

SKRIPSI

**PERBANDINGAN EFEKTIVITAS RADIATOR MENGGUNAKAN
FLUIDA AQUADES DENGAN ETILEN GLIKOL PADA SISTEM
PENDINGIN MESIN DIESEL**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI ASWAR ADI PUTRA S
D091181312**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERBANDINGAN EFEKTIVITAS RADIATOR MENGGUNAKAN FLUIDA AQUADES DENGAN ETILEN GLIKOL PADA SISTEM PENDINGIN MESIN DIESEL

Disusun dan diajukan oleh

Andi Aswar Adi Putra S
D091 18 1312

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 22 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

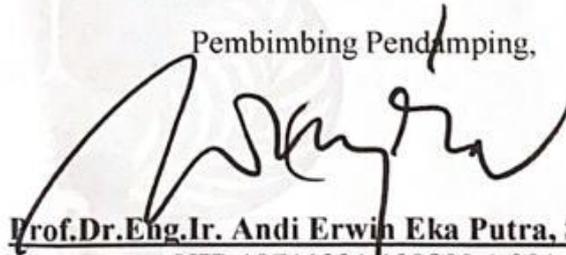
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



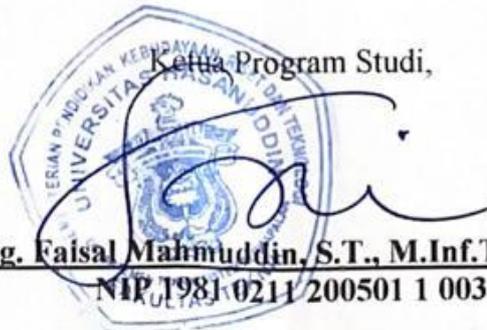
Ir. Syerly Klara, M.T.
NIP 19640501 1999022 2 001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T.
NIP 19711221 199802 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.
NIP 1981 0211 200501 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Andi Aswar Adi Putra S
NIM : D091 18 1312
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Perbandingan Efektivitas Radiator Menggunakan Fluida Aquades Dengan Etilen Glikol Pada Sistem Pendingin Mesin Diesel”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 22 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Andi Aswar Adi Putra. S

ABSTRAK

ANDI ASWAR ADI PUTRA S. *Perbandingan Efektivitas Aquades Dengan Etilen Glikol Pada Sistem Pendingin Mesin Diesel* (dibimbing oleh Ir. Syerly Klara, M.T dan Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T. M.T.)

Overheating merupakan keadaan dimana suhu kerja mesin melebihi ambang batas normal. Pada keadaan tertentu, seringkali *coolant* radiator ditambah dengan air mineral kemasan, air sumur atau keran. Hal tersebut sangat berdampak buruk bagi mesin dalam jangka waktu yang panjang yang membuat umur pakai mesin menjadi pendek, dimana kadar air yang mengandung kapur sehingga dapat menyebabkan endapan dalam pipa-pipa radiator sehingga mengakibatkan terjadinya korosi erosi atau karat pada komponen-komponen yang pada akhirnya akan menghambat proses kerja sistem pendingin. Dengan memaksimalkan kerja dari sistem pendingin maka suhu kerja mesin normal dan jangka pemakaian mesin awet. Permasalahan dalam penelitian ini yaitu berapa nilai efektivitas dan nilai kalor total radiator yang digunakan. Metode yang digunakan eksperimen dengan memvariasikan campuran etilen glikol 100%, aquades 100%, etilen 25% aquades 75%, etilen glikol 50% aquades 50%, dan etilen glikol 75% aquades 25%. Pengujian dilakukan selama 15 menit pada tiga beban berbeda di setiap komposisi campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudah baik digunakan pada komposisi 50% etilen glikol berdasarkan jenis dan tipe mesin yaitu sebesar 49,91% dengan daya efektif 0,30Kw.

Kata kunci: Efektivitas *Coolant*, Perpindahan Panas, Sistem Pendingin.

ABSTRACT

ANDI ASWAR ADI PUTRA S. *Comparison Of The Effectiveness Of Aquades With Ethylene Glycol in Diesel Engine Cooling Systems. (guided by Ir.Syerly Klara, M.T and Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T. M.T.)*

Overheating is a condition where the engine working temperature exceeds the normal threshold. In certain circumstances, radiator coolant is often supplemented with bottled mineral water, well or tap water. This has a very bad impact on the engine in the long term which shortens the service life of the engine, where the water content contains lime which can cause deposits in the radiator pipes resulting in erosion corrosion or rust on the components which will eventually hinder the working process of the cooling system. By maximizing the work of the cooling system, the working temperature of the engine is normal and the engine usage period is durable. The problem in this study is how much the value of the effectiveness and the total calorific value of the radiators used. The experimental method used was by varying the mixture of 100% ethylene glycol, 100% distilled water, 75% 25% ethylene glycol, 50% ethylene glycol 50% distilled water, and 75% 25% ethylene glycol. The test was carried out for 15 minutes at three different loads in each mixture composition. The results showed that it was good to use the composition of 50% ethylene glycol based on the type and type of engine, namely 49.91% with an effective power of 0.30Kw.

Keywords: *Coolant Effectiveness, Heat Transfer, Cooling System.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sistem Pendingin	4
2.1.1 Fresh Water (Air Tawar).....	5
2.1.2 Etilen Glikol.....	5
2.2 Proses Perpindahan Kalor.....	6
2.2.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi	7
2.2.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi.....	9
2.3 Beda Suhu Rata-Rata.....	11
2.4 Tipe-Tipe Heat Exchanger Berdasarkan Susunan Aliran Fluida.....	12
2.5 Prinsip Kerja Radiator Sebagai Pembuangan Panas Mesin.....	14

