliran dalam pipa merupakan aliran laminar pada $Re < 2300$, turbulen pada $Re > 10000$, dan transisi pada $2300 < Re < 10000$.

Secara matematis besarnya angka Reynold untuk aliran dalam pipa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Re = \frac{vD_h}{\nu} \quad (\text{Cengel, 2003 : 442}) \quad (2-5)$$

dengan :

v = Kecepatan rata-rata fluida (m/s)

D_h = Diameter hidrolik pipa (m)

$\nu = \mu/\rho$ = Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

μ = Viskositas dinamik (kg/m.s)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

Untuk pipa pelat atau persegi panjang dapat dilakukan pendekatan dengan mengingat bahwa diameter hidrolik adalah empat kali rasio antara luas penampang yang dialiri fluida dengan perimeter basahannya atau dalam hal ini diasumsikan sebagai keliling penampangnya, sehingga diameter hidrolik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D_h = \frac{4(p \cdot l)}{2(p + l)} \quad (\text{Kuppan, 2000 : 176}) \quad (2.6)$$

Dimana:

P = panjang (m)

L = lebar (m)

2.4.2.3 Angka Nusselt (Nu)

Perpindahan panas melalui lapisan fluida akan terjadi secara konveksi ketika lapisan fluida tersebut bergerak dan akan terjadi secara konduksi ketika lapisan fluida tidak bergerak. Angka Nusselt menunjukkan besar perpindahan panas melalui proses konveksi terhadap besar perpindahan panas melalui proses konduksi pada lapisan fluida yang sama (Cengel, 2003:351). Semakin besar angka Nusselt maka perpindahan panas konveksi akan semakin efektif, angka Nusselt (Nu) = 1 untuk lapisan fluida menunjukkan bahwa perpindahan panas yang terjadi melewati lapisan tersebut murni melalui proses konduksi. Laju perpindahan panas tiap waktu tiap unit luas pada proses konveksi dan konduksi adalah sebagai berikut.

$$\dot{q}_{conv} = h \Delta T \quad (\text{Cengel, 2003 : 336}) \quad (2-7)$$

$$\dot{q}_{cond} = k \frac{\Delta T}{\delta} \quad (\text{Cengel, 2003 : 336}) \quad (2-8)$$

Sehingga rasionya menjadi:

$$\frac{\dot{q}_{\text{conv}}}{\dot{q}_{\text{cond}}} = \frac{h \Delta T}{k \frac{\Delta T}{\delta}} = \frac{h\delta}{k} = \text{Nu} \quad (\text{Cengel, 2003 : 336}) \quad (2-9)$$

dengan :

δ = geometri benda dari mana kalor mengalir (m)

Incropera menjelaskan untuk aliran turbulen di dalam pipa dengan penampang yang noncircular dapat menggunakan persamaan Colburn berikut:

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{4/5} \cdot \text{Pr}^{1/3} \quad (\text{Incropera, 1985 : 398}) \quad (2-10)$$

2.5 Heat Exchanger

Alat penukar panas (*heat exchanger*) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang mempunyai temperatur (Cengel, 2003: 667). Alat penukar panas diklasifikasikan berdasarkan arah aliran dan tipe konstruksinya. Berdasarkan arah, aliran *heat exchanger* dapat dibagi menjadi 3, yaitu aliran searah (*parallel flow*), aliran berlawanan (*counter flow*) dan aliran bersilangan (*cross flow*). Sedangkan berdasarkan tipe konstruksinya alat penukar panas yang umum digunakan adalah tipe *consentric double tube*, *shell and tube*, *compact heat exchanger*. Radiator merupakan alat penukar kalor jenis *compact heat exchanger*.

2.6 Laju Perpindahan Kalor pada Heat Exchanger

Besarnya laju perpindahan kalor pada suatu alat penukar panas (*heat exchanger*) dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$\dot{Q} = U A \Delta T_m \quad (\text{Cengel, 2003 : 680}) \quad (2-11)$$

dengan :

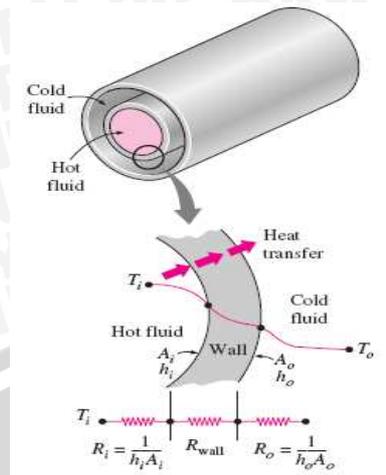
\dot{Q} = Laju perpindahan panas (W)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m². °C)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

ΔT_m = Perbedaan temperatur rata-rata diantara kedua fluida pada masing-masing sisi (°C)

Pada *concentric double tube heat exchanger* terdapat dua fluida yang memiliki temperatur berbeda yang dibatasi oleh dinding pipa dalam (*inner tube*), sehingga untuk melakukan perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin maka ilustrasi hambatan termalnya dapat terlihat seperti pada gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15 Hambatan termal pada *concentric double tube heat exchanger*
Sumber: Cengel (2003 : 671)

Dalam transfer kalor tersebut terjadi tiga proses perpindahan panas yaitu proses perpindahan panas konveksi yang terjadi antara fluida dengan permukaan bagian dalam pipa dari pipa dalam (*inner tube*), perpindahan panas konduksi yang terjadi dari permukaan dalam hingga permukaan luar dari pipa dalam (*inner tube*), serta proses perpindahan panas konveksi antara fluida yang terdapat pada pipa luar (*outer tube*) dengan permukaan luar dari pipa dalam (*inner tube*), sehingga dapat dinyatakan:

$$R = R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{wall}} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (\text{Cengel, 2003 : 672}) \quad (2-12)$$

dengan:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = U \cdot A \cdot \Delta T = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T = U_o \cdot A_o \cdot \Delta T \quad (\text{Cengel, 2003 : 672}) \quad (2-13)$$

Sehingga:

$$\frac{1}{U A_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (\text{Cengel, 2003 : 672}) \quad (2-14)$$

dengan :

\dot{Q} = Laju perpindahan panas (Watt)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (Watt/m²°C)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (Watt/m²°C)

A = Luas permukaan pipa (m²)

D = Diameter pipa (m)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m °C)

L = Panjang pipa (m)

i = Pipa dalam bagian dalam

o = Pipa dalam bagian luar

Sehingga laju perpindahan panas dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \frac{T_h - T_c}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o - D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (\text{Holman, 1991: 482}) \quad (2-15)$$

dengan :

T_h = Temperatur fluida panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_c = Temperatur fluida dingin ($^{\circ}\text{C}$)

2.7 Efektifitas

Keefektifan *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan laju perpindahan panas yang sebenarnya (nyata) terhadap laju perpindahan panas maksimum yang mungkin sehingga efektifitas (ϵ) dari alat penukar panas (*heat exchanger effectiveness*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} \quad (\text{Holman, 1991: 498}) \quad (2-16)$$

Perpindahan kalor nyata (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\dot{Q} = C_c (T_{c,\text{out}} - T_{c,\text{in}}) = C_h (T_{h,\text{in}} - T_{h,\text{out}}) \quad (\text{Cengel, 2003 : 690}) \quad (2-17)$$

$$C_c = \dot{m}_c \cdot C_{p,c} \quad \text{dan} \quad C_h = \dot{m}_h \cdot C_{p,h}$$

dengan :

\dot{Q} = Laju perpindahan panas nyata (W)

\dot{m}_h = Laju massa alir fluida panas (kg/s)

\dot{m}_c = Laju massa alir fluida dingin (kg/s)

$C_{p,c}$ dan $C_{p,h}$ = Kalor spesifik fluida panas dan dingin (J/(kg. $^{\circ}\text{C}$))

$T_{c,in}$ dan $T_{c,out}$ = Temperatur untuk fluida dingin masuk dan keluar ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{h,in}$ dan $T_{h,out}$ = Temperatur untuk fluida panas masuk dan keluar ($^{\circ}\text{C}$)

C_c dan C_h = Kapasitas kalor fluida panas dan dingin (W/ $^{\circ}\text{C}$)

Perpindahan panas maksimum yang mungkin pada alat penukar panas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = C_{\min} (T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}}) \quad (\text{Cengel, 2003 : 691}) \quad (2-18)$$

