

**PENGARUH *COOLANT* TERHADAP EFEKTIVITAS PENDINGINAN
DAN LAJU KOROSI MATERIAL KUNINGAN**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH:

SAMUEL ALFON RIAU SATA TARIGAN
15.331.0352

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH *COOLANT* TERHADAP EFEKTIVITAS PENDINGINAN DAN LAJU KOROSI MATERIAL KUNINGAN

Disusun Oleh :

SAMUEL ALFON RIAU SARA TARIGAN
15.331.0352

Telah Diuji Didepan Dewan Penguji Pada Tanggal
30 April 2020 dan Dinyatakan
Telah Memenuhi Syarat Diterima

Disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. KURNIA HASTUTI, ST., MT
NIDN. 990502281


EDDY ELFIANO, ST., M.Eng
NIDN. 1025057501

Disahkan Oleh :

Pekanbaru, Mei 2020
Ketua Program Studi
Teknik Mesin


DODY YULIANTO, ST., MT
NIDN. 1029077302

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Samuel Alfon Riau Sata Tarigan
NPM : 15.331.0352
Fakultas/Prodi : TEKNIK / Program Studi Teknik Mesin
Judul TA : Pengaruh *Coolant* Terhadap Efektivitas Pendinginan dan Laju Korosi Material Kuningan.

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari Karya Tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data – data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat Karya Tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau – Pekanbaru.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat serta tanpa paksaan dari siapapun.

Pekanbaru, Mei 2020

Yang Membuat Pernyataan,




Samuel Alfon Riau Sata Tarigan
15.331.0352

PENGARUH *COOLANT* TERHADAP EFEKTIVITAS PENDINGINAN DAN LAJU KOROSI MATERIAL KUNINGAN

Samuel Alfon, Kurnia Hastuti, Eddy Elfiano

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nasution, Km. 11, No. 133, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru-Riau

Email : samuel.tarigan@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Radiator berfungsi sebagai alat penukar panas pada mesin kendaraan yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu medium ke medium lainnya yang tujuannya untuk mendinginkan mesin dengan media berupa cairan (*coolant*). Dalam aplikasinya seringkali penggunaan *coolant* dicampur dengan air mineral, air sumur dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan efektivitas pendinginan dan laju korosi material kuningan pada radiator akibat penggunaan media pendingin yang berbeda. Media pendingin yang digunakan yaitu *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral dan air aquades. Pengujian efektivitas pendinginan dilakukan pada putaran konstan 1500 rpm dengan waktu bervariasi yaitu 5, 10, 15 dan 20 menit. Sedangkan laju korosi diperoleh melalui metode *immersion test* dengan lama waktu perendaman 7, 14, 21, 28 dan 35 hari. Hasil perhitungan efektivitas pendinginan radiator menunjukkan nilai rata-rata pada media *coolant* radiator sebesar 21,15%, nilai rata-rata pada media *coolant* radiator + air mineral sebesar 18,4% dan nilai rata-rata pada media air aquades sebesar 16,7%. Rata-rata kehilangan berat pada media *coolant* radiator adalah 0.0089 gram dan rata-rata laju korosinya 0,0067 mm/tahun, rata-rata kehilangan berat pada media *coolant* radiator + air mineral 0.0116 gram dan rata-rata laju korosinya 0,0090 mm/tahun sedangkan pada media air aquades rata-rata kehilangan berat 0.0101 gram dan rata-rata laju korosinya 0,0078 mm/tahun. Penelitian ini menunjukkan nilai efektivitas pendinginan radiator tertinggi diperlihatkan oleh media *coolant* radiator. Sedangkan media pendingin yang digunakan juga memberikan pengaruh berbeda pada laju korosi, dimana nilai laju korosi tertinggi diperlihatkan oleh media pengujian *coolant* radiator + air mineral.

Kata Kunci: *Coolant*, Material Kuningan, Efektivitas Pendinginan, Laju Korosi.

COOLANT EFFECT ON COOLING EFFECTIVENESS AND BRASS CORROSION RATE

Samuel Alfon, Kurnia Hastuti, Eddy Elfiano

Mechanical Engineering Study, Faculty of Engineering, Riau Islamic University
Jl. Kaharuddin Nasution, Km. 11, No. 133, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru-Riau
corresponding author : samuel.tarigan@student.uir.ac.id

ABSTRACT

The radiator functions as a heat exchanger on the vehicle engine that is used to transfer heat energy from one medium to another whose purpose is to cool the engine with liquid media. In its application the use of coolant is often mixed with mineral water, well water and others. This research was conducted with the aim of obtaining the effectiveness of cooling and corrosion rate of brass material in radiator due to the use of different cooling media. The cooling media used are coolant radiator, coolant radiator + mineral water and aquades water. Cooling effectiveness test is carried out at a constant speed of 1500 rpm with varying times of 5, 10, 15 and 20 minutes. While the corrosion rate is obtained through the immersion test method with a soaking time of 7, 14, 21, 28 and 35 days. The results of the calculation of the effectiveness of cooling radiators show the average value of the radiator coolant media of 21.15%, the average value of the radiator coolant media + mineral water by 18.4% and the average value of the aquades media by 16.7% . The average weight loss on radiator coolant media is 0.0089 grams and the average corrosion rate is 0.0068 mm / year, the average weight loss on radiator coolant media + water is 0.0116 grams and the average corrosion rate is 0.0091 mm / years whereas in aquades water media the average weight loss is 0.0101 grams and the average corrosion rate is 0.0078 mm / year. This research shows that the highest value of radiator cooling effectiveness is shown by the radiator coolant media. While the cooling medium used also gives a different effect on the corrosion rate, where the highest corrosion rate is shown by the coolant radiator + mineral water testing media.

Keywords: Coolant, Brass Material, Cooling Effectiveness, Corrosion Rate.

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, dengan judul “Pengaruh *Coolant* Terhadap Efektivitas Pendinginan dan Laju Korosi Material Kuningan”.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa pula mengucapkan Terimakasih kepada Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT dan Bapak Eddy Elfiano, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing serta memberikan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik, Kepala Program Studi beserta Sekretaris program studi Teknik Mesin, Dosen pengajar Teknik Mesin dan Karyawan Tata Usaha Fakultas Teknik serta teman-teman mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Islam Riau atas segala bantuan yang telah diberikan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada kedua Orang Tua yang telah memberikan semangat, motivasi, bantuan moril dan materil dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis telah berupaya semaksimal mungkin namun penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan saran serta kritik dari semua pihak demi kesempurnaan penulisan ini. Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat dijadikan pedoman dalam pengaplikasiannya.