2.6 Panas Radiator Yang Diserap Oleh Udara.....	16
2.7 Perhitungan Untuk Mencari Efektivitas Radiator.....	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Studi Literatur.....	19
3.3 Pengumpulan Data.....	19
3.4 Langkah Analisi Data	25
3.6 Kerangka Pemikiran	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Gambaran Umum.....	28
4.2 Hasil Pengujian.....	28
1. Campuran Pendingin 1 (Aquadess 100%).....	29
2. Analisis Hasil Perhitungan.....	34
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Etilen Glikol	5
Gambar 2 Perpindahan Panas Konduksi Dibahan Cair Beda Suhu	8
Gambar 3 Perpindahan Panas Konveksi	9
Gambar 4 Dimensi Dasar Pada Radiator	10
Gambar 5 <i>Cross Flow Tube Bank</i>	14
Gambar 6 Sirkulasi Air Pendingin Pada Mesin Diesel	15
Gambar 7 Radiator jenis <i>flat tube</i>	16
Gambar 8 <i>Double pipe heat exchanger</i> aliran berlawanan arah	16
Gambar 9 Gambar Detail Dari <i>Tube</i> Radiator	17
Gambar 10 Mesin Make Kirloskar	19
Gambar 11 Radiator	20
Gambar 12 Grafik Hubungan Antara Nilai $Q_{konduksi}$ Terhadap Variasi Pendingin Pada Semua Beban	36
Gambar 13 Grafik Hubungan Antara Nilai $Q_{konveksi}$ Terhadap Variasi Pendingin Pada Semua Beban	35
Gambar 14 Grafik Hubungan Antara Nilai Q_{Total} Terhadap Variasi Pendingin Pada Semua Beban	37
Gambar 15 Grafik Hubungan Antara Nilai U_{total} Terhadap Variasi Pendingin Pada Semua Beban	38
Gambar 16 Grafik Hubungan Antara Nilai Efektivitas Terhadap Variasi Pendingin Pada Semua Beban	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Konduktivitas Termal Bahan Logam	8
Tabel 2 Variasi Campuran Pendingin	21
Tabel 3 Data Pengujian Aquades 100% Pada Variasi Daya Efektif.....	21
Tabel 4 Data Pengujian Campuran Etilen Glikol 25% Aquades 75% Pada Variasi Daya Efektif.	21
Tabel 5 Data Pengujian Campuran Etilen Glikol 50% Aquades 50% Pada Variasi Daya Efektif.	22
Tabel 6 Data Pengujian Campuran Etilen Glikol 75% Aquades 25% Pada Variasi Daya Efektif.	22
Tabel 7 Data Pengujian Campuran Etilen Glikol 100% Pada Variasi Daya Efektif.	22
Tabel 8 Pengujian Nilai Massa Jenis Campuran Fluida Pendingin	23
Tabel 9 Nilai Cp Fluida Pendingin.....	24
Tabel 10 Nilai Perpindahan Panas Secara Konduksi Pada Radiator.....	30
Tabel 11 Nilai Perpindahan Panas Secara Konveksi Pada Radiator.....	31
Tabel 12 Perpindahan Kalor Total Pada Radiator.....	32
Tabel 13 Koefisien Perpindahan Kalor Total.....	32
Tabel 14 Nilai Qaktual dan Qmaks.....	33
Tabel 15 Efektivitas Alat Penukar Kalor (Radiator).....	34
Tabel 16 Data Pengujian Aquades 100% Pada Daya Efektif 0,30Kw.....	53
Tabel 17 Data Pengujian Aquades 100% Pada Daya Efektif 1,28Kw.....	53
Tabel 18 Data Pengujian Aquades 100% Pada Daya Efektif 2,55Kw.....	53
Tabel 19 Data Pengujian Etilen Glikol 25% Aquades 75% Pada Daya Efektif 0,30Kw.....	54
Tabel 20 Data Pengujian Etilen Glikol 25% Aquades 75% Pada Daya Efektif 1,28Kw.....	54
Tabel 21 Data Pengujian Etilen Glikol 25% Aquades 75% Pada Daya Efektif 2,55Kw.....	54
Tabel 22 Data Pengujian Etilen Glikol 50% Aquades 50% Pada Daya Efektif 0,30Kw.....	55
Tabel 23 Data Pengujian Etilen Glikol 50% Aquades 50% Pada Daya Efektif 1,28Kw.....	55
Tabel 24 Data Pengujian Etilen Glikol 50% Aquades 50% Pada Daya Efektif 2,55Kw.....	55
Tabel 25 Data Pengujian Etilen Glikol 75% Aquades 25% Pada Daya Efektif 0,30Kw.....	56
Tabel 26 Data Pengujian Etilen Glikol 75% Aquades 25% Pada Daya Efektif 1,28Kw.....	56
Tabel 27 Data Pengujian Etilen Glikol 75% Aquades 25% Pada Daya Efektif 2,55Kw.....	56
Tabel 28 Data Pengujian Etilen Glikol 100% Pada Daya Efektif 0,30Kw.....	57
Tabel 29 Data Pengujian Etilen Glikol 100% Pada Daya Efektif 1,28Kw.....	57
Tabel 30 Data Pengujian Etilen Glikol 100% Pada Daya Efektif 2,55Kw.....	57

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
P_{radiator}	Panjang radiator (m)
T_{radiator}	Tinggi radiator (m)
T_{tube}	Tinggi <i>tube</i> radiator (m)
L_{tube}	Lebar <i>tube</i> radiator (m)
P_{tube}	Panjang <i>tube</i> radiator (m)
A_{tube}	Luas total selubung <i>tube</i> (m^2)
T_{udara}	Suhu udara sekitar ($^{\circ}C$)
V_{udara}	Kecepatan udara disekitar (m/s)
Q_{air}	Debit aliran fluida air pendingin (l/h)
V_c	Kecepatan udara kipas radiator (m/s)
V_h	Kecepatan aliran fluida air pendingin dalam <i>tube</i> (m/s)
ρ_h	Massa jenis fluida panas (Kg/m^3)
C_{ph}	Panas spesifik fluida panas (J/kg)
ρ_c	Massa jenis fluida dingin (Kg/m^3)
C_{pc}	Panas spesifik fluida dingin (J/kg)
\dot{m}_h	Laju aliran massa fluida pendingin air (kg/s)
q_h	Laju perpindahan panas/kalor pada radiator (W)
U_{total}	Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2^{\circ}C$)
Th_{in}	Suhu fluida dingin air pendingin masuk ($^{\circ}C$)
Th_{out}	Suhu fluida panas air pendingin keluar ($^{\circ}C$)
Tc_{in}	Suhu fluida dingin udara ($^{\circ}C$)
Tc_{out}	Suhu fluida panas udara ($^{\circ}C$)
ΔT_{LMTD}	Beda suhu keseluruhan rata-rata logaritmik ($^{\circ}C$)
q_{aktual}	Laju perpindahan panas aktual (W)
q_{maks}	Laju perpindahan panas maksimum (W)
ε	Efektivitas alat penukar kalor (%)
A_i	Luas perpindahan panas total pada sisi <i>coolant</i> (m^2)
A_{pc}	Luas laluan <i>coolant</i> total (m^2)
A_p	Luas penampang <i>tube</i> sisi dinding dalam (m^2)
A_t	Luas permukaan rata-rata dinding pipa (m^2)
A_b	Luas perpindahan panas pada <i>tube</i> sisi dinding luar tanpa sirip
A_d	Luas perpindahan panas pada <i>tube</i> sisi dinding dalam