Sehingga efektifitas dari suatu alat penukar panas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{C_c (T_{c,\text{out}} - T_{c,\text{in}})}{C_{\min}(T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}})} \quad (\text{Cengel, 2003 : 693}) \quad (2-19)$$

2.8 Pressure Drop (Penurunan Tekanan)

Energi yang dimiliki oleh suatu fluida yang mengalir terdiri dari energi dalam dan energi-energi akibat tekanan, kecepatan dan kedudukan. Persamaan Bernoulli untuk fluida ideal menyatakan tentang hukum kekekalan energi pada fluida berupa energi tekanan, kecepatan dan elevasi pada fluida di setiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran adalah sama besarnya. Persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{konstan} \quad (2-20)$$

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \quad (2-21)$$

Apabila persamaan (2-20) dibagi dengan percepatan gravitasi (g) maka persamaan tersebut akan menunjukkan energi fluida tiap satuan berat dari fluida tersebut yang disebut juga dengan *Head*. Sehingga persamaan tersebut akan menjadi:

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{Total Head } (H) = \text{konstan} \quad (2-22)$$

dengan :

P = tekanan statis fluida (N/m^2)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ρ = massa jenis fluida (Kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m^2/s)

z = elevasi fluida (m)

Pada aliran fluida, terdapat *head losses* yang terjadi diantaranya adalah gesekan antara fluida dengan dinding saluran atau karena adanya belokan pada pipa. *Head losses* adalah energi yang hilang pada fluida ketika fluida mengalir. Besarnya *head losses* tergantung pada bentuk, ukuran dan kekasaran saluran serta kecepatan dan viskositas fluida. *Head losses* tersebut akan mengakibatkan penurunan tekanan. *Head losses* aliran fluida dibagi menjadi dua, yaitu *major losses* dan *minor losses*.

2.8.1 Major losses

Merupakan kerugian pada aliran fluida yang disebabkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding saluran. Besarnya *major losses* dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$h_{ma} = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (\text{Olson, 1993 : 357}) \quad (2-23)$$

dengan :

h_{ma} = Major losses (m)

f = Koefisien gesekan

L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan fluida (m/s)

D = Diameter pipa (m)

g = Percepatan gravitasi bumi (m/s²)

2.82 Minor losses

Merupakan kerugian pada aliran fluida yang disebabkan oleh adanya *vortex* dengan komponen atau alat yang terdapat pada saluran tersebut. Adapun yang termasuk alat atau komponen tersebut antara lain katup, saringan, perubahan luas penampang, *orifice*, *longitudinal fin* yang dipasang pada saluran pipa dan sebagainya. Besarnya *minor losses* dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

$$h_{mi} = K \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Olson, 1993 : 356}) \quad (2-24)$$

dengan :

h_{mi} = Minor losses (m)

K = Faktor kerugian komponen

Sehingga *head losses* ($\sum h$) totalnya adalah:

$$\sum h = h_{ma} + \sum h_{mi} \quad (\text{Olson, 1993 : 356}) \quad (2-25)$$

2.9 Hipotesis

Semakin besar prosentase *coolant* maka viskositas dinamik dan massa jenis fluida akan meningkat sehingga koefisien perpindahan kalor konveksi meningkat, akibatnya laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, dan efektifitas pun akan meningkat, sedangkan peningkatan *pressure drop* disebabkan oleh viskositas dinamik, kecepatan dan laju massa alir yang meningkat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan diambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa dibandingkan dan akan menunjukkan suatu pola perbandingan tertentu yang bisa dihubungkan. Dengan cara ini akan diuji pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan nilainya sebelum melakukan penelitian. Besar variabel bebas ini diubah-ubah agar didapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Prosentase campuran air dan *coolant* yang digunakan adalah 100 : 0; 70 : 30; 60 : 40; 50 : 50; 40 : 60 dan 30 : 70 % dari *volume* total kapasitas cairan pendingin pada radiator.

2. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang dijaga konstan dan terkontrol pada saat penelitian dilakukan, tetapi juga mempengaruhi variabel terikat.

Variabel yang terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Laju massa alir yang divariasikan sebesar 50, 55, dan 60 [kg/jam].

3. Variabel terikat

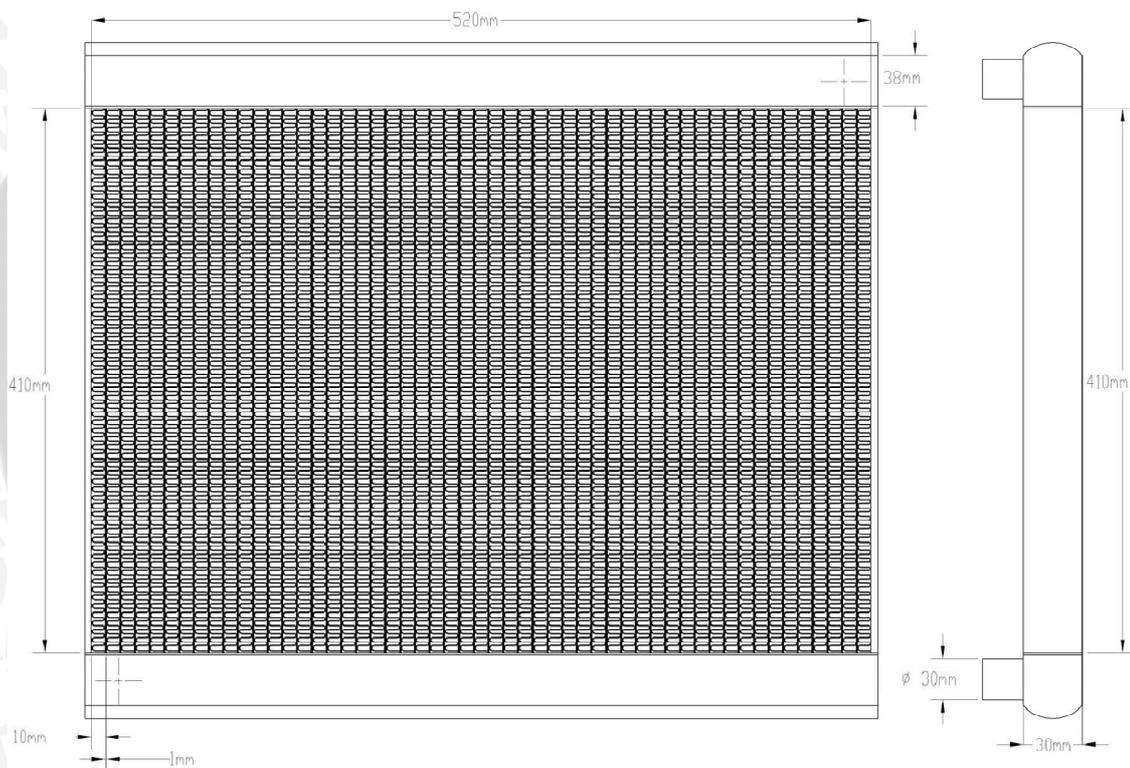
Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah unjuk kerja radiator yang meliputi:

- laju perpindahan kalor
- koefisien perpindahan kalor menyeluruh
- efektifitas
- *pressure drop*

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Radiator, berfungsi sebagai alat penukar panas. Radiator yang digunakan merupakan radiator dari mesin mobil Isuzu dengan kapasitas 4,2 liter *coolant*. Skema radiator dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema radiator

2. *Coolant*, berfungsi sebagai cairan pendingin yang bertugas untuk menyerap panas dari mesin dan membawanya ke radiator. *Coolant* yang digunakan merupakan jenis *ethylene glycol*.
3. Kipas radiator, merupakan kipas yang telah terpasang pada radiator mobil Isuzu yang berfungsi untuk mengalirkan udara (fluida dingin).
4. Pompa, digunakan untuk memompakan cairan pendingin.
5. Motor Diesel

Spesifikasi Motor Diesel yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Merk mesin : Isuzu, Tokyo Co.Ltd
- Model : 4JA1-L
- Siklus : 4 langkah
- Jumlah silinder : 4 buah
- Volume langkah torak : 2449 cm³
- Diameter silinder : 93 mm
- Panjang langkah torak : 92 mm
- Daya maksimum : 80 PS / 3500 rpm
- Torsi maksimum : 19,5 kg/cm² / 1800 rpm
- Perbandingan kompresi : 21:1
- Sistem pembakaran : *Direct injection*
- Bahan bakar : solar
- Pendingin : campuran air dan *coolant*
- Kapasitas tangki : 55 L
- Negara pembuat : Jepang

b. *Tachometer*

Digunakan untuk mengukur kecepatan poros mesin.

c. *Manometer U*

Digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan pada sisi masuk radiator dan sisi keluar radiator.