Pekanbaru, Mei 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Sistem Pendingin	6
2.2 Macam-Macam Sistem Pendingin	6
2.2.1 Pendingin Udara (<i>Air Cooling</i>)	7
2.2.2 Pendingin Air (<i>Water Cooling</i>)	8
2.3 Komponen Sistem Pendingin Air.....	11
2.3.1 Radiator	12
2.3.2 Tutup Radiator.....	14
2.3.3 <i>Thermostat</i>	15
2.3.4 Kipas Pendingin.....	16
2.3.5 Tangki Cadangan.....	18
2.3.6 Pompa Air.....	19
2.3.7 Selang Radiator	20
2.3.8 <i>Water Jacket</i>	21
2.4 Prinsip Kerja Radiator Sebagai Pembuang Panas Mesin	22

2.5	<i>Coolant</i> Radiator.....	22
2.6	Air Aquadest.....	23
2.7	Efektivitas Pendinginan Pada Radiator	24
2.8	Korosi	25
2.9	Jenis – Jenis Korosi	27
2.10	Logam.....	32
2.11	Sifat-Sifat Logam	32
2.11.1	Sifat Mekanis	32
2.11.2	Sifat Fisika	34
2.11.3	Sifat Kimia	34
2.12	Jenis – Jenis Logam.....	35
2.12.1	Logam <i>Ferro</i>	35
2.12.2	Logam <i>Non-Ferro</i>	35
2.13	Logam Kuningan	37
2.14	Efek Korosi Pada Logam Kuningan Radiator	37
2.15	Jenis Korosi Pada Logam Kuningan Radiator.....	39
2.16	Pengertian Uji Korosi.....	39
2.16.1	<i>ImerrSION Test</i>	40
2.17	Perhitungan Laju Korosi	41
2.18	Foto Mikro.....	43

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	44
3.2	Alat dan Bahan	44
3.2.1	Alat.....	44
3.2.2	Bahan	53
3.3	Persiapan Spesimen	54
3.4	Persiapan Bak Pengujian Korosi	55
3.5	Susunan Spesimen Uji	56
3.6	Prosedur Pengujian Laju Korosi	57

3.7 Pengambilan Data	57
3.7.1 Perhitungan Efektifitas Pendinginan Radiator	58
3.7.2 Kehilangan Berat Spesimen	60
3.7.3 Perhitungan Laju Korosi	61
3.7.4 Pengujian Foto Mikro	62
3.9 Diagram Alir Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Efektivitas Pendinginan	65
4.2 Laju Korosi	69
4.2.1 Kehilangan Berat	69
4.2.2 Perhitungan Laju Korosi	74
4.3 Hasil Pengujian Foto Mikro	80
4.4 Hubungan Efektivitas dan Laju Korosi	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	88
5.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pendingin Udara.....	7
Gambar 2.2 Prinsip Sirkulasi Alamiah.....	9
Gambar 2.3 Prinsip Sirkulasi Pada Mesin Mobil.....	9
Gambar 2.4 Sirkulasi Dengan Tekanan	10
Gambar 2.5 Bagian Komponen Sistem Pendingin Air	12
Gambar 2.6 Radiator	12
Gambar 2.7 Tutup Radiator.....	15
Gambar 2.8 <i>Thermostat</i>	16
Gambar 2.9 Kipas Pendingin Konvensional	17
Gambar 2.10 Kipas Radiator Elektrik.....	18
Gambar 2.11 Tangki Cadangan.....	19
Gambar 2.12 Komponen <i>Water Pump</i>	19
Gambar 2.13 Selang Radiator	21
Gambar 2.14 <i>Water Jacket</i>	21
Gambar 2.15 Korosi Merata.....	27
Gambar 2.16 Korosi Galvanik	28
Gambar 2.17 Korosi Sumuran.....	29
Gambar 2.18 Korosi Celah.....	29
Gambar 2.19 Korosi Retak Tegang (<i>stress corrosion cracking</i>)	30
Gambar 2.20 Korosi Erosi	31
Gambar 2.21 Korosi Selektif Pada Logam Kuningan.....	31
Gambar 2.22 Korosi Pada <i>Upper Tank</i> Radiator	39
Gambar 2.23 Alat Pengamatan Metalografi.....	43
Gambar 3.1 <i>Thermocouple</i>	45
Gambar 3.2 <i>Anemometer</i>	45
Gambar 3.3 <i>Tachometer</i>	46
Gambar 3.4 Thermometer Air Raksa	46

Gambar 3.5 <i>Flowmeter Type Tube</i>	47
Gambar 3.6 <i>Stopwatch</i>	47
Gambar 3.7 Meteran.....	48
Gambar 3.8 Kunci – Kunci	48
Gambar 3.9 Gerinda Tangan	49
Gambar 3.10 Alat Ukur (Jangka Sorong)	49
Gambar 3.11 Timbangan Digital	50
Gambar 3.12 Thermometer Digital	50
Gambar 3.13 Thermostat Pemanas Air	51
Gambar 3.14 Wadah Pembersihan	51
Gambar 3.15 Gelas Ukur.....	52
Gambar 3.16 Tali Pengikat	52
Gambar 3.17 Kertas Amplas	53
Gambar 3.18 Mesin Toyota seri 4K.....	53
Gambar 3.19 Logam Kuningan (<i>brass</i>)	54
Gambar 3.20 Media Pengujian Korosi.....	54
Gambar 3.21 Spesimen Pengujian	55
Gambar 3.22 Spesimen yang ditutup dengan Isolasi	55
Gambar 3.23 Bak Pengujian Laju Korosi	56
Gambar 3.24 Susunan Spesimen Uji Laju Korosi	56
Gambar 3.25 Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Efektivitas Pendinginan Radiator Dengan Semua Jenis <i>Coolant</i> Terhadap Waktu Pengujian	68
Gambar 4.2 Grafik Kehilangan Berat Spesimen Plat Kuningan Terhadap Waktu Pengujian.....	73
Gambar 4.3 Grafik Laju Korosi Material Kuningan Terhadap Waktu Pengujian Dengan <i>Coolant</i> Yang Berbeda	79
Gambar 4.4 Hasil pengamatan foto mikro sebelum dan sesudah perendaman dengan lama waktu 7, 21, 35 hari	85