P	Keliling penampang <i>tube</i> sisi dinding dalam (m)
F	Panjang sirip (m)
K_t	Konduktivitas termal bahan <i>tube</i> ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto Mesin Beserta Rangkaian Radiator	45
Lampiran 2 Foto Pengujian Variasi 1	46
Lampiran 3 Foto Pengujian Variasi 2	47
Lampiran 4 Foto Pengujian Variasi 3	48
Lampiran 5 Foto Pengujian Variasi 4	49
Lampiran 6 Foto Pengujian Variasi 5	50
Lampiran 7 Foto Pengambilan Data Massa Jenis Fluida	51
Lampiran 8 Data tabel A-15 Properties of Air at 1 atm Pressure	52
Lampiran 9 Data Pengujian.....	53

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini. Skripsi ini dibuat dan disusun sebagai salah satu syarat yang harus dilengkapi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini berjudul “Perbandingan Efektivitas Aquades Dengan Etilen Glikol Pada Sistem Pendingin Mesin Diesel” yang disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua penulis yang tak pernah berhenti untuk selalu mendoakan kemudahan dan kelancaran bagi penulis juga selalu memberi cinta dan ketulusan serta dukungan dan nasihat selama proses perkuliahan dari awal hingga akhir.
2. Ibu Ir. Syerly Klara, M.T selaku Pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T.,M.T selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberi banyak ilmu dalam membimbing, mengoreksi serta memberi arahan dan masukan selama proses penyelesaian skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Dr. Eng. Faisal Mahmudin, S.T., M.Inf.Tech.,M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Andi Haris Muhammad S.T., M.T.,Ph.D dan Bapak Baharuddin, S.T.,M.T selaku dosen penguji. Tak lupa Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membagi banyak ilmunya, memberi motivasi, serta bimbingannya selama proses perkuliahan.

5. Staf tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi.
6. Laboran lab. Internal Combustion Teknik Mesin yang telah menemani penulis dalam pengambilan data
7. Saudara-saudara penulis, Nawir, Besse, Nurul, Arman yang senantiasa selalu mengingatkan untuk selalu sabar dan memberi dukungan penuh kepada penulis.
8. Teman yang seperti keluarga sendiri, Nursuciyani yang selalu mendukung, menemani, menjadi pendengar yang baik serta meluangkan banyak waktunya mulai awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman Zizter18 dengan segala kebersamaannya, canda tawanya, dan motivasinya.
10. Sahabat-sahabat penulis terkhusus penghuni Bulkhead Crew yang selalu menghibur penulis saat mendapat kesulitan, memberi dukungan, membantu menyemangati penulis dengan cara yang berbeda melalui berbagai banyak candaan dan selalu memberi saran yang sangat-sangat memotivasi.
11. Dan juga kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dan membantu penulis dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini namun, tidak dapat penulis sebutkan namanya satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan pada skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi materi maupun penyusunannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain untuk perbaikan dalam pengembangan karya tulis ini untuk selanjutnya. Namun demikian, penulis tetap berharap agar skripsi ini dapat memberi manfaat kepada semua pihak.

Gowa, 22 Agustus 2023

Andi Aswar Adi Putra S

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel adalah serangkaian komponen yang saling berhubungan satu sama lain yang mengubah energi termal hasil reaksi kimia antara bahan bakar dan udara berkompresi menjadi energi mekanik. Didalam ruang bakar proses pembakaran bahan bakar terjadi akibat adanya tekanan udara yang tinggi atau udara yang di mampatkan dan selanjutnya bahan bakar di injeksikan atau dikabutkan atau di semprotkan melalui injektor ke ruang bakar sehingga terjadi ledakan yang membuat adanya energi mekanik sebagai penggerak poros engkol.

Mesin diesel pastinya dapat bekerja secara terus menerus namun jika hanya dijalankan begitu saja tanpa adanya sistem pendukung lainnya maka mesin diesel itu akan mengalami panas berlebih (*overheating*), oleh karena itu dibutuhkannya sistem pendingin. Sistem pendingin dalam mesin adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menjaga suhu kerja mesin. Sistem pendingin terbagi menjadi dua, yaitu sistem pendingin udara (*air cooling*) dan sistem pendingin air (*water cooling*). Pada sistem pendingin mesin diesel yang di gunakan di darat sistem pendingin airnya menggunakan komponen yang disebut radiator, yang bertujuan untuk mempercepat proses pendinginan.

Radiator adalah suatu sistem pendingin yang menggunakan cairan fluida (*coolant*) sebagai media penyerap panas, yang bertujuan untuk mengurangi panas pada mesin. Dalam pemakaiannya, cairan pendingin yang digunakan dalam radiator tidak selalu cairan *coolant* sesuai yang di rekomendasikan. Pada keadaan tertentu, seringkali *coolant* radiator terpaksa ditambah dengan air mineral kemasan, air sumur atau keran, dan lain sebagainya karena keadaan terpaksa atau pada saat diperlukan. (Taringan, 2020). Hal tersebut sangat berdampak buruk bagi mesin dalam jangka waktu yang panjang yang membuat umur pakai mesin menjadi pendek, dimana kadar air yang mengandung kapur sehingga dapat menyebabkan endapan dalam pipa-pipa radiator, air di dalam radiator akan menimbulkan endapan-endapan kotoran yang semakin lama semakin banyak dan akan mengakibatkan terjadinya korosi erosi atau karat pada komponen-komponen sistem pendingin.

Radiator dan beberapa komponen mesin yang didinginkan menggunakan fluida cair terbuat dari material logam yang bisa terjadi korosi, yang dimana bila terjadi korosi akan menghambat proses sirkulasi air pendingin yang dapat menyebabkan terjadinya panas berlebih (*over heating*). Air pendingin tersebut kemudian didinginkan oleh udara luar yang dihembuskan oleh kipas radiator. Karena temperatur udara luar dibawah dari air pendingin maka terjadi perpindahan panas dari air pendingin ke udara luar. Masalah utama dari air adalah titik didih yang rendah dan titik beku yang tinggi. Anti *boil agent* dan anti *freeze agent* seperti etilen glikol memiliki titik didih yang lebih tinggi dan titik beku yang lebih rendah dari air (Bernadus Nanang Dwi Nuryanto, 2016). Kandungan cairan titik didih 197°C sedangkan aquades 100°C dan titik bekunya yaitu 0°C sedangkan etilen glikon pada suhu $-12,9^{\circ}\text{C}$ maka perlu diadakannya penelitian dengan judul “*Perbandingan Efektivitas Radiator Menggunakan Fluida Aquades Dengan Etilen Glikol Pada Sistem Pendingin Mesin Diesel*”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Berapa nilai perpindahan kalor panas total dari alat penukar kalor radiator pada komposisi campuran di beberapa variasi daya efektif?
2. Berapa nilai efektivitas dari alat penukar kalor radiator pada komposisi campuran yang baik digunakan pada mesin?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai perpindahan panas total dari alat penukar kalor radiator pada komposisi campuran yang efektif di beberapa variasi daya efektif.
2. Mengetahui nilai efektivitas dari alat penukar kalor radiator pada komposisi campuran yang baik digunakan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis dalam penulisan skripsi ini yaitu:

1. Dapat mengetahui pentingnya kandungan cairan etilen glikol dalam sistem pendingin mesin

2. Dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan *coolant* yang berbasis etilen glikol pada mesin yang digunakan.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka perlu untuk diberikan batasan masalah antara lain:

1. Penelitian ini menggunakan fluida aquades dan etilen glikol.
2. Penelitian ini difokuskan pada sistem pendingin radiator mesin diesel Make Kirloskar type 1 silinder.
3. Beban mesin bervariasi (0,30Kw, 1,28Kw, dan 2,55Kw).
4. Lokasi pengambilan data dan pengujian di Laboratorium *internal combustion* Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
5. Keadaan mesin pada kondisi statis (tidak bergerak)
6. Kecepatan kipas radiator konstan pada 6,5 m/s
7. Radiator yang digunakan jenis radiator modifikasi mobil Nissan C24

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin

Dalam sistem pendinginan pada motor pembakaran dalam, ada dua sistem yang dipakai untuk mendinginkan mesin. Dua sistem itu adalah sistem pendingin air yang kebanyakan dipakai pada mesin diesel, sistem yang lain adalah dengan pendingin udara yang biasanya dipakai pada mesin kendaraan satu atau dua silinder. Mesin pendingin air harus mempunyai saluran air dari blok silinder head. Secara langsung, air harus bersinggungan dengan dinding silinder. (Mufti, 2020)

Fresh Water Cooler berfungsi mendinginkan air pendingin yang telah menyerap panas dari dalam mesin dengan menggunakan media air laut. Sistem pendingin mesin induk yaitu sistem pendingin terbuka, ini adalah air dari luar kapal yang dipompakan ke dalam motor dan selanjutnya dibuang kembali keluar badan kapal. Sistem pendinginan tertutup adalah air tawar yang mendinginkan mesin selanjutnya air tawar membawahi panas didinginkan oleh air laut. Bahan pendingin mesin induk, air laut berfungsi sebagai bahan pendingin memiliki beberapa sifat yang menguntungkan, seperti massa jenis besar pada kepekatan relatif tinggi. Ini berarti bahwa per satuan volume dapat ditampung panas yang besar.

Pada umumnya, pendingin di mesin kapal menggunakan *heat exchanger*. Ini merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Proses pendinginan pada *heat exchanger* menggunakan media air (air laut) guna mempercepat perubahan suhunya. Sehingga akan terjadi perbedaan temperatur yang cukup signifikan saat proses pendinginan di *heat exchanger* (Holman J.P, 1986)

2.1.1 Fresh Water (Air Tawar)

Sistem pendinginan air panas yang berasal dari pembakaran gas dalam ruang bakar dan silinder sebagian diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi melalui dinding silinder dan ruang bakar, ini dapat terjadi karena adanya mantel air pendingin (water jacket). Panas yang diserap oleh air pendingin pada mantel - mantel air selanjutnya akan menaikkan temperatur air pendingin tersebut. Air pendingin pada water jacket maka cenderung akan mendidih dan menguap. Hal tersebut sangat merugikan, oleh karena itu untuk menghindarinya air tersebut disirkulasikan. Air yang memiliki temperatur yang masih dingin dialirkan mengganti air yang memiliki temperatur lebih panas. (Nazaruddin, 2013)

2.1.2 Etilen Glikol

Etilen Glikol adalah bahan kimia yang sangat beracun. Terlihat pada gambar 1 kandungan yang ada pada zat etilen glikol memperlihatkan bahan ini akan sangat membayakan manusia ketika masuk ke dalam organ tubuh sekitar 710 mg/kg berat badan. (Muthaqim, 2011)



<i>Property</i>	<i>Ethylene Glycol</i>
<i>Freeze point depressiom</i>	<i>More effective</i>
<i>Heat transfer efficiency/capability</i>	<i>Better</i>
<i>Viscosity</i>	<i>Lower</i>
<i>Flammability</i>	<i>Low</i>
<i>Chemical oxygen demand</i>	<i>Low</i>
<i>Biodegrading</i>	<i>Degrades in 10-30 days</i>
<i>Toxic</i>	<i>High level of acute when taken orally targets the kidneys</i>

Gambar 1 Etilen Glikol
(Sumber : <https://sychiller.com>)

Monoetilen glikol yang sering disebut etilen glikol adalah cairan jenuh, tidak berwarna, tidak berbau, berasa manis, dan laur sempurna dalam air. Grup hidroksil pada glikol memberikan kemungkinan turunan senyawa yang lebih luas. Gugus hidroksil ini bisa diubah menjadi aldehid, alkil, halide, amina, azida, asam karboksil, eter, merkaptan, ester nitrat, nitril, ester nitril, ester organik, ester posphat, dan ester sulfat. Senyawa – senyawa ini membuat etilen glikol bisa menjadi senyawa intermediet dalam banyak reaski. Terutama dalam formasi resin, kondensasi dengan dimetil terephtalat atau asam terephtalat menghasilkan resin polyester. Rumus kimianya yaitu $C_2H_6O_2$. (Wulandari, 2017)

Terdapat beberapa kegunaan produk etilen glikol, diantaranya adalah:

1. Dapat digunakan sebagai anti beku pada radiator kendaraan bermotor.
2. Sebagai bahan baku poliester dan tereftalat (bahan baku serat sintetis)
3. Digunakan untuk resin alkid dan resin polyester untuk cat
4. Untuk membantu proses penggilingan semen
5. Sebagai bahan untuk mengurangi lapisan es yang ada di kaca depan dan sayap pada pesawat
6. Digunakan dalam rem dan meredam guncangan
7. Sebagai cairan untuk inhibitor dan mencegah karet membengkak
8. Sebagai pelumas tahan api
9. Untuk pelarut pewarna
10. Untuk menghentikan terbentuknya amonia perborat pada kapasitor elektrolit

(Faith, 1975).

2.2 Proses Perpindahan Kalor

Konsep energi digunakan dalam termodinamika untuk menentukan keadaan suatu sistem. Ini adalah fakta yang terkenal bahwa energi tidak diciptakan atau dimusnahkan tetapi hanya berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Ilmu termodinamika berkaitan dengan hubungan antara panas dan bentuk energi lainnya, tetapi ilmu perpindahan panas berkaitan dengan analisis laju perpindahan panas yang terjadi dalam suatu sistem. Perpindahan energi oleh aliran panas tidak dapat diukur secara langsung, tetapi konsep tersebut memiliki arti fisis karena

berkaitan dengan besaran terukur yang disebut suhu. Telah lama dibuktikan oleh pengamatan bahwa ketika ada perbedaan suhu dalam suatu sistem, panas mengalir dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Karena aliran panas terjadi setiap kali ada gradien suhu dalam suatu sistem, pengetahuan tentang distribusi suhu dalam suatu sistem sangat penting dalam studi perpindahan panas. Setelah distribusi temperatur diketahui, kuantitas yang menarik secara praktis, fluks panas, yang merupakan jumlah perpindahan panas per satuan luas per satuan waktu, mudah ditentukan dari hukum yang menghubungkan fluks panas dengan gradien suhu. Masalah penentuan distribusi suhu dan aliran panas menarik di banyak cabang ilmu pengetahuan dan teknik.