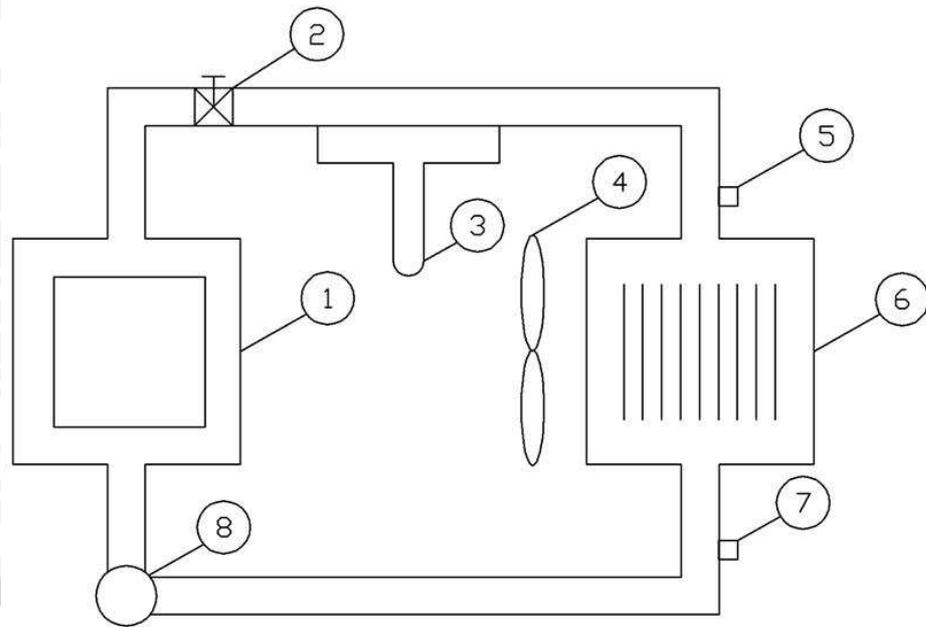
d. *Thermocouple*

Digunakan untuk mengukur laju alir massa *coolant* dengan mengubah suatu besaran fisis berupa temperatur menjadi bentuk listrik berupa beda potensial. *Thermocouple* dipasang sebelum masuk radiator serta setelah keluar radiator.

e. *Valve*

Digunakan untuk mengatur jumlah debit fluida yang masuk ke radiator.

Skema instalasi peralatan pengujian yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 3.2 Skema instalasi peralatan pengujian

keterangan :

1. Mesin
2. Katup
3. Manometer U
4. Kipas
5. *Thermocouple* masuk radiator
6. Radiator
7. *Thermocouple* keluar radiator
8. Pompa

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya, Malang.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian meliputi persiapan yaitu :

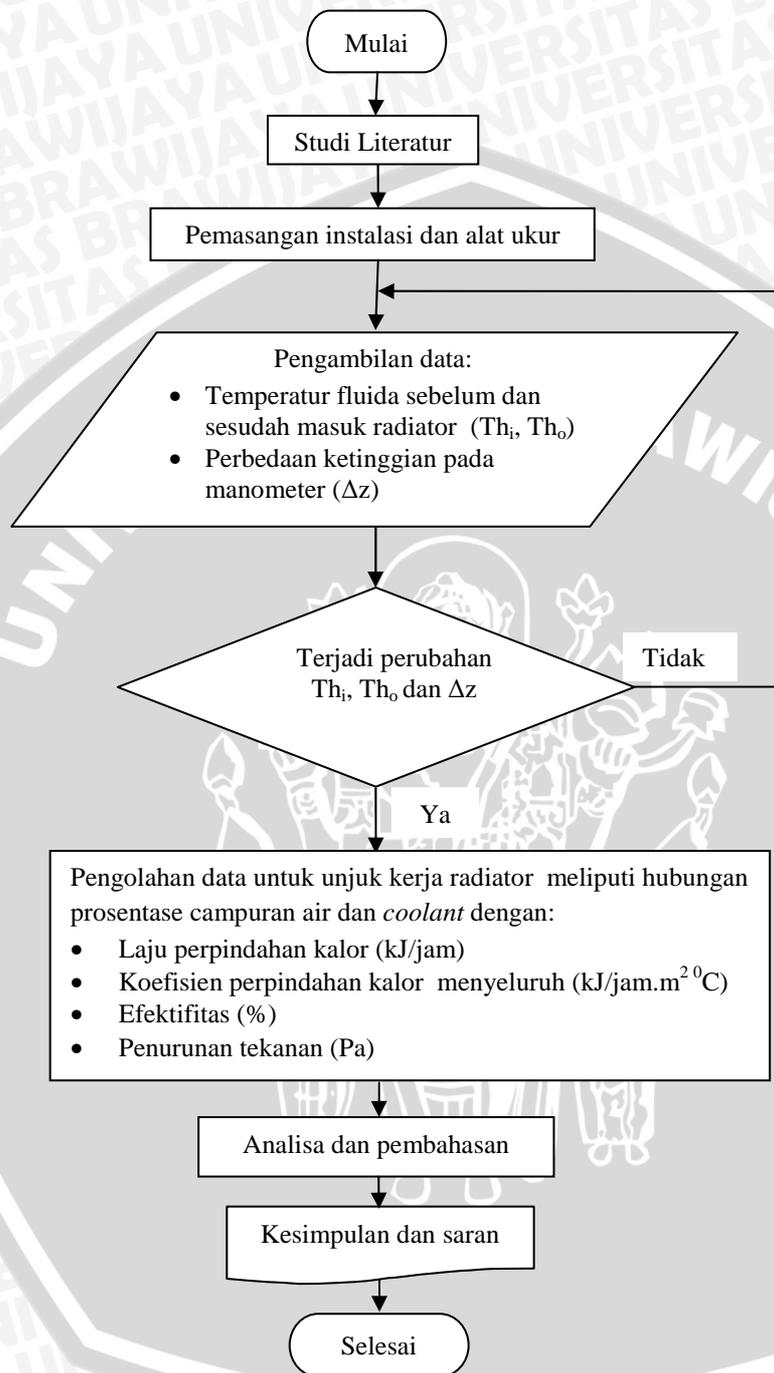
1. Menyiapkan instalasi penelitian.
2. Pengecekan kondisi alat ukur.

Pelaksanaan percobaan :

1. Memasang semua instalasi penelitian.
2. Masukkan *coolant* dengan prosentase campuran air dan *coolant* 100 : 0 % *volume* ke dalam tangki radiator.
3. Mengoperasikan motor diesel hingga putaran mencapai 2500 rpm.
4. Mengatur laju massa alir *coolant* sebesar 50 (kg/jam).
5. Setelah 15 menit, mengambil data temperatur masuk dan temperatur keluar radiator (T_i , dan T_o).
6. Mengambil data perbedaan ketinggian cairan manometer U (Δz) untuk menghitung *pressure drop*.
7. Mematikan mesin dan kuras isi radiator sampai habis.
8. Mengulangi langkah 2-7 dengan variasi prosentase campuran air dan *coolant* serta variasi laju massa alir yang telah ditentukan.
9. Data kemudian diolah serta dilakukan analisa mengenai pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator.
10. Menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan oleh gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pada pengujian pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator diukur data temperatur masuk dan keluar radiator (T_i dan T_o), serta perbedaan ketinggian pada manometer (Δz).

Data hasil pengujian variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian dengan berbagai variasi prosentase campuran air dan *coolant*

No	Prosentase campuran air dan coolant [%]	Laju alir massa (m) [Kg/jam]	Temperatur masuk (T_i) [$^{\circ}$ C]	Temperatur keluar (T_o) [$^{\circ}$ C]	Perbedaan Ketinggian manometer [Δz] (mm H ₂ O)
1	100 : 0	50	65	34	1,5
		55	65	34	1,5
		60	65	34	1,5
2	70 : 30	50	67	34	1,5
		55	67	34	1,5
		60	68	34	2
3	60 : 40	50	68	34	2
		55	68	34	2
		60	69	33	2,5
4	50 : 50	50	70	33	2
		55	70	33	2,5
		60	72	33	2,5
5	40 : 60	50	72	33	2,5
		55	72	33	3
		60	73	32	3
6	30 : 70	50	74	33	3
		55	74	33	3,5
		60	76	33	4

4.1.2 Contoh Perhitungan

Berikut ini adalah contoh perhitungan data pengujian dengan variasi prosentase campuran air dan *coolant* 40 : 60 % pada laju alir massa 50 Kg/jam.