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Spesifikasi <i>Coolant</i>	23
Tabel 2.2 Bentuk Korosi Selektif.....	33
Tabel 2.3 Ketahanan Korosi Relative	41
Tabel 2.4 Nilai Ketetapan Laju Korosi (K) Tiap Laju Korosi	42
Tabel 3.1 Pengambilan data pada pengujian efektifitas pendinginan radiator.....	59
Tabel 3.2 Kehilangan Berat Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian	61
Tabel 3.3 Nilai Laju Korosi Pada Setiap Spesimen Uji	62
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Efektivitas Pendinginan	65
Tabel 4.2 Data hasil perbandingan efektivitas pendinginan semua jenis <i>coolant</i>	67
Tabel 4.3 Data hasil pengujian kehilangan berat	70
Tabel 4.4 Hasil Kehilangan Berat Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian	73
Table 4.5 Nilai Laju Korosi Pada Setiap Spesimen Setelah dilakukan Pengujian.....	78

DAFTAR NOTASI

SYMBOL	NOTASI	SATUAN
ε	Efektivitas Pendinginan	%
$T_{h. in}$	Temperatur air panas masuk radiator	°C
$T_{h. out}$	Temperatur air panas keluar radiator	°C
$T_{c. in}$	Temperatur udara masuk didepan radiator	°C
$T_{c. out}$	Temperatur udara keluar dibelakang radiator	°C
n	Putaran	Rpm
CR	Corrosion Rate/Laju Korosi	mm/year
K	Konstanta (8.76×10^4)	-
W	Massa yang hilang	Gram
D	Massa Jenis Material Uji (8,4)	gram/cm ³
A	Luas Area Total	cm ²
T	Waktu Pengamatan	Jam
ΔW	Kehilangan Berat Material Uji	Gram
W_1	Berat Awal Material Uji	Gram
W_2	Berat Akhir Material Uji	Gram

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini motor bakar merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting, sebagai alat pendukung kegiatan manusia seperti alat transportasi, alat pertanian, alat industri maupun lainnya. Motor bakar merupakan suatu mesin konversi energi yang banyak digunakan untuk melanjutkan kerja mekanik yang dapat mengubah energi thermal menjadi energi mekanik (Dedy Santoso, 2016).

Untuk dapat menghasilkan energi thermal tersebut diperlukan adanya suatu proses pembakaran pada ruang bakar, guna menghasilkan proses pembakaran, minimal harus ada tiga komponen utama yaitu, bahan bakar, udara dan kalor. Akibat lain dari proses pembakaran adalah panas yang apabila tidak didinginkan akan merusak komponen dari mesin itu sendiri (Fauzan Basri, 2012). Sistem pendingin (*cooling system*) adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *over heating* pada mesin agar mesin dapat bekerja secara optimal.

Sistem pendinginan dalam mesin kendaraan adalah suatu sistem atau komponen yang berfungsi untuk menjaga supaya temperatur mesin dalam kondisi yang ideal. Sistem pendingin terbagi menjadi dua, yaitu sistem pendingin udara (*air cooling*) dan sistem pendingin air (*water cooling*). Pada sistem pendingin air menggunakan cairan *fluida* berupa *coolant* untuk membantu proses pendinginan mesin, sehingga ditambahkan suatu sistem radiator pada kendaraan bermotor (roda dua, roda empat atau lebih) 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 *coolant* yang memang direkomendasikan. Pada keadaan tertentu, seringkali *coolant* radiator terpaksa ditambah dengan air mineral kemasan, air sumur dan lain sebagainya karena tidak tersedia pada saat diperlukan. *Coolant* radiator meski sudah didesain untuk radiator tetap mengandung bahan kimia *glycol* dan *additive* yang dalam jangka panjang dapat merusak radiator.

Radiator memiliki beberapa komponen yang terbuat dari material logam kuningan yang bisa terjadi korosi, contohnya pada bagian *upper tank* dan *lower tank*. Pada proses ini korosi akan merusak dengan cara mengikis logam pada tangki radiator, sehingga dapat menghambat proses sirkulasi air pendingin yang dapat menyebabkan terjadinya panas yang berlebihan (*over heating*) pada mesin (Saifudin dkk, 2016).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan efektivitas pendinginan dan laju korosi material kuningan pada radiator dengan menggunakan tiga media pendingin berbeda yaitu *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral dan air aquades. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi perbandingan tentang pengaruh penggunaan media pendingin (*coolant*) yang berbeda terhadap efektivitas pendinginan dan laju korosi material kuningan pada radiator.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh masing-masing media pendingin (*coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral, dan air aquades) terhadap efektivitas pendinginan pada radiator.
2. Bagaimana pengaruh masing-masing media pendingin (*coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral, dan air aquades) terhadap laju korosi pada material kuningan radiator.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan efektivitas pendinginan pada radiator dengan media *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral, dan air aquades.
2. Mendapatkan laju korosi material kuningan pada radiator dengan media *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral, dan air aquades.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka penelitian ini memberikan manfaat kepada pengguna sehingga dapat menjadi rujukan tentang pengaruh *coolant* pada efektivitas pendinginan dan efeknya terhadap laju korosi pada material kuningan radiator.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan spesimen logam kuningan *brass* dengan kandungan tembaga (Cu) 70% dan seng (Zn) 30% pada pengujian laju korosi.
2. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan waktu 5,10,15 dan 20 menit pada putaran konstan 1500 rpm untuk pengujian efektivitas pendinginan.
3. Penelitian ini hanya menghitung efektivitas pendinginan radiator dan laju korosi material kuningan pada radiator.
4. Penelitian ini hanya menggunakan media *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral dan air aquades.
5. Jenis *coolant* yang digunakan pada penelitian ini jenis *coolant* produk Prestoon
6. Pada penelitian ini menggunakan mesin Toyota seri 4K yang diberi nama *Engine Stand* sebagai alat pengujian efektivitas pendinginan pada radiator.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan literatur yang melandasi dan mendukung penelitian ini. Memberikan pemahaman singkat melalui penjelasan umum, uraian pengertian dan teori.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menguraikan metodologi penelitian sebagai kerangka pemecahan masalah baik dalam mengumpulkan data ataupun dalam menganalisis data yang diperoleh.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan serta analisa - analisa dari hasil yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran berisikan simpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan dalam penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Sistem Pendingin

Sistem pendinginan dalam mesin kendaraan adalah suatu sistem atau komponen yang berfungsi untuk menjaga supaya temperatur mesin dalam kondisi yang ideal. Sistem pendinginan pada kendaraan menggunakan bantuan fluida cair atau udara yang dapat menyerap panas pada mesin yang ditimbulkan dari proses pembakaran bahan bakar dengan udara didalam *block* silinder. Sistem pendingin memiliki peranan penting dalam mesin otomotif contohnya mobil.