Dalam desain penukar panas seperti boiler, kondensor, radiator, dll, misalnya, analisis perpindahan panas sangat penting untuk menentukan ukuran peralatan tersebut. Dalam desain teras reaktor nuklir, analisis perpindahan panas menyeluruh elemen bahan bakar penting untuk ukuran elemen bahan bakar yang tepat guna mencegah kejenuhan. Dalam teknologi kedirgantaraan, masalah distribusi suhu dan perpindahan panas sangat penting karena batasan berat dan pertimbangan keamanan. Dalam aplikasi pemanas dan pendingin udara untuk bangunan, analisis perpindahan panas yang tepat diperlukan untuk memperkirakan jumlah insulasi yang dibutuhkan untuk mencegah kehilangan atau perolehan panas yang berlebihan. Dalam studi perpindahan panas, biasanya untuk mempertimbangkan tiga mode perpindahan panas yang berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada kenyataannya, distribusi suhu dalam suatu media dikendalikan oleh efek gabungan dari ketiga mode perpindahan panas ini; oleh karena itu, sebenarnya tidak mungkin untuk mengisolasi sepenuhnya satu mode dari interaksi dengan mode lainnya. (M. Necati Ozisik, 1985).

2.2.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum, sehingga dapat digambarkan ke persamaan 1 sebagai berikut:

$$q_k = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Keterangan:

q_k = Laju Perpindahan Panas (kj / det, W)

k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

ΔT = Gradient temperatur kearah perpindahan kalor (°C)

L = Panjang pipa / *tube* (m)

A_{tube} = Luas penampang *tube* (m^2)

Perpindahan panas secara konduksi tidak hanya terjadi pada padatan saja tetapi bisa pada cairan ataupun gas, hanya saja konduktivitas terbesar terletak pada padatan dan dapat dilihat pada tabel 1 nilai dari konduktivitas termal bahan. Jadi, Konduktivitas padatan > konduktivitas cairan dan gas. Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, molekul-molekul cairan yang suhunya tinggi akan bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada molekul cair yang suhunya lebih rendah yang dapat dilihat pada gambar 2. Jika ada perbedaan suhu, molekul-molekul pada daerah yang suhunya tinggi akan memberikan panasnya kepada molekul yang suhunya lebih rendah pada saat terjadi tumbukan dengan molekul yang suhunya lebih rendah, untuk kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas walaupun jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek daripada jarak antara molekul berupa gas.

Tabel 1 Konduktivitas Termal Bahan Logam	
Konduktivitas Termal (k)	
Bahan	W/m°C
CuZn (Kuningan)	109
Zn (Zink)	122
Sn (Timah)	68,2
Al (Aluminium)	205

Gambar 2 Perpindahan Panas Konduksi Dibahan Cair Beda Suhu

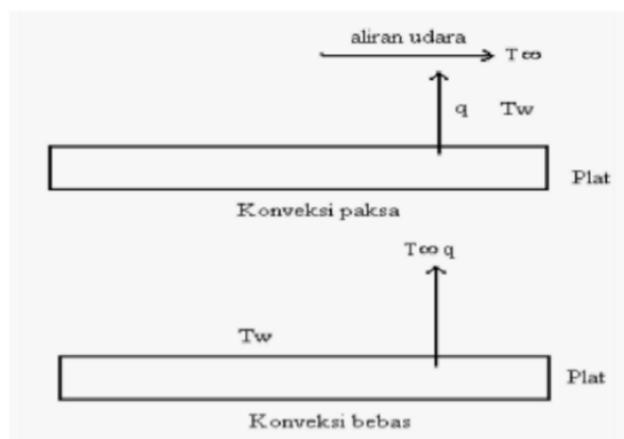
Sumber : M.N. Ozisik, 1885.

Bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik disebut dengan konduktor, misalnya tembaga, aluminium, dll. Etilen glikol merupakan zat aditif berfungsi memperbesar koefisien perpindahan kalor konveksi pada fluida sehingga laju

pembuangan kalor meningkat. Antifreeze yang dicampurkan berupa etilen glikol bertujuan menurunkan titik beku, karena pada titik didih 100°C air dianggap mudah menguap. Sebaliknya pada titik beku 0°C , air mudah membeku. Selain itu air membuat logam berkarat, dan meninggalkan bekas mineral yang mengurangi kemampuan pendinginan. Bahan kimia yang ditambahkan adalah etilen glikol (EG). Beberapa tahun terakhir EG digantikan dengan propylene glikol (PG) yang tidak begitu beracun. Minimum suhu titik beku sekitar $-36^{\circ}\text{F}/-37,8^{\circ}\text{C}$. Bahan kimia yang dicampurkan dengan air, umumnya 50% volume, mampu menaikkan titik didih etilen glikol hingga mencapai 108°C , dan menurunkan titik bekunya menjadi -33°C . (Abdul Chalim, 2017)

2.2.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

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



Gambar 3 Perpindahan Panas Konveksi
Sumber: J.P.Holman

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup seperti pada gambar 3 merupakan contoh proses perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan:

$$q = hA (\Delta T_{LMTD}) \quad (2)$$

Keterangan :

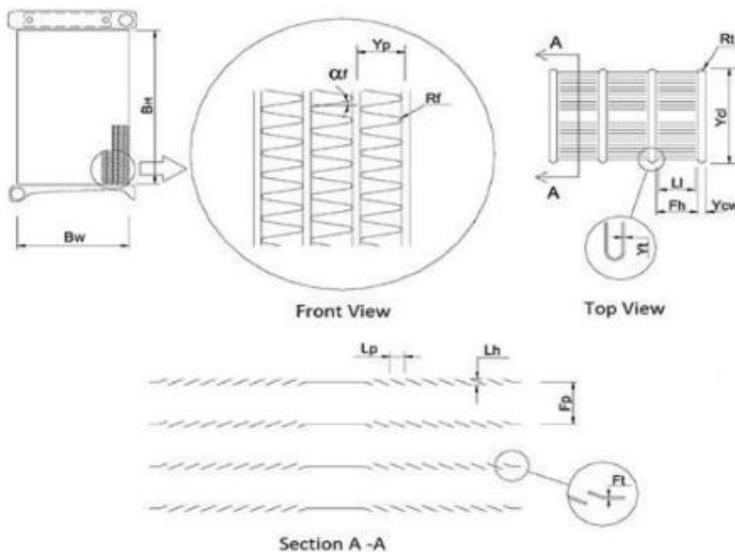
Q = Laju Perpindahan Panas (Kj/det atau W)

h = Koefisien perpindahan Panas Konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas (ft^2, m^2)

Bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik disebut dengan konduktor misalnya logam (Tembaga, aluminium, perak, dsb). Sedangkan bahan yang mempunyai konduktivitas jelek disebut dengan isolator, contohnya adalah asbes, wol, kaca, dsb. (Bueche F.J, 2014). Dalam menentukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi pada radiator (h) menggunakan persamaan (3) dengan dimensi radiator mengacu pada gambar (4) :

$$h = \frac{1}{\frac{A_i \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}{q_h} - \frac{A_i \cdot Y_t}{K_t \cdot A_t} - \frac{A_i \cdot (Th_{out} - Th_{in})}{q_c}} \quad (3)$$



Parameter	Dimensi	Satuan
B_H	47,2	mm
B_W	71,4	mm
B_T	16	mm
N_r	1	
N_{ct}	43	
N_P	44	
N_f	137	
L_P	1	mm
L_l	6,5	mm
F_t	0,06	mm
F_h	8,12	mm
F_P	3	mm
R_f	0,75	mm
α_f	30	~
Y_l	464,2	mm
Y_{cl}	16	mm
Y_{cw}	2	mm
Y_t	0,25	mm
Y_P	10,12	mm
R_t	1	mm

Gambar 4 Dimensi Dasar Pada Radiator

Sumber : (Bernadus Nanang Dwi Nuryanto, 2016)

Dimana :

A_i = Luas perpindahan panas total pada sisi coolant (m^2)

$$= A_{Pc} \cdot Y_l \cdot N_{ct} \cdot N_r$$

A_{Pc} = Luas laluan coolant total (m^2)

$$= A_p \cdot N_{ct} \cdot N_r$$

A_p = Luas penampang *tube* sisi dinding dalam (m^2)

$$= \pi (R_t - Y_t)^2 + (Y_{cw} - 2Y_t)(Y_{cl} - 2R_t)$$

A_t = Luas permukaan rata-rata dinding pipa (m^2)

$$= 0,5 (A_b + A_d)$$

A_b = Luas perpindahan panas pada *tube* sisi dinding luar tanpa sirip (m^2)

$$= 2 \cdot N_{ct} \cdot Y_l \cdot N_r \cdot [(Y_{cl} - 2R_t) + (\pi R_t)]$$

A_d = Luas perpindahan panas pada *tube* sisi dinding dalam (m^2)

$$= N_{ct} \cdot Y_l \cdot N_r \cdot P$$

P = Keliling penampang *tube* sisi dinding dalam (m)

$$= 2\pi(R_t - Y_t) + 2(Y_{cl} - 2R_t)$$

F = Panjang sirip (m)

$$= \pi R_f + \frac{F_t - 2R_f}{\cos \alpha_f}$$

q_h = Laju perpindahan panas fluida panas (W)

q_c = Laju perpindahan panas fluida dingin (W)

K_t = Konduktivitas termal bahan ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

ΔT_{LMTD} = Beda suhu keseluruhan rata-rata logaritmik ($^\circ C, K$)

2.3 Beda Suhu Rata-Rata

Suhu fluida didalam penukar panas pada umumnya tidak konstan, tetapi berbeda dari satu titik ke titik lainnya pada waktu panas mengalir dari fluida yang lebih dingin, maka dari itu untuk tahanan termal yang konstan pun laju aliran panas akan berbeda-beda sepanjang lintasan penukar kalor harganya tergantung pada beda suhu antara fluida dan dinding yang penampang tertentu. Untuk menghitung perpindahan kalor dalam suatu alat penukar kalor dinyatakan dengan persamaan 4 sebagai berikut:

$$\bar{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (4)$$

Dimana:

\bar{Q} = laju perpindahan panas total (kW)

U = koefisien perpindahan panas keseluruhan ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = total luas perpindahan panas (m^2)

ΔT_{LMTD} = Beda suhu rata – rata yang tepat untuk digunakan dengan penukar kalor ($^\circ C$)

Dimana ΔT_{LMTD} dapat dicari dengan persamaan

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} \quad (5)$$

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

$$\Delta T_1 = T_{h \text{ in rata-rata}} - T_{c \text{ out rata-rata}}$$

$$\Delta T_2 = T_{h \text{ in rata-rata}} - T_{c \text{ in rata-rata}} \quad (6)$$

Dimana:

T_{hin} = Temperatur fluida panas masuk ke radiator ($^\circ C$)

T_{hout} = Temperatur fluida panas keluar radiator ($^\circ C$)

T_{cin} = Temperatur suhu udara sebelum masuk radiator ($^\circ C$)

T_{cout} = Temperatur suhu udara setelah keluar radiator ($^\circ C$)

2.4 Tipe-Tipe Heat Exchanger Berdasarkan Susunan Aliran Fluida

Berdasarkan susunan aliran fluida yang dimaksud di sini adalah berapa kali fluida mengalir disepanjang penukar kalor sejak saat fluida masuk ke pipa hingga meninggalkannya pipa, serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar atau *parallel*, berlawanan arah atau *counter*, dan bersilangan atau *cross*). Berdasarkan berapa kali fluida melalui penukar kalor dibedakan jenis satu kali laluan atau satu laluan dengan multi atau banyak.

Pada jenis satu laluan, masih terbagi ke dalam tiga tipe berdasarkan arah aliran dari fluida yaitu:

1. Penukar Kalor Tipe Aliran Berlawanan

Penukar kalor tipe aliran berlawanan yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

2. Penukar Kalor Tipe Aliran Sejajar

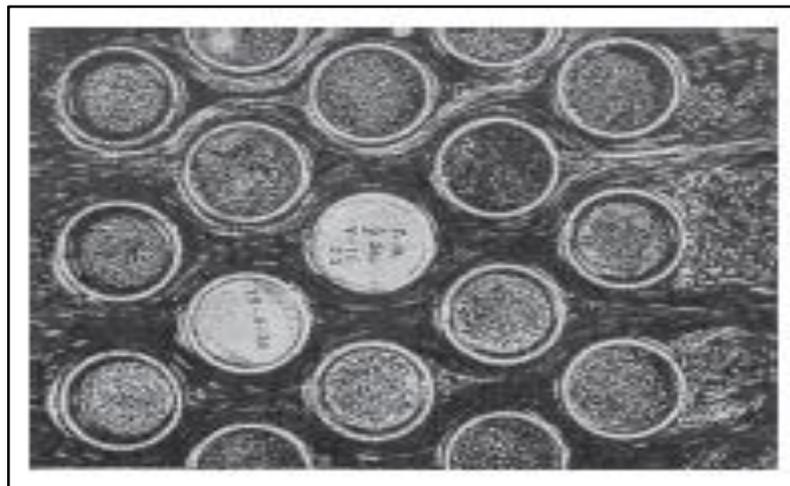
Penukar kalor tipe aliran sejajar yaitu bila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain. Pada jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif. T_1 dan T_2 dalam tipe aliran berlawanan arah berbeda, hal tersebut disebabkan karena arah aliran yang berbeda.