➤ Perhitungan laju perpindahan kalor (\dot{Q})

Propertis dari fluida campuran air dan *coolant* didapatkan dengan cara membaca grafik yang terdapat pada gambar 2.8, 2.9, 2.10 dan 2.11

- $\rho = 1038 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
- $C_p = 0,92 \text{ Btu/(lb}^\circ\text{F)}$
 $= 3,852 \text{ (kJ/kg.}^\circ\text{C)}$
- $\mu = 0,8 \text{ centipose}$
 $= 0,0008 \text{ (m}^2\text{/s)}$
- $k = 0,26 \text{ Btu (ft) / hr (ft}^2\text{)}^\circ\text{F}$
 $= 0,45 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$

Perhitungan laju perpindahan kalor dapat dinyatakan dengan :

$$\text{➤ } \dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Perbedaan temperatur udara (ΔT)

$$\Delta T = T_{hi} - T_{ho} = 68 - 34 = 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

Maka besar laju perpindahan kalor adalah :

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 50 \text{ (kg/jam)} \cdot 3,852 \text{ (kJ/kg.}^\circ\text{C)} \cdot 34 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ &= 6548,16 \text{ (kJ/jam)} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U):

- $$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{k}$$

$$= \frac{0,0008 \cdot 3,852}{0,45}$$

$$= 0,0068$$

- Kecepatan aliran *coolant*:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_c} \\
 &= \frac{\frac{50}{3600} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)}{1038 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left[\left(\frac{1}{4}\right) 3,14 (0,034)^2\right] (\text{m}^2)} \\
 &= 0,147 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan diameter hidrolik (D_H)

$$\begin{aligned}
 D_H &= \frac{4(p \cdot l)}{2(p+l)} \\
 &= \frac{4(0,03 \cdot 0,001)}{2(0,03+0,001)} \\
 &= \frac{0,00012}{0,062} \\
 &= 0,00194 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Angka Reynold (Re) :

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{v \cdot D_H}{\nu} = \frac{v \cdot D_H}{\frac{\mu}{\rho}} \\
 &= \frac{0,147 \text{ (m/s)} \cdot 0,00194 \text{ (m)}}{\frac{0,0007 \text{ (m}^2\text{/s)}}{1038}} \\
 &= 2869,73
 \end{aligned}$$

- Angka Nusselt (Nu)

$$\begin{aligned}
 Nu &= 0,023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \\
 Nu &= 0,023 \cdot 2869,73^{4/5} \cdot 0,0068^{1/3} \\
 Nu &= 2,79
 \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi (h)

$$\begin{aligned}
 h &= Nu \frac{k}{d} \\
 &= 2,79 \frac{0,45 \text{ (W/m}\cdot\text{C)}}{0,015 \text{ (m)}} \\
 &= 41,29 \text{ (W/m}^2\cdot\text{C)}
 \end{aligned}$$

- Luas permukaan perpindahan kalor (A_s)

$$A_s = (p_t \cdot l_t \cdot N_t) + (p_f \cdot l_f \cdot N_f)$$

$$A_s = (0,41 \cdot 0,015 \cdot 104) + (2,6 \cdot 0,015 \cdot 106) \\ = 4,78 \text{ m}^2$$

$$\text{➤ } \dot{Q} = U \cdot A_s \cdot \Delta T$$

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_s \cdot \Delta T}$$

$$U = \frac{6548,16 \text{ kJ/jam}}{(4,78 \text{ m}^2)(68 - 23 \text{ }^\circ\text{C})}$$

$$U = 116,337 \text{ kJ/jam.m}^2.\text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Perhitungan Efektivitas

Berdasarkan persamaan 2-23 maka besarnya efektivitas alat penukar kalor dinyatakan:

$$\text{Efektivitas} = \varepsilon = \frac{\text{Laju perpindahan kalor nyata}}{\text{Laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} \\ = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}}$$

$$\text{Dengan : } \dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}}) \text{ dan,}$$

$$C_c = \dot{m}_c \cdot C_{p,c} \text{ dan } C_h = \dot{m}_h \cdot C_{p,h}$$

Sehingga :

Dalam kasus ini, C_{\min} terjadi pada aliran *coolant*

Sehingga laju kalor maksimum adalah :

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}}) \\ = 50 \cdot 3,82 \text{ kJ/jam. }^\circ\text{C} \cdot (68 - 23^\circ\text{C}) \\ = 8595 \text{ KJ/jam}$$

Sedangkan besarnya perpindahan kalor nyata (\dot{Q}) adalah : 6548,155 (kJ/jam)

Jadi besar efektivitas dari alat penukar kalor adalah :

$$\text{Efektivitas} = \varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{6548,155 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{jam}}\right)}{8595 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{jam}}\right)} = 0,7556 = 75,56 \%$$

➤ Perhitungan *Pressure drop* (Penurunan Tekanan)

Besarnya penurunan tekanan udara didapatkan dari persamaan berikut :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot \Delta z + h_{\text{ma}}$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z + f \frac{L V^2}{2D} \cdot \rho$$

$$\Delta z = 2 \text{ mm H}_2\text{O} = 0,002 \text{ m H}_2\text{O}$$

Nilai f dapat diketahui dengan diagram moody

Dengan $Re = 6504,73$ dan $\frac{\epsilon}{D} = 5 \cdot 10^{-4}$ maka didapatkan nilai $f = 0,0025$

Sehingga besarnya penurunan tekanan (*pressure drop*) adalah :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z + h_{ma}$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z + f \frac{L V^2}{2D} \cdot \rho$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= (1038 \cdot 9,81 \cdot 0,002) + (0,0025 \frac{0,41 \cdot 0,147^2}{2 \cdot 0,001} \cdot 1038) \\ &= 20,667 \text{ N/m}^2 = 20,67 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Data hasil perhitungan dengan berbagai variasi prosentase campuran air dan *coolant* dapat dilihat pada tabel 4.2 – tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan dengan laju alir massa 50 (Kg/jam)

Prosentase <i>coolant</i> (%)	U (kJ/jam. m ² °C)	Q (KJ/jam)	ε (%)	Δp (Pa)
0	115,296	6489,54	73,810	14,973
30	115,616	6507,543	75,000	15,335
40	116,337	6548,155	75,556	20,614
50	119,515	6727,036	78,723	20,847
60	120,391	6776,336	79,592	26,289
70	120,771	6797,688	80,392	31,790

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan dengan laju alir massa 55 (Kg/jam)

Prosentase <i>coolant</i> (%)	U (kJ/jam. m ² °C)	Q (KJ/jam)	ε (%)	Δp (Pa)
0	126,825	7138,494	73,810	15,028
30	127,177	7158,298	75,000	15,388
40	127,971	7202,971	75,556	20,667
50	131,467	7399,74	78,723	26,049

60	132,430	7453,969	79,592	31,549
70	132,848	7477,457	80,392	37,099

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan dengan laju alir massa 60 (Kg/jam)