Sistem pendinginan pada mobil berfungsi untuk menurunkan temperatur pada mesin yang terjadi dalam proses pembakaran. Proses pembakaran selanjutnya akan menghasilkan tenaga mekanis yang dapat menggerakkan mesin. Akan tetapi dari proses pembakaran juga menghasilkan panas yang apabila tidak didinginkan akan memuai dan merusak komponen dari mesin itu sendiri. Sistem pendinginan (*cooling system*) adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *overheating* pada mesin agar tetap bekerja secara optimal. Sistem pendinginan dipasang untuk mendinginkan mesin agar tidak kelebihan panas. Pendinginan mesin biasanya menggunakan sistem pendinginan udara atau sistem pendinginan air (Wiguna RC, 2018).

2.2 Macam – Macam Sistem Pendingin

Sistem pendinginan pada kendaraan sering dijumpai ada dua macam antara lain yaitu:

1. Pendingin Udara (*Air cooling*)

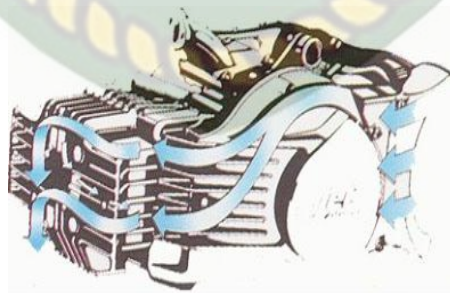
Pendingin udara (*air cooling*) menggunakan media udara untuk membantu proses pendinginan mesin, sehingga bagian *head* silinder dibuat bersirip untuk mempercepat proses pendinginan.

2. Pendingin Air (*Water cooling*)

Pendingin air (*water cooling*) menggunakan media air atau cairan pendingin untuk membantu proses pendinginan mesin, sehingga ditambahkan suatu sistem radiator pada mobil yang bertujuan untuk mempercepat proses pendinginan.

2.2.1 Pendingin Udara (*Air cooling*)

Dalam sistem ini, panas mesin langsung dilepaskan ke udara. Mesin dengan sistem pendinginan udara mempunyai desain pada silinder mesin terdapat sirip pendingin. Sirip pendingin ini untuk memperluas bidang singgung antara mesin dengan udara sehingga pelepasan panas bisa berlangsung lebih cepat. Gambar pendinginan udara dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pendingin Udara
(Sumber Wiguna RC, 2018)

Keunggulan dari menggunakan sistem pendinginan udara adalah sebagai berikut:

- a. Tidak memerlukan air pendingin
- b. Ukuran mesin lebih kecil
- c. Ruangan mesin relative lebih kecil

Kelemahan dari menggunakan sistem pendinginan udara adalah sebagai berikut:

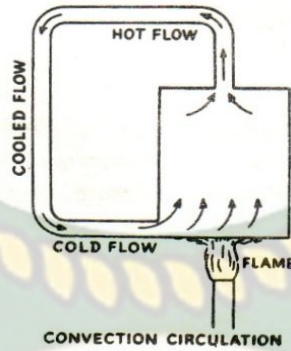
- a. Pada saat jalanan macet atau mobil sedang berhenti dengan mesin hidup, menyebabkan pelepasan kalor berjalan lambat. Maka temperatur mesin naik karena tidak adanya pasokan udara luar pada lorong udara.
- b. Untuk mengatasi hal tersebut biasanya mesin ditambah dengan kipas angin elektrik.
- c. Suara mesin mobil dengan konsep pendingin udara cenderung lebih kasar.

2.2.2 Pendingin Air (*Water cooling*)

Konsep pada pendinginan air adalah selain air, udara juga berperan untuk menstabilkan temperatur mesin. Pada sistem pendinginan air ini, dimana fluidanya bersirkulasi secara kontinyu. Adapun sirkulasi air terdapat dua macam, yaitu:

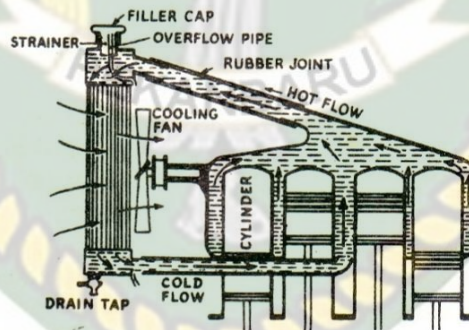
- 1. Sirkulasi alamiah
 - 2. Sirkulasi dengan tekanan
- a. Sirkulasi Alamiah

Pada sistem pendinginan air dengan sirkulasi alamiah, air pendingin akan mengalir dengan sendirinya yang diakibatkan oleh perbedaan massa jenis air yang telah panas dan air yang masih dingin. Gambar pendinginan air sistem alamiah dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prinsip sirkulasi alamiah
 (Sumber Wiguna RC, 2018)

Agar air yang panas dapat dingin secara cepat, maka pada sistem sirkulasi alamiah dipasangkan radiator sebagai alat pembuang panas agar sempurna pendinginannya. Gambar prinsip sirkulasi pada mesin mobil dapat dilihat pada Gambar 2.3.