3. Aliran Silang pada kumpulan-kumpulan pipa

Cross flow pada tube bank umumnya dijumpai dalam praktik pada peralatan perpindahan panas seperti kondensor dan evaporator pembangkit listrik, lemari es, dan pendingin udara. Dalam peralatan seperti itu, satu fluida bergerak melalui tabung sedangkan fluida lainnya bergerak di atas tabung dalam arah tegak lurus. Dalam penukar panas yang melibatkan kumpulan pipa, biasanya ditempatkan dalam *shell* (dan dengan demikian disebut penukar panas *shell-and-tube*), terutama bila fluida adalah cairan, dan fluida mengalir melalui ruang antara pipa. dan cangkangnya. Ada banyak jenis penukar panas *shell-and-tube*.

Aliran melalui tabung dapat dianalisis dengan mempertimbangkan aliran melalui satu pipa, dan mengalikan hasilnya dengan jumlah pipa. Ini tidak terjadi untuk aliran di atas pipa, karena pipa mempengaruhi pola aliran dan tingkat turbulensi di hilir, dan dengan demikian perpindahan panas ke atau dari mereka. Oleh karena itu, saat menganalisis perpindahan panas dari kumpulan pipa dalam aliran silang, kita harus mempertimbangkan semua pipa dalam bundel sekaligus. Kumpulan pipa biasanya disusun sejajar atau silang. Diameter pipa luar D diambil sebagai panjang karakteristik. Susunan pipa pada kumpulan pipa dicirikan oleh *pitch transversal* (S_T), *pitch longitudinal* (S_L), dan *pitch diagonal* (S_D) antar pusat pipa.

Pada gambar 5 nampak fluida memasuki area pada kumpulan pipa, luas aliran berkurang dari $\Delta l = S_T L$ menjadi $\Delta T = (S_T - D) L$ antara pipa, dan dengan demikian kecepatan aliran meningkat. Dalam pengaturan pipa yang silang, kecepatan dapat meningkat lebih jauh di wilayah diagonal jika baris tabung sangat dekat satu sama lain



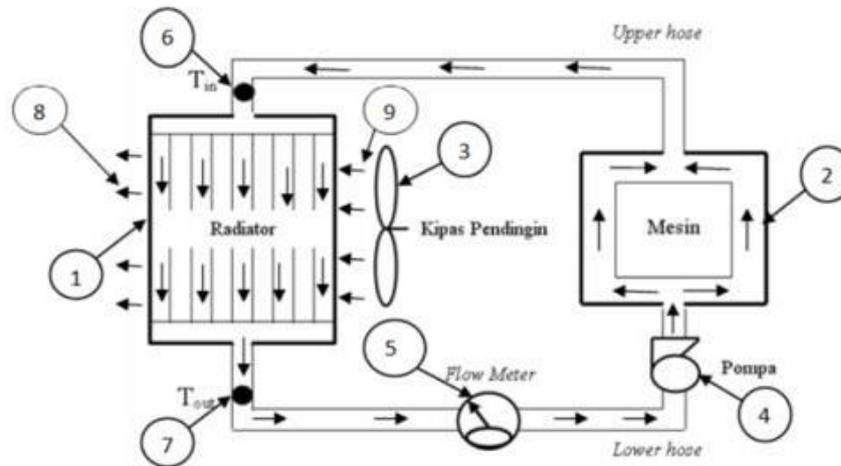
Gambar 5 *Cross Flow Tube Bank*
(sumber : Cengel, Yunus A., 2002)

Di kumpulan pipa, karakteristik aliran didominasi oleh kecepatan maksimum V_{max} yang terjadi di dalam kumpulan pipa daripada kecepatan pendekatan V . (Cengel Yunus A., 2002)

2.5 Prinsip Kerja Radiator Sebagai Pembuangan Panas Mesin

Panas mesin terpusat pada ruang bakar / silinder yang merupakan hasil dari

proses pembakaran udara dan bahan bakar. Seperti yang ditunjukkan gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Sirkulasi Air Pendingin Pada Mesin Diesel
(Sumber: Made Ricki Murti, 2008)

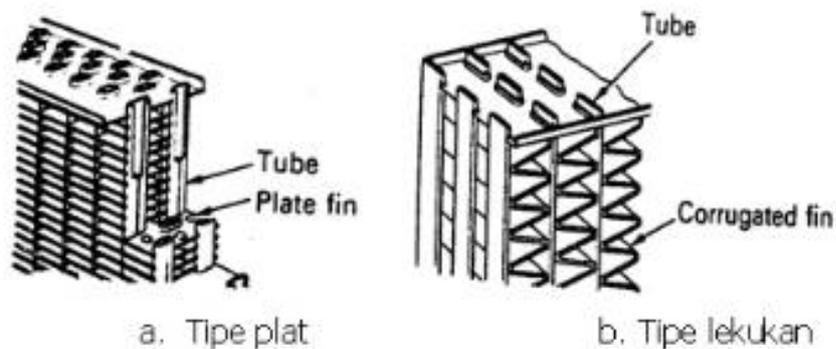
- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Radiator | 6. Thermometer in |
| 2. Mesin | 7. Thermometer out |
| 3. Kipas Radiator | 8. Anemometer in |
| 4. Pompa Radiator | 9. Anemometer out |
| 5. Flowmeter | |

Panas di ruang mesin ini dipindahkan dari sisi dalam silinder ke water jacket secara konduksi. Kemudian panas pada water jacket diteruskan ke fluida pendingin (air) secara konveksi, akibatnya air menjadi panas. Air pendingin yang telah menjadi panas ini disirkulasikan (dipompakan) ke radiator untuk didinginkan lagi agar mampu menyerap panas kembali. Air panas masuk radiator ke upper tank melalui upper hose, selanjutnya ke lower tank melalui tube (pipa kapiler) pada radiator core dan keluar dari lower tank melalui lower hose sudah berupa air dingin. Air yang telah didinginkan tersebut kembali disirkulasikan ke sepanjang water jacket dan melakukan penyerapan panas seperti diuraikan di atas.