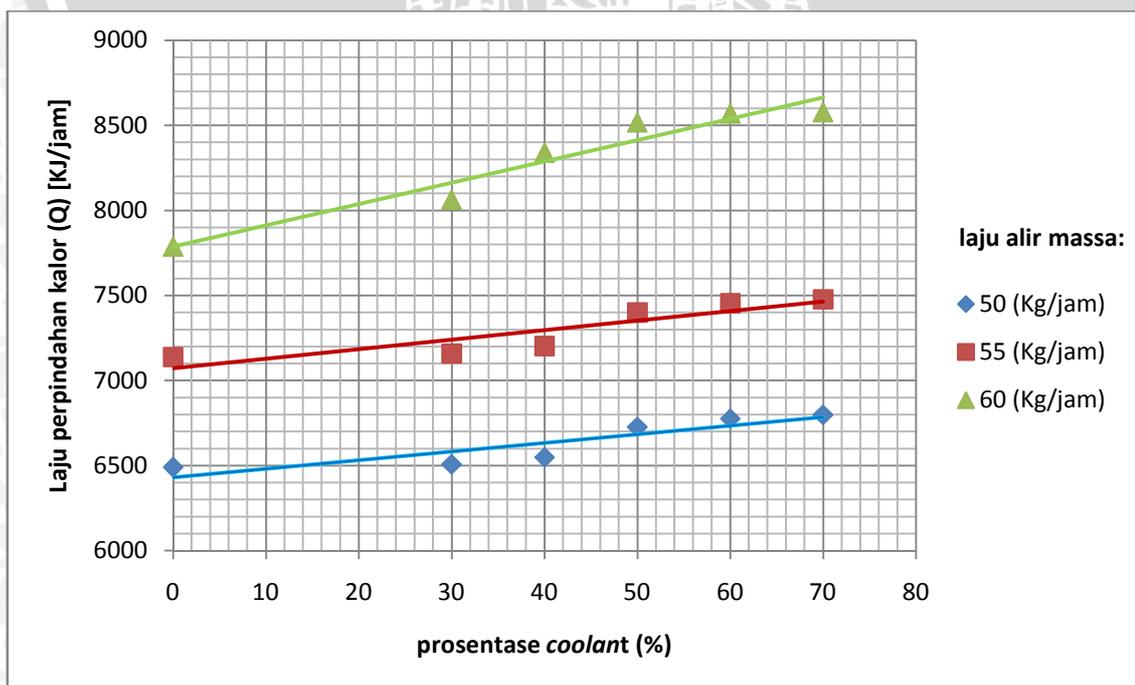
Prosentase <i>coolant</i> (%)	U (kJ/jam. m ² °C)	Q (KJ/jam)	ε (%)	Δp (Pa)
0	138,355	7787,448	73,810	15,087
30	143,246	8062,772	75,556	20,473
40	148,138	8338,096	76,087	25,815
50	151,327	8517,609	79,592	26,106
60	152,244	8569,207	80,392	31,605
70	152,378	8576,744	81,132	42,412

4.2 Pembahasan

Hasil pengolahan data pada pengujian pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut :

4.2.1 Pengaruh Variasi Prosentase Campuran Air dan *Coolant* Terhadap Laju Perpindahan Kalor

Pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap laju perpindahan kalor dapat dilihat dari gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* dengan laju perpindahan kalor

Dari grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap laju perpindahan kalor dengan variasi laju alir massa dapat diketahui bahwa nilai laju perpindahan kalor akan semakin meningkat sebanding dengan adanya penambahan prosentase *coolant*. Prosentase *coolant* 70% mempunyai nilai laju perpindahan panas yang lebih tinggi daripada nilai laju perpindahan panas pada prosentase *coolant* 60, 50, 40, 30 dan 0% (100% air).

Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa laju alir massa berpengaruh terhadap kenaikan nilai laju perpindahan panas. Laju alir massa yang menghasilkan laju perpindahan panas tertinggi secara berurutan adalah 60, 55 dan 50 [Kg/jam]. Nilai laju perpindahan kalor tertinggi ditunjukkan pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 8576,744 [KJ/jam]. Sedangkan nilai laju perpindahan kalor terendah terjadi pada prosentase *coolant* 0 % dengan laju alir massa 50 (Kg/jam), yaitu sebesar 6489,54 [KJ/jam].

Kenaikan laju perpindahan kalor tersebut disebabkan karena penambahan prosentase *coolant* akan meningkatkan perbedaan temperatur masuk dan keluar radiator. Peningkatan perbedaan temperature tersebut dikarenakan titik didih fluida campuran air dan *coolant* meningkat dengan penambahan *coolant* yang menyebabkan panas yang dapat diserap oleh fluida akan lebih banyak sehingga perbedaan temperturnya pun meningkat. Selain itu, nilai laju perpindahan kalor meningkat dikarenakan laju alir massa yang meningkat. Semakin banyak laju alir massa yang dialirkan maka semakin banyak pula panas yang dapat diserap dan dibawa ke radiator unuk didinginkan ke udara luar.

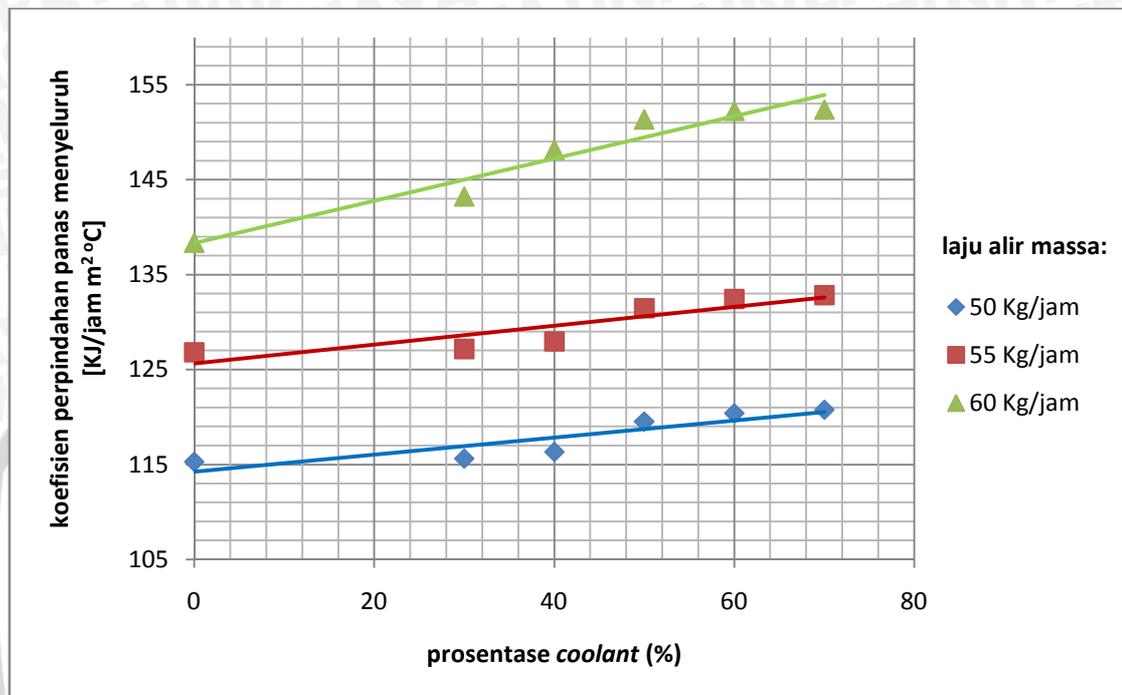
Dengan meningkatnya perbedaan temperatur masuk dan keluar radiator (ΔT) serta laju alir massa (\dot{m}) maka laju perpindahan kalor pun akan meningkat. Berdasarkan persamaan 2-1 yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa nilai laju massa alir udara dan perbedaan temperatur berbanding lurus dengan nilai laju perpindahan kalor. Sehingga dengan bertambahnya nilai laju alir massa dan perbedaan temperatur *coolant*, maka nilai laju perpindahan kalor akan semakin meningkat.

2.2 Pengaruh Variasi Prosentase Campuran Air dan *Coolant* Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dilihat dari gambar 4.2 dibawah ini :



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan semakin meningkat sebanding dengan adanya penambahan prosentase *coolant*. Prosentase *coolant* 70% mempunyai nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang lebih tinggi daripada nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada prosentase *coolant* 60, 50, 40, 30 dan 0% (100% air).

Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa laju alir massa berpengaruh terhadap kenaikan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Laju alir massa yang menghasilkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh tertinggi secara berurutan adalah 60, 55 dan 50 [Kg/jam]. Nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh tertinggi ditunjukkan pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 152,378 [KJ/jam m² °C]. Sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor terendah terjadi pada prosentase *coolant* 0 % dengan laju alir massa 50 (Kg/jam), yaitu

sebesar 120,771 [KJ/jam m² °C]. Kenaikan laju perpindahan kalor menyeluruh tersebut disebabkan karena semakin besar prosentase *coolant* maka viskositas dinamik (μ) semakin besar juga sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar 2.27. Dengan semakin besar viskositas dinamik maka angka Prandtl akan semakin besar juga berdasarkan dari persamaan 2-3, yaitu:

$$\text{Pr} = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/C_p \cdot \rho} = \frac{\mu \cdot C_p}{k}$$

Dengan nilai angka Prandtl yang semakin besar maka angka Nusselt (Nu) akan meningkat, seperti yang dinyatakan pada persamaan 2-8 sebagai berikut:

$$\text{Nu} = 0,023 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,3}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa angka Prandtl (Pr) berbanding lurus dengan angka Nusselt (Nu), sehingga dengan semakin meningkatnya nilai angka Prandtl maka angka bilangan Nusselt akan semakin tinggi.

Angka Nusselt berpengaruh terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar (h_o), seperti yang dinyatakan pada persamaan 2-9 sebagai berikut:

$$h_o = \text{Nu} \frac{k}{d}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa bilangan Nusselt (Nu) berbanding lurus dengan koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar (h_o), sehingga dengan semakin meningkatnya nilai angka Nusselt, maka nilai koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar akan semakin tinggi.

Koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar (h_o) berpengaruh terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U), seperti yang dinyatakan pada persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar (h_o) berbanding lurus dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U), sehingga dengan semakin meningkatnya koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar, maka nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan semakin tinggi.

Dari penjelasan tersebut dapat dibuktikan hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh yaitu dengan

bertambahnya prosentase *coolant* maka nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dari *radiator* akan semakin meningkat.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat juga bahwa dengan semakin meningkatnya laju alir massa maka koefisien perpindahan kalor menyeluruh juga akan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena laju alir massa yang meningkat dapat meningkatkan kecepatan aliran berdasarkan persamaan berikut:

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_c}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa nilai laju alir massa berbanding lurus dengan kecepatan aliran fluida, sehingga dengan semakin bertambahnya laju alir massa maka kecepatan aliran fluida akan semakin meningkat. Sebagaimana yang telah diuraikan diatas, bahwa dengan semakin meningkatnya kecepatan aliran fluida, maka nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan semakin tinggi. Maka kesimpulannya adalah dengan semakin bertambahnya laju massa alir fluida, maka nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan semakin meningkat.

Kecepatan fluida (v) berpengaruh terhadap angka Reynold (Re), seperti yang dinyatakan pada persamaan 2-4 sebagai berikut:

$$Re = \frac{v D_h}{\nu}$$

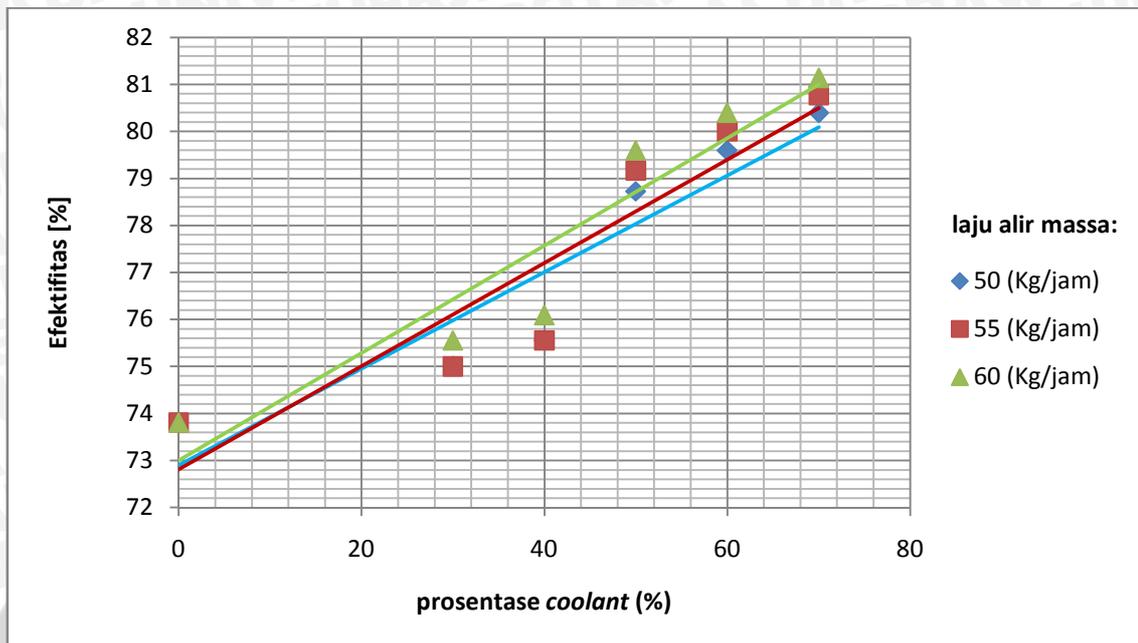
Persamaan diatas menunjukkan bahwa kecepatan fluida (v) berbanding lurus dengan angka Reynold (Re), sehingga dengan semakin meningkatnya kecepatan fluida maka nilai angka Reynold akan semakin tinggi. Peningkatan angka Reynold (Re) berpengaruh terhadap angka Nusselt (Nu), seperti yang dinyatakan pada persamaan 2-10 sebagai berikut:

$$Nu = 0,0.23 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$

Angka Nusselt yang semakin tinggi akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam bagian luar (h_o) yang mengakibatkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) pun semakin meningkat sesuai dengan persamaan yang telah dibahas sebelumnya. Dengan demikian, semakin meningkat laju alir massa maka koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) pun akan semakin meningkat.

4.2.3 Pengaruh Variasi Prosentase Campuran Air dan *Coolant* Terhadap Efektivitas *Radiator*

Pengaruh prosentase campuran air dan *coolant* terhadap efektivitas *radiator* dapat dilihat dari gambar 4.3 dibawah ini :



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* dengan efektivitas radiator

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap efektivitas radiator dengan variasi laju alir massa.. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai efektivitas akan semakin meningkat sebanding dengan adanya penambahan prosentase *coolant*. Prosentase *coolant* 70% mempunyai nilai efektivitas yang lebih tinggi daripada nilai efektivitas pada prosentase *coolant* 60, 50, 40, 30 dan 0% (100% air).

Nilai efektivitas juga cenderung meningkat dengan semakin banyak laju alir massa namun perbedaannya sedikit dengan nilai efektivitas tertinggi secara berurutan dihasilkan oleh laju alir massa 60, 55 dan 50 [Kg/jam]. Nilai efektivitas tertinggi ditunjukkan pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 81,13%. Sedangkan nilai efektivitas terendah terjadi pada prosentase *coolant* 0 % (100% air), yaitu sebesar 73,81%.

Berdasarkan persamaan 2-16 yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas} = \varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}}$$

dapat diketahui bahwa nilai efektivitas berbanding lurus dengan laju perpindahan kalor nyata. Pada radiator dengan penambahan prosentase *coolant*, laju perpindahan kalor

nyata mengalami peningkatan karena meningkatnya perbedaan temperatur fluida masuk dan keluar sesuai dengan persamaan:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T$$

Sehingga dengan meningkatnya laju perpindahan kalor nyata maka dapat meningkatkan efektifitas dari radiator.

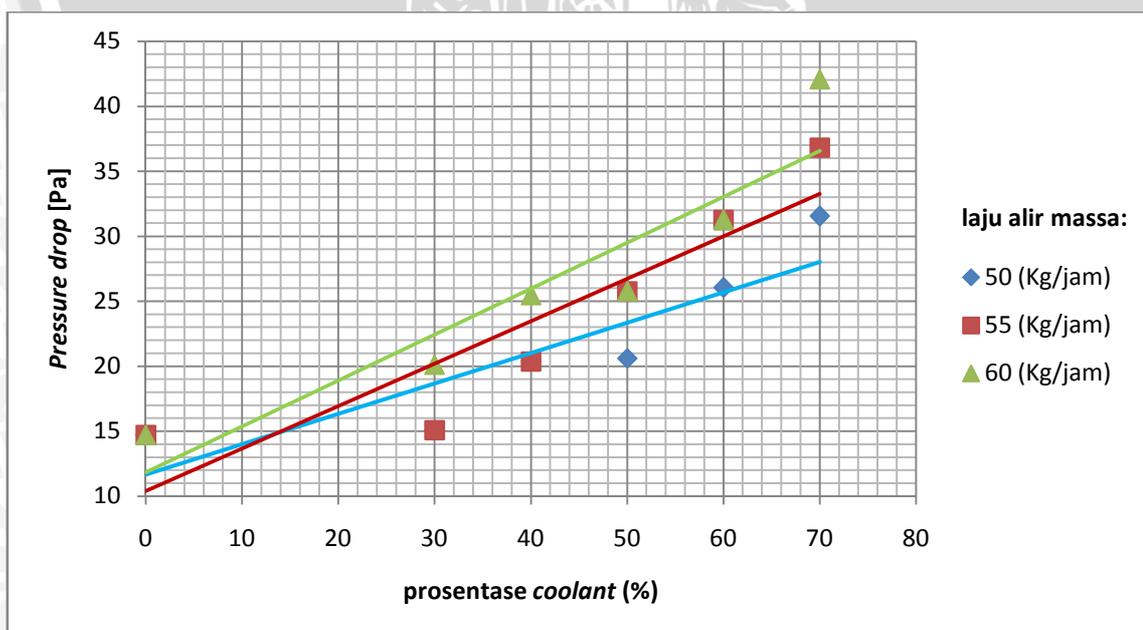
Selain itu juga dapat diketahui bahwa efektifitas tertinggi terjadi pada laju alir massa 60 KJ/jam. Hal ini dikarenakan semakin banyak laju alir massa yang mengalir maka kapasitas kalor akan semakin besar, sesuai dengan rumus $C = \dot{m} \cdot C_p$ sehingga perpindahan kalor nyata pun semakin besar berdasarkan persamaan berikut:

$$\dot{Q} = C (T_{h,in} - T_{c,in})$$

Pada laju alir massa 50 kg/jam, nilai efektifitasnya mendekati nilai efektifitas pada laju alir massa 55 kg/jam. Hal ini dikarenakan pada laju massa alir tersebut, besar laju perpindahan kalor nyata dari laju alir massa 50 kg/jam dengan laju alir massa 55 kg/jam memiliki besar yang sama pada prosentase *coolant* 0, 30%, dan hanya memiliki sedikit perbedaan nilai pada prosentase *coolant* 40, 50, 60 dan 70%.

4.2.4 Pengaruh Variasi Prosentase Campuran Air dan *Coolant* Terhadap *Pressure drop*

Pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap *pressure drop* dapat dilihat dari gambar 4.4 dibawah ini :



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap *pressure drop*

Dari grafik diatas, dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan prosentase *coolant* maka *pressure drop* yang terjadi akan mengalami peningkatan. Prosentase *coolant* 70% mempunyai *pressure drop* yang lebih tinggi daripada *pressure drop* pada prosentase *coolant* 60, 50, 40, 30 dan 0% (100% air). Nilai *pressure drop* juga cenderung meningkat dengan semakin banyak laju alir massa dengan nilai *pressure drop* tertinggi secara berurutan dihasilkan oleh laju alir massa 60, 55 dan 50 [Kg/jam]. Nilai *pressure drop* tertinggi ditunjukkan pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 42,412 Pa. Sedangkan nilai *pressure drop* terendah terjadi pada prosentase *coolant* 0 % , yaitu sebesar 14,973 Pa.

Peningkatan *pressure drop* tersebut terjadi dikarenakan meningkatnya viskositas dinamik (μ) seiring dengan penambahan prosentase *coolant*. *Pressure drop* dalam sebuah pipa bergantung pada tegangan geser (τ) antara fluida dan kekasaran pipa. Tegangan geser tersebut dipengaruhi oleh viskositas aliran di dalam pipa sesuai dengan persamaan:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx}$$

Viskositas merupakan ukuran ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk akibat gaya berupa tekanan maupun tegangan. Viskositas akan berpengaruh pada hambatan aliran dikarenakan gesekan yang terjadi antara fluida dengan kekasaran permukaan pipa. Kekasaran relatif pada pipa dapat meningkat berkali lipat untuk pemakaian yang lama karena terbentuknya karat atau kerak.

Dari tabel 2.4 dapat diketahui bahwa nilai viskositas dinamik meningkat hingga 2 sampai 3x lipat pada prosentase campuran air dan *coolant* 70% dibandingkan dengan nilai viskositas dinamik pada prosentase campuran air dan *coolant* 30%. Peningkatan viskositas dinamik tersebut dapat mempengaruhi faktor gesek (f) aliran fluida di dalam pipa. Akibatnya terjadi *losses* karena adanya gesekan tersebut sehingga terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*).

Faktor gesek (f) dapat diperoleh dari diagram Moody dengan mencari nilai angka Reynold dan kekasaran relatif pada pipa sehingga faktor gesek bisa didapatkan dengan menggunakan diagram Moody. Berdasarkan diagram Moody diketahui bahwa dengan angka Reynold > 2300 (turbulen) dan kekasaran relatif yang tinggi maka faktor gesek yang dihasilkan semakin besar.

Nilai faktor gesek yang semakin besar menyebabkan nilai *pressure drop* akan semakin meningkat juga. Hal ini sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \cdot \rho$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai *pressure drop* berbanding lurus dengan faktor gesek. Jika faktor gesek semakin besar maka *pressure drop* pun semakin besar, sebaliknya jika faktor gesek kecil maka *pressure drop* pun semakin kecil. Selain itu, dari persamaan di atas diketahui bahwa kecepatan dan massa jenis fluida juga dapat mempengaruhi *pressure drop*. Dengan demikian, jika viskositas dinamis, kecepatan dan massa jenis fluida semakin besar maka *pressure drop* yang terjadi pada aliran pun semakin besar.

Terjadinya *pressure drop* yang meningkat pada penelitian ini merupakan suatu kerugian. Hal ini disebabkan karena jika *pressure drop* meningkat maka total head (H) pompa juga meningkat. Akibatnya daya pompa (HHP) yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida pun semakin besar sesuai dengan persamaan:

$$\text{HHP} = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75}$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh variasi prosentase campuran air dan *coolant* terhadap unjuk kerja radiator dapat disimpulkan bahwa:

- Prosentase *coolant* yang semakin besar akan meningkatkan unjuk kerja radiator yang meliputi: laju perpindahan kalor, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, efektifitas dan *pressure drop* pada radiator.
- Laju perpindahan kalor tertinggi diperoleh pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 8576,744 [KJ/jam]. Sedangkan nilai laju perpindahan kalor terendah diperoleh pada prosentase *coolant* 0 % dengan laju alir massa 50 (Kg/jam), yaitu sebesar 6489,54 [KJ/jam].
- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh tertinggi diperoleh pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 152,378 [KJ/jam m² °C]. Sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh terendah diperoleh pada prosentase *coolant* 0 % dengan laju alir massa 50 (Kg/jam), yaitu sebesar 120,771 [KJ/jam m² °C].
- Nilai efektifitas tertinggi diperoleh pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 81,13%. Sedangkan nilai efektifitas terendah diperoleh pada prosentase *coolant* 0 %, yaitu sebesar 73,81%.
- Nilai *pressure drop* tertinggi diperoleh pada prosentase *coolant* 70 % dengan laju alir massa 60 [Kg/jam], yaitu sebesar 42,412 Pa. Sedangkan nilai *pressure drop* terendah diperoleh pada prosentase *coolant* 0 % , yaitu sebesar 14,973 Pa.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini dapat dilanjutkan pengujian dengan berbagai variasi yang lain serta terdapat saran-saran sebagai berikut :

- Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan memanaskan mesin dalam waktu yang lama antara 30-60 menit agar diperoleh temperatur yang tinggi melebihi 100° C.
- Dapat dilanjutkan penelitian mengenai pengaruh prosentase campuran air dan *coolant* dengan lamanya waktu pemanasan mesin.

- Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh prosentase campuran air dan *coolant* terhadap sifat korosi radiator.



DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A; 2003: *Heat Transfer A Practical Approach*; Mc. Grow Hill, Ltd, New York.
- Hart, Harold; 2007: *Kimia Organik Edisi II*. Erlangga, Jakarta.
- Holman, J.P; 1991: *Heat Transfer*, 5th edition; Mc. Grow Hill, Ltd, New York.
- Incropera, F.P. & De Witt, D.P.; 1985: *Fundamental of Heat Transfer*; 2nd edition; John Willey and Sons, New York.
- Kreith, Frank; 1997: *Prinsip-Prinsip Perpindahan Kalor*; Edisi ketiga; Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kuppan, T.; 2000; *Heat Exchanger Design Handbook*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Lienhard, Jhon H; 2003: *A Heat Transfer Textbook*, 3rd edition; Phlogiston Press, Cambridge.
- Murti, Made Rekti; 2008: *Laju Pembuangan Panas pada Radiator dengan Fluida Campuran 80 % air dan 20 % RC pada rpm Konstan*; Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram vol. 2 No.1.
- Olson, Reuben M dan Steven J. Wright; 1993: *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*; Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Subroto, Saryono P.; 2004: *Pengaruh Coolant Terhadap Pelepasan Kalor pada Pendinginan Mesin*; Jurnal Teknik Gelagar Vol. 15, No. 02 hlm. 154 - 158.
- Tim Fakultas Teknik Universitas Yogyakarta; 2004: *Perbaikan Sistem Pendingin dan Komponen-Komponennya*; Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional, Yogyakarta
- www.autoexcellenceonline.com/radiator-water-pump-cooling-system.html; diakses tanggal 15 mei 2011
- www.dow.com/ethyleneglycol; diakses tanggal 11 Mei 2011
- www.en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol; diakses tanggal 11 Mei 2011
- www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html; diakses tanggal 11 Mei 2011
- www.mustangmonthly.com/eventcoverage/mump_0903_2008_sema_ford_mustangs/photo13.html; diakses tanggal 15 Mei 2011
- www.oakvilleautoradiator.com/services.html; diakses tanggal 15 Mei 2011
- www.samarins.com/glossary/thermostat.html; diakses tanggal 15 Mei 2011

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



Lampiran 1. Data Hasil Perhitungan

A. Data Hasil Pengujian dengan laju alir massa 50 Kg/jam

Prosentase <i>coolant</i> (%)	ρ (kg/m ³)	c_p (KJ/kg°C)	μ (kg/ms)	k (w/m°C)	pr	v (m/s)	Re	Nu	h (W/m ² .°C)	U [KJ/jam m ² °C]
0	1000	4,187	0,0005	0,649	0,003228	0,153	10407,56	2,662985	50,7996788	115,2958107
30	1025	3,944	0,0007	0,484	0,005701	0,149	7433,971	3,013919	42,92898505	115,6156636
40	1038	3,852	0,0008	0,450	0,006852	0,147	6504,725	3,122372	41,29704155	116,3371922
50	1050	3,636	0,0009	0,398	0,008592	0,146	5535,936	3,262909	38,17629759	119,5152654
60	1062	3,475	0,0013	0,372	0,012149	0,144	4002,908	3,439429	37,6171444	120,3911417
70	1072	3,316	0,0015	0,329	0,015136	0,143	3469,187	3,59904	34,78573748	120,7705021

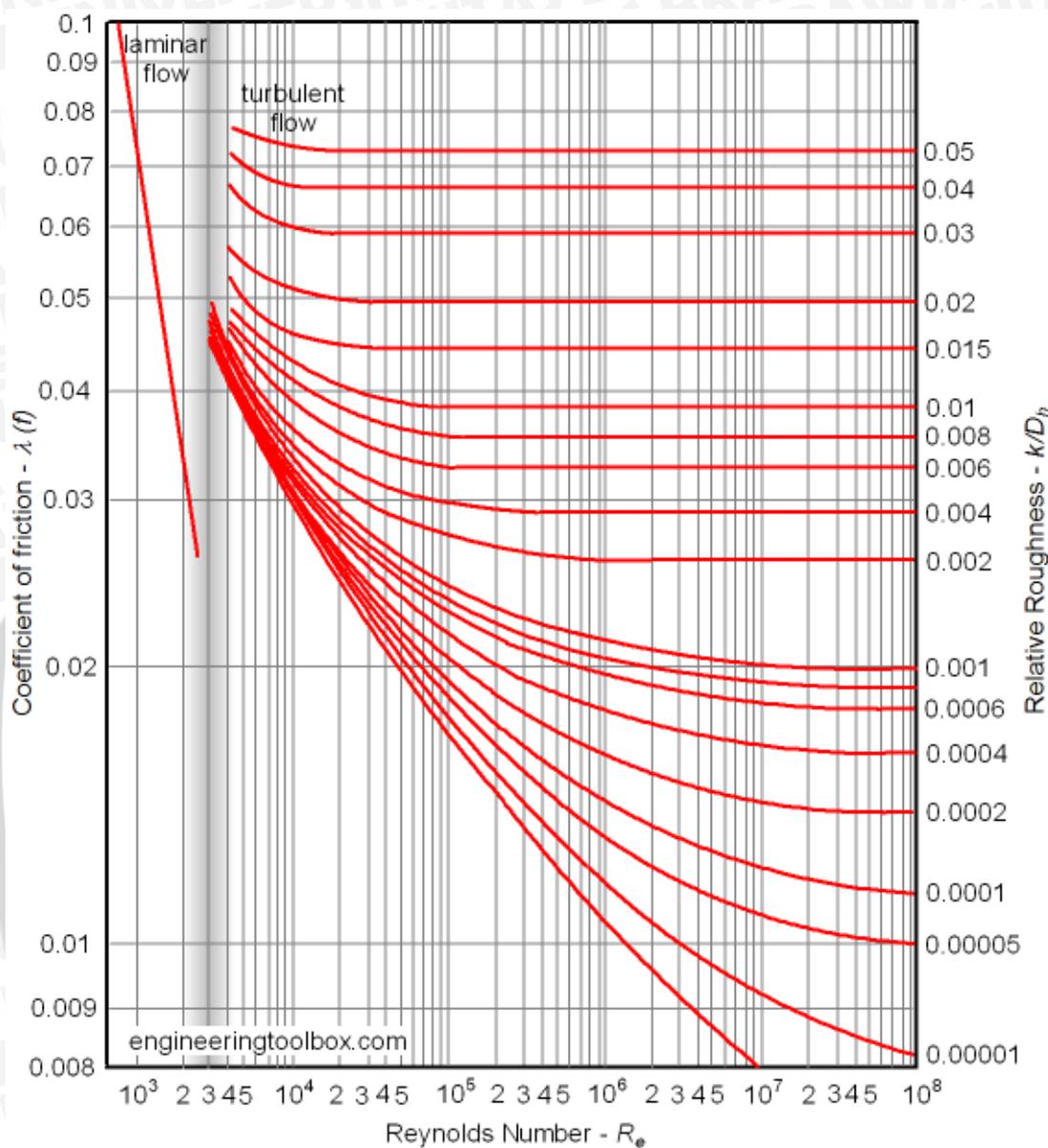
B. Data Hasil Pengujian dengan laju alir massa 55 Kg/jam

Prosentase <i>coolant</i> (%)	ρ (kg/m ³)	c_p (KJ/kg°C)	μ (kg/ms)	k (w/m°C)	pr	v (m/s)	Re	Nu	h (W/m ² .°C)	U [KJ/jam m ² °C]
0	1000	4,187	0,0005	0,649	0,003228	0,168	11448,32	2,748073	52,42284088	126,8253917
30	1025	3,944	0,0007	0,484	0,005701	0,164	8177,369	3,110221	44,30066106	127,1772299
40	1038	3,852	0,0008	0,450	0,006852	0,162	7155,198	3,222138	42,61657336	127,9709114
50	1050	3,636	0,0009	0,398	0,008592	0,160	6089,53	3,367166	39,39611473	131,466792
60	1062	3,475	0,0013	0,372	0,012149	0,159	4403,198	3,549327	38,81909536	132,4302558
70	1072	3,316	0,0015	0,329	0,015338	0,157	3765,893	3,72093	35,96384583	132,8475523

C. Data Hasil Pengujian dengan laju alir massa 60 Kg/jam

Prosentase <i>coolant</i> (%)	ρ (kg/m ³)	c_p (KJ/kg°C)	μ (kg/ms)	k (w/m°C)	pr	v (m/s)	Re	Nu	h (W/m ² .°C)	U [KJ/jam m ² °C]
0	1000	4,187	0,0005	0,649	0,003228	0,184	12489,07	2,828125	53,94991658	138,3549728
30	1025	3,952	0,0007	0,484	0,005713	0,179	8920,766	3,203062	45,62305806	143,2464906
40	1038	3,860	0,0008	0,450	0,006867	0,177	7805,67	3,318376	43,88943325	148,1380083
50	1050	3,640	0,0009	0,398	0,008235	0,175	6938,373	3,445397	40,31142111	151,3273136
60	1062	3,483	0,0013	0,368	0,012481	0,173	4730,709	3,674759	39,81708019	152,2440269
70	1072	3,324	0,0015	0,325	0,01554	0,171	4108,247	3,845916	36,78058687	152,3779188

Lampiran 2. Diagram Moody



Lampiran 3. Alat- alat Penelitian



Gambar A. Motor diesel tampak samping



Gambar B. Motor diesel tampak atas



Gambar C. Radiator



Gambar D. Manometer U



Gambar E. Digital tachometer



Gambar E. Digital thermocouple

UNIVERSITAS BRAWIJAYA