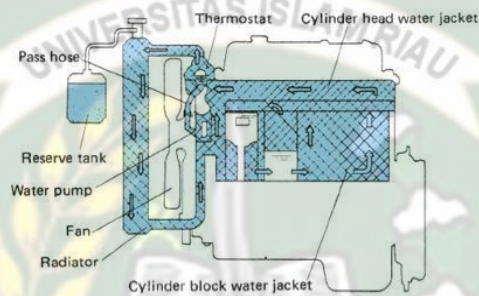


Gambar 2.3 Prinsip sirkulasi pada mesin mobil
 (Sumber Wiguna RC, 2018)

Air yang berada dalam mantel air dipanaskan oleh hasil pembakaran sehingga suhunya naik, sehingga massa jenisnya akan turun dan air ini didesak ke atas oleh air yang masih dingin dari radiator. Agar pembuangan panas dari radiator terjadi sebesar mungkin maka pada sistem pendingin dilengkapi juga dengan kipas yang berfungsi untuk mengalirkan udara pada radiator agar panas pada radiator dapat dibuang atau diserap udara.

b. Sirkulasi Dengan Tekanan

Pada sirkulasi dengan tekanan pada prinsipnya sama dengan sirkulasi alamiah, akan tetapi untuk mempercepat terjadinya sirkulasi maka pada sistem ini dipasang pompa air. Gambar pendinginan air sistem sirkulasi dengan tekanan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sirkulasi dengan tekanan
(Sumber Wiguna RC, 2018)

Proses pendinginan pada mesin menggunakan pendinginan air. Pada pendinginan air secara alamiah, proses perpindahan panas atau pendinginan melalui perubahan massa jenis air yang menurun karena panas selanjutnya air akan berpindah secara alamiah berdasarkan rapat massa sehingga terjadi sirkulasi alamiah untuk pendinginannya. Untuk mempercepat pembuangan panas pada sistem pendinginan air dipasangkan radiator. Melalui radiator ini panas air akan didinginkan dan dibuang ke udara melalui sirip-sirip radiator. Pada pendinginan air dengan tekanan, sirkulasi akan dipercepat oleh putaran kipas pompa air sehingga sirkulasi air radiator pada sistem pendingin ini akan cepat dan lebih baik. Dan dizaman sekarang ini sistem pendingin air menggunakan sistem radiator lebih banyak digunakan untuk membantu proses pendinginan mesin dari pada sistem pendingin udara.

Keunggulan dari menggunakan sistem pendinginan air adalah sebagai berikut:

- a. Mesin menjadi tidak berisik karena ruang pembakaran dikelilingi oleh air yang berfungsi sebagai pendingin dan juga bisa sebagai peredam.
- b. Temperatur seluruh mesin lebih seragam sehingga kemungkinan distorsi kecil
- c. Sistem pendinginan air cocok digunakan untuk mesin-mesin besar.

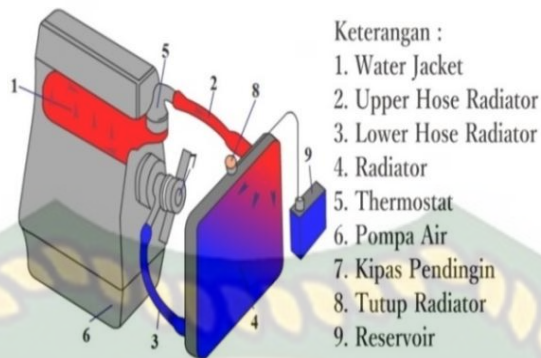
Kelemahan dari menggunakan sistem pendinginan air adalah sebagai berikut:

- a. Konstruksi mesin lebih rumit.
- b. Temperature kerja mesin lebih lama tercapai.
- c. Kemungkinan terjadinya kebocoran pada selang radiator sehingga mengakibatkan *overheating*.
- d. Pada temperatur rendah diperlukan antifreeze agar cairan pendingin tidak membeku.

2.3 Komponen Sistem Pendingin Air

Sistem pendinginan air (*water cooling*) memiliki bagian – bagian yang bekerja secara bersamaan satu dengan yang lainnya, komponen – komponen tersebut akan bekerja untuk mendukung kerja sistem pendinginan air.

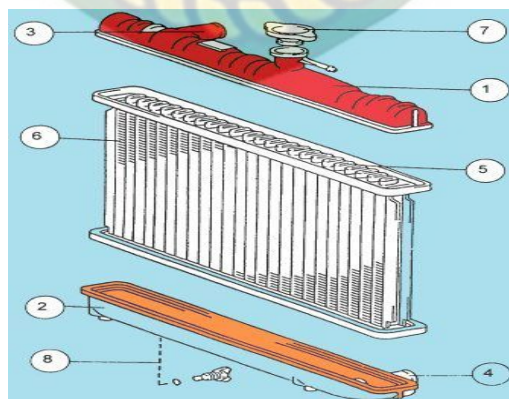
Dalam penelitian ini membahas tentang radiator, adapun komponen – komponen yang terdapat pada sistem pendingin air (*water cooling*) dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Bagian komponen sistem pendingin
(Sumber Haryanto Fachry, 2017)

2.3.1 Radiator

Radiator berfungsi sebagai alat penukar panas yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu medium ke medium lainnya yang tujuannya untuk mendinginkan dengan media berupa cairan (*coolant*) (Subroto dkk, 2011). Menurut (Saifudin dan Suroto, 2016) menunjukan komposisi kimia bahan utama penyusun pada tabung atau tangki radiator adalah kuningan yang merupakan paduan antara tembaga atau Cu dengan komposisi sebanyak 67% dan komposisi seng atau Zn 32 %. Adapun komponen – komponen yang terdapat pada radiator bisa dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Radiator
(Sumber Subroto, 2011)

Berikut penjelasan atau fungsi tiap bagian – bagian utama pada radiator kendaraan:

1. *Upper tank* atau tangki atas

Upper tank adalah tangki bagian atas radiator yang terbuat dari dua bahan, yang pertama berbahan dari kuningan dan yang kedua berbahan dari aluminium. *Upper tank* ini berfungsi sebagai penampung air yang keluar dari *head* silinder sebelum air masuk kedalam kisi-kisi *tube* radiator.

2. *Lower tank* atau tangki bawah

Lower tank adalah bagian paling bawah dari radiator yang terbuat sama dengan *upper tank* yaitu kuningan dan aluminium. *Lower tank* ini berfungsi untuk menampung air yang sudah didinginkan dari *core* radiator dan tempat penampung air yang akan masuk ke *block* silinder.

3. Sambungan *upper hose*

Sambungan *upper hose* berfungsi sebagai saluran masuk air panas dari *block* silinder kedalam radiator.

4. Sambungan *lower hose*

Sambungan *lower hose* berfungsi sebagai saluran keluar air yang sudah didinginkan kembali ke *block* silinder

5. Kisi – kisi radiator (*tube*)

Kisi – kisi (*tube*) memiliki konstruksi pipih dan memanjang yang berfungsi untuk membantu proses pendinginan air radiator dan mengalirkan air dari tangki bagian atas ke tangki bagian bawah.

6. Sirip – sirip radiator (*fins*)

Sirip – sirip radiator atau (*fins*) berfungsi untuk membuat meningkatkan tekanan turbulensi udara disekitar kisi-kisi (*tube*) supaya pendinginan air lebih efisien dan cepat.

7. Tutup radiator (*radiator cap*)

Sesuai dengan namanya, fungsi pada bagian ini adalah sebagai penutup agar tekanan air serta udara yang berasal dari mesin utama tidak sampai keluar yang dapat menyebabkan berkurangnya air didalam radiator.

8. Kran pembuangan (*drain cock*)

Kran pembuangan atau *drain cock* berfungsi untuk membuang air yang ada di dalam radiator pada saat ingin menguras atau mengganti air radiator yang lama.

2.3.2 Tutup Radiator

Tutup radiator memiliki dua fungsi, fungsi pertama di dalam sistem pendinginan mesin kendaraan, ketika mesin bekerja lalu temperatur naik, secara otomatis suhu air pendingin ikut naik dan tekanan di dalam sistem ikut naik pula. Pada tutup radiator terdapat mekanisme agar dengan naiknya suhu dan tekanan tidak menyebabkan radiator atau selang radiator meledak. Karena mekanisme tersebut bisa membuang dan menarik kembali air yang memuai yang ditampung pada tangki cadangan (*reservoir*). Sedangkan fungsi yang kedua adalah untuk mempertahankan air pendingin di dalam sistem agar tetap penuh walaupun mesin dalam keadaan dingin atau panas. Untuk mewujudkan fungsi tersebut, maka pada tutup radiator dilengkapi dengan *relief valve* dan *vacuum valve* yang mengatur

agar tekanan dalam radiator tidak lebih dari 1 atmosfer (atm) dan air mendidih dalam radiator tidak melebihi 100°C. *Relief valve* mempunyai fungsi untuk membuang kelebihan tekanan dalam radiator, sedangkan *vacuum valve* mempunyai fungsi untuk menyamakan tekanan di dalam radiator dengan tekanan udara luar, apabila suhu air pendingin dalam radiator turun sampai dibawah titik didihnya maka *vacuum valve* akan bekerja. Adapun gambar tutup radiator dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tutup radiator
(Sumber Prasetyadi, 2017)

2.3.3 *Thermostat*

Thermostat bekerja dengan memanfaatkan tekanan yang disebabkan oleh *fluida* (air pendingin) panas dari dalam *water jacket*. Ketika tekanan naik, pegas pada *thermostat* akan tertekan dan membuka saluran menuju radiator, sehingga *fluida* panas tersebut akan masuk ke radiator dan didinginkan. *Fluida* dingin dalam radiator masuk ke *water jacket* dengan cara menekan vakum *valve thermostat*. *Thermostat* semacam katup otomatis yang bekerja atas dasar pengaruh suhu air pendingin dan biasanya dipasangkan di dalam saluran air yang keluar dari kepala silinder. Gambar *thermostat* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Thermostat*
(Sumber Prasetyadi, 2017)

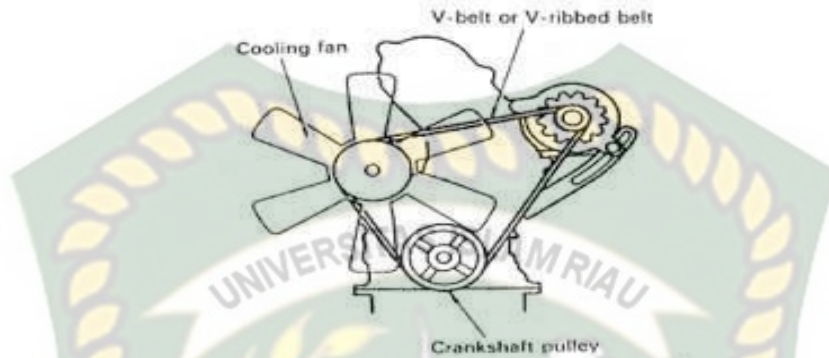
2.3.4 Kipas Pendingin

Radiator didinginkan oleh aliran udara luar yang mengalir melewati sirip-siripnya. Pada saat kendaraan berhenti aliran udara tidak akan cukup untuk mendinginkan radiator. Untuk mengatasi hal ini maka dibelakang radiator dipasang kipas pendingin untuk membantu agar aliran udara selalu cukup untuk mendinginkan radiator. Ada dua jenis kipas yang sering digunakan pada kendaraan yaitu kipas yang digerakan oleh motor listrik dan kipas manual yang digerakan oleh poros engkol mesin itu sendiri melalui tali kipas atau *V-belt*. Adapun jenis - jenis kipas pendingin pada radiator adalah sebagai berikut:

1. Kipas Konvensional

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

Adapun gambar kipas pendinginan jenis konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kipas Konvensional
(Sumber Fahmi, 2014)

2. Kipas Elektrik

Pada versi terbaru, kipas tidak lagi dihubungkan dengan *pulley* mesin, namun sudah bekerja menggunakan sebuah motor listrik. Sebuah motor listrik diletakan pada poros *cooling fan* dan akan bekerja pada waktu tertentu saja. Kipas elektrik bekerja disaat suhu mesin mengalami peningkatan diatas suhu kerjanya kemudian kipas akan berhenti saat suhu mesin turun ke suhu kerja. Dan proses ini terus berlangsung selama mesin hidup, akan tetapi kipas elektrik (*electric fan*) juga akan menyala dikala AC diaktifkan meski suhu mesin berada di bawah suhu kerjanya. Kontrol kipas ini sudah diatur oleh sistem *electrical* secara otomatis melalui sensor sehingga kita tidak perlu memikirkan masalah sistem pendinginan mesin pada era modern sekarang ini. Pada hal ini membuat rpm mesin tidak mempengaruhi kinerja kipas, dengan kata lain kipas bisa mati meski mesin bekerja cukup kencang. Selain itu, kelebihan lain dari *electric fan* ini juga tidak membebani tenaga mesin sehingga power mesin bisa dimaksimalkan untuk menjalankan roda. Untuk kelemahannya ada pada penggerak itu sendiri, saat

baterai atau kelistrikan mobil *drop* maka ini juga akan mempengaruhi kinerja kipas pendingin. Adapun gambar kipas pendinginan jenis elektrik dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kipas Radiator Elektrik
(Sumber Prasetyadi, 2017)

2.3.5 Tangki Cadangan

Tangki cadangan atau *reservoir* berfungsi sebagai penampung cadangan air radiator yang dapat masuk melalui lubang *overflow* yang ada di tutup radiator selama mesin bekerja. Prinsip kerja dari tangki *reservoir* adalah apabila suhu dan tekanan air pendingin dalam radiator naik, maka air yang ada pada *reservoir* akan mengalir dari tangki *reservoir* kedalam radiator dan akan mengalir kembali kedalam tangki *reservoir* apabila suhu air dalam radiator turun. Tangki cadangan dihubungkan ke radiator melalui selang *overflow*, *reservoir* ini juga berfungsi untuk membantu menjaga agar volume air pendingin selalu stabil. Gambar tangki cadangan dapat dilihat pada Gambar 2.11.

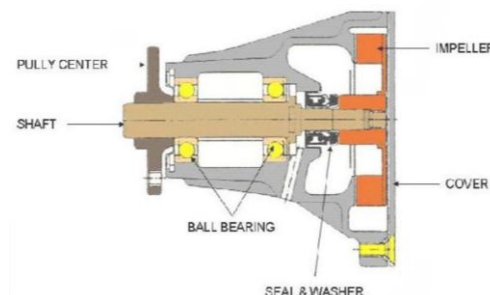


Gambar 2.11 Tangki Cadangan
(Sumber Prasetyadi, 2017)

2.3.6 Pompa Air (*Water Pump*)

Pompa air radiator berfungsi membantu mensirkulasikan cairan radiator dari blok selinder lalu selinder *head* untuk mengalirkan *fluida* panas yang ada pada *water jacket* kembali ke radiator untuk proses pendinginan. Pompa ini bekerja terus-menerus selama mesin bekerja, ada yang bekerja menggunakan putaran poros engkol atau *crankshaft*, ada yang menggunakan putaran noken as atau *camshaft*, dan juga ada pula yang memakai pompa elektrik yang diputar oleh aki.

Pompa air ini menggunakan tipe pompa sentrifugal yang menggunakan sudu-sudu atau *propeler* untuk menimbulkan tekanan agar dapat bersirkulasi ke seluruh jalur sistem pendingin radiator. Adapun gambar komponen pompa air dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Komponen *Water Pump*
(Sumber Prasetyadi, 2017)

Bagian-bagian dari *Water Pump* :

1. Poros (*shaft*)

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

2. Impeler

Impeler yang berbentuk seperti baling-baling kipas berfungsi untuk membuat tekanan pada saat pompa berputar.

3. *Water Pump Seal*

Water pump seal berfungsi untuk mencegah agar air radiator tidak bocor dari sistem pendingin pada poros pompa.

2.3.7 Selang Radiator

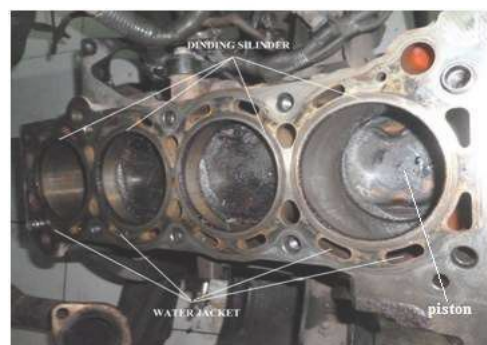
Berfungsi sebagai penghubung antara radiator dan blok mesin untuk mengalirkan *fluida* pendingin. Ada dua jenis selang yang ada pada radiator, *Upper hose* dan *Lower hose*. *Upper hose* berfungsi menghubungkan dan mengalirkan air panas dari mesin ke radiator. Sedangkan *lower hose* untuk menghubungkan dan mengalirkan air yang sudah didinginkan oleh radiator kembali ke mesin. Gambar selang yang ada pada radiator dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Selang Radiator
(Sumber Haryanto Fachry, 2017)

2.3.8 Water Jacket

Water jacket adalah lubang-lubang kecil yang berada di blok dan *head* silinder yang berfungsi sebagai saluran tempat air mengalir untuk mendinginkan mesin. Pada mesin yang dirancang untuk daerah ber iklim panas biasanya *water jacket* dibuat atau dirancang lebih lebar, dan pada daerah ber iklim dingin *water jacket* dirancang lebih sempit. Perbedaan inilah yang sering membuat mobil-mobil eropa yang digunakan di Indonesia sering mengalami *overheating*, khususnya mobil keluaran tahun lama. Masalah pada *water jacket* biasanya diakibatkan oleh lapisan karat yang menghalangi efektivitas air pendingin untuk menyerap panas dan menghalangi air pendingin untuk bersirkulasi di dalam *water jacket* tersebut. Gambar *water jacket* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Water jacket
(Sumber Haryanto Fachry, 2017)

2.4 Prinsip Kerja Radiator Sebagai Pembuang Panas Mesin

Panas mesin terpusat pada ruang bakar atau silinder yang merupakan hasil dari proses pembakaran udara dan bahan bakar. Panas di ruang mesin dipindahkan dari sisi dalam silinder ke *water jacket* secara konduksi. Kemudian panas pada *water jacket* diteruskan ke *fluida* pendingin secara konveksi, akibatnya air menjadi panas. *Fluida* pendingin yang telah menjadi panas ini disirkulasikan (dipompakan) ke radiator untuk didinginkan lagi agar mampu menyerap panas kembali.

Fluida 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 *fluida* dingin. *Fluida* yang telah didinginkan tersebut kembali disirkulasikan ke sepanjang *water jacket* dan melakukan penyerapan panas seperti diuraikan di atas.

Proses pembuangan panas dari media pendingin (*coolant*) terjadi di radiator yaitu pada radiator *core*. *Fluida* panas yang mengalir pada *tube* memindahkan panas dari *fluida* pendingin (*coolant*) 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 dipindahkan ke udara luar secara konveksi.

2.5 Coolant Radiator

Coolant radiator adalah cairan pendingin yang merawat seluruh sistem pendingin radiator, dimana *coolant* memiliki titik beku yang rendah dan titik didih

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

Table 2.1 Spesifikasi *Coolant*

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

(Sumber Pertamina, 2011)

2.6 Air Aquades

Menurut (Santosa, 2011) air aquades merupakan air hasil dari destilasi atau penyulingan dan dapat juga disebut dengan air murni (H₂O). Karena H₂O hampir tidak mengandung mineral. Aquades memiliki dua jenis jika ditinjau dari bahan baku pembuatannya. Diantaranya ada air aquades dari sumur dan air aquades dari mata air pegunungan.

Air murni (aquades) merupakan suatu pelarut yang penting dan memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik sehingga aquades disebut sebagai pelarut *universal*. Aquades berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan fase padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, aquades dapat dideskripsikan sebagai asosiasi atau ikatan antara sebuah ion hidrogen (H^+) dengan sebuah ion hidroksida (OH^-). Aquades juga memiliki rumus kimia yaitu H_2O yang berarti dalam 1 molekul terdapat 2 atom hidrogen kovalen dan atom oksigen tunggal. Aquades bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar yaitu pada tekanan 100 kPa atau 1 bar dan temperatur 273,15 °K (0 °C). Dan dalam arti lain, air aquades juga memiliki sifat-sifat fisika diantaranya viskositas yaitu 1.002 centipoise pada temperature 20 °C.

2.7 Efektivitas Pendinginan Pada Radiator

Pengertian efektivitas secara umum menunjukkan sampai seberapa jauh tercapainya suatu tujuan yang terlebih dahulu ditentukan. Menurut (Saragih, 2017) pengertian efektivitas adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa jauh target (kuantitas, kualitas dan waktu) telah tercapai. Dimana makin besar presentase target yang dicapai, makin tinggi efektivitasnya.

Perbedaan media pendingin yang digunakan pada radiator tentunya mempengaruhi efektivitas pendinginan radiator. Metode perhitungan pada penelitian ini menggunakan rumus metode efektivitas pendinginan. Metode efektivitas mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisa perbandingan berbagai jenis penukar kalor dalam memilih jenis yang terbaik untuk

melaksanakan pemindahan kalor tertentu. Metode perhitungan efektivitas penukar kalor (*Heat Exchange Effectiveness*) menurut (Yunus Cengel, 2014 : 5ed) dapat digunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{T_{h.in} - T_{h.out}}{T_{h.in} - T_{c.in}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

ε = Efektivitas radiator

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

$T_{h.out}$ = Temperatur air panas keluar radiator (°C)

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

$T_{c.out}$ = Temperatur udara keluar yang dibelakang radiator (°C)

2.8 Korosi

Korosi adalah salah satu proses perusakan material khususnya logam karena adanya suatu reaksi antara logam tersebut dengan lingkungan. Menurut (Tretheway, 1991) proses perusakan material yang terjadi menyebabkan turunnya kualitas material logam tersebut. Korosi yang terjadi pada benda logam merupakan sebuah hal yang akan selalu terjadi dan tidak dapat dihindarkan.

Korosi merupakan proses yang terjadi secara alami dan tidak akan bisa berhenti selama logam tersebut masih berada dilingkungan yang bersifat korosif. Proses ini akan merusak logam dengan cara mengikis logam yang kemudian akan menurunkan sifat – sifat mekanis yang dimiliki oleh logam tersebut. Pada umumnya korosi dapat terjadi karena beberapa hal sebagai berikut:

1. Konsentrasi H_2O dan O_2

Dalam kondisi kelembaban yang lebih tinggi, logam akan lebih cepat terkorosi. Selain itu, didalam air yang kadar oksigen terlarutnya lebih tinggi korosi juga akan lebih cepat. Hal ini dapat terjadi karena air dan oksigen masing – masing berperan sebagai medium terjadinya korosi.

2. Kadar pH

Pada kondisi yang lebih asam, $pH < 7$ reaksi korosi pada logam akan lebih cepat, dikarenakan reaksi reduksi oksigen dalam kondisi asam spontan yang ditandai potensial reduksinya lebih besar dibanding dalam kondisi netral ataupun basa.

3. Elektrolit

Adanya elektrolit (asam atau garam) pada medium korosi akan mempercepat terjadinya korosi, sebagaimana ion-ion elektrolit membantu menghantarkan elektron-elektron bebas yang terlepas dari reaksi oksidasi didaerah anoda kepada reaksi reduksi pada daerah katoda

4. Suhu

Semakin tinggi suhu maka semakin cepat korosi yang terjadi. Hal ini dapat terjadi karena laju reaksi kimia meningkat seiring bertambahnya suhu.

5. Kecepatan (pergerakan fluida)

Kecepatan aliran fluida yang tinggi diatas kecepatan kritisnya didalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi (Tretheway, 1991).

2.9 Jenis – Jenis Korosi

Berdasarkan bentuk dan tempat terjadinya, korosi terbagi dalam beberapa jenis antara lain; korosi merata, korosi galvanik, korosi sumuran, korosi celah, korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*), korosi erosi, dan masih banyak yang lainnya (Noviadam, 2017). Berikut ini merupakan penjelasannya :

a. Korosi Merata

Korosi merata atau (*uniform corrosion*), merupakan bentuk korosi yang paling sering terjadi. Korosi yang muncul terlihat merata pada seluruh permukaan logam dengan intensitas yang sama. Salah satu contohnya adalah efek dari korosi atmosfer pada permukaan logam. Korosi merata terjadi apabila seluruh bagian logam memiliki komposisi yang sama. Gambar korosi merata dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Korosi Merata
(Sumber Noviadam, 2017)

b. Korosi Galvanik

Korosi galvanik adalah korosi terjadi apabila dua logam yang tidak sama dihubungkan dan berada di lingkungan korosif. Salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sementara logam lainnya akan terlindung dari serangan korosi. Logam yang mengalami korosi adalah logam yang