Proses pembuangan panas dari fluida pendingin (air) terjadi di radiator yaitu pada radiator core. Air panas yang mengalir pada tube memindahkan panas dari air (fluida pendingin) ke permukaan dalam tube secara konveksi. Panas selanjutnya dipindahkan dari permukaan dalam ke permukaan luar tube secara konduksi, dan diteruskan lagi dari permukaan luar tube ke fin (kisi-kisi radiator)

secara konduksi juga. Panas dari fin radiator di pindahkan ke udara luar secara konveksi. (Made Ricki Murti, 2008).

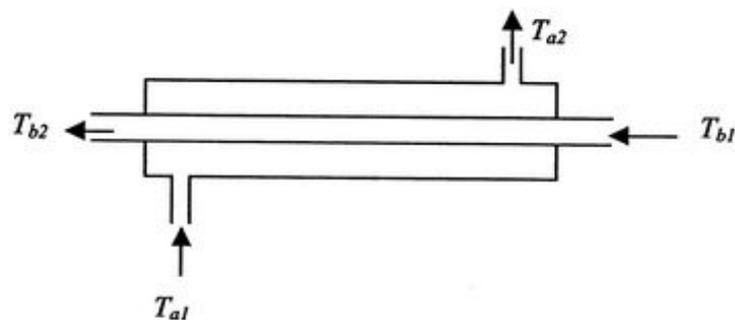
Ada dua tipe inti radiator yang perbedaannya tergantung bentuk sirip-sirip pendinginnya, yaitu tipe plat (*flat fin type*) dan tipe lekukan (*corrugated fin type*) seperti terlihat pada gambar 7. (Nuzul Hidayat, 2020)



Gambar 7 Radiator jenis *flat tube*
(Sumber: Made Ricki Murti, 2008)

2.6 Panas Radiator Yang Diserap Oleh Udara

Besarnya kalor dari pendingin merupakan nilai yang menunjukkan besarnya kalor pada air pendingin yang diserap oleh udara. Pertukaran kalor disebabkan oleh aliran massa fluida yang saling bergerak dengan perbedaan temperatur yang sangat besar antara keduanya, sehingga menimbulkan perpindahan panas. Salah satu penukar kalor yang paling sederhana adalah jenis pipa ganda (*double pipe*) atau *concentric heat exchanger* aliran berlawanan arah (*counter flow*) seperti pada gambar 6 .



Gambar 8 *Double pipe heat exchanger* aliran berlawanan arah
(Sumber: Santoso, 2021)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung adalah:

$$q = m \cdot Cp \cdot (T_{h\ out} - T_{h\ in}) \quad (\text{Santoso, 2021}) \quad (7)$$

Sedangkan untuk mencari nilai laju massa alirannya:

$$m = \rho \cdot V \cdot A \text{ atau } \rho \cdot Q \quad (8)$$

Dimana :

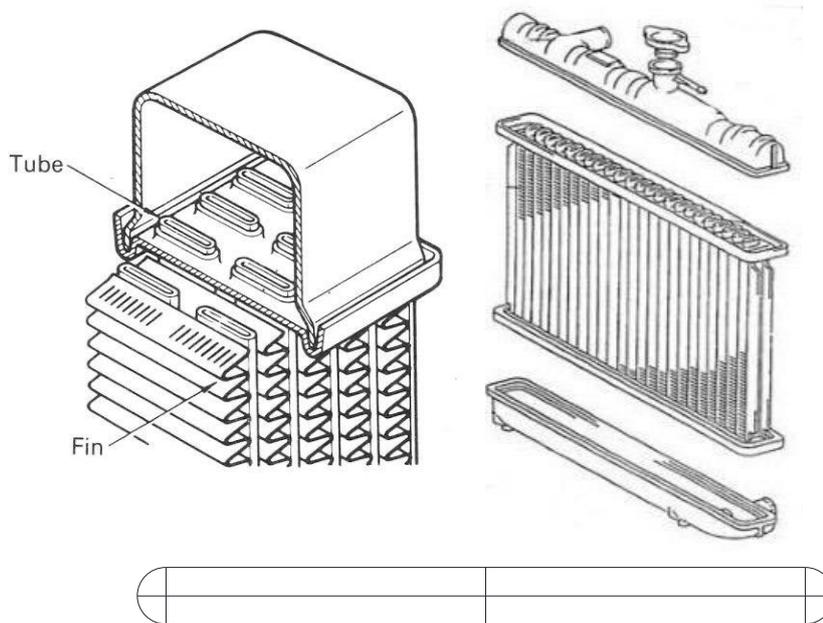
ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

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

A = Luas Selubung *tube* atau luas penampang radiator (m)

Untuk luas (A) selubung pada *tube* radiator bisa menggunakan rumus pendekatan seperti dibawah ini :

$$A_{tube} = (2\pi r + 2P) \times T \quad (9)$$



Gambar 9 Gambar Detail Dari *Tube* Radiator
(Sumber: <https://www.teknik-otomotif.com>)

Perhitungan koefisien perpindahan menyeluruh, yaitu:

$$q = U_{total} \cdot A_{radiator} \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (10)$$

(Tayep, 2021)

2.7 Perhitungan Untuk Mencari Efektivitas Radiator

Keefektifan radiator adalah kemampuan radiator dalam menyerap panas dari air yang dibawa dari dalam mesin atau kemampuan radiator untuk mendinginkan mesin sehingga temperatur mesin juga dapat terjaga dalam keadaan stabil. Efektivitas radiator berdampak besar pada sistem pendingin, dimana suhu air yang keluar dari radiator tidak lebih tinggi atau sama dengan suhu air yang masuk ke mesin. Persamaan nilai efektivitas pada pendingin adalah:

$$\varepsilon = \frac{q_{aktual} \text{ (actual heat transfer rate)}}{q_{maks} \text{ (maximum heat transfer rate)}} \quad (11)$$

Dimana:

ε = Efektivitas Radiator

q_{aktual} = Laju perpindahan panas aktual (W)

q_{maks} = Laju perpindahan panas maksimum (W)

Untuk q_{aktual} dan q_{maks} bisa ditentukan dengan persamaan berikut :

$$q_{aktual} = \dot{m}_h C_h (Th_{in} - Th_{out})$$

$$q_{maks} = \dot{m} C_{min} (Th_{in} - Tc_{in}) \quad (12)$$

Dimana:

C_{min} = kapasitas panas yang terkecil antara fluida dingin dan fluida panas.

$T_{c\ in}$ = Temperatur udara saat masuk ke radiator (°C)

$T_{c\ out}$ = Temperatur udara saat keluar dari radiator (°C)

$T_{h\ in}$ = Temperatur fluida saat keluar ke radiator (°C)

$T_{h\ out}$ = Temperatur fluida saat masuk dari radiator (°C)

Kapasitas panas setiap fluida dapat dicari menggunakan persamaan

$$C_{min} = \dot{m} C_p \quad (13)$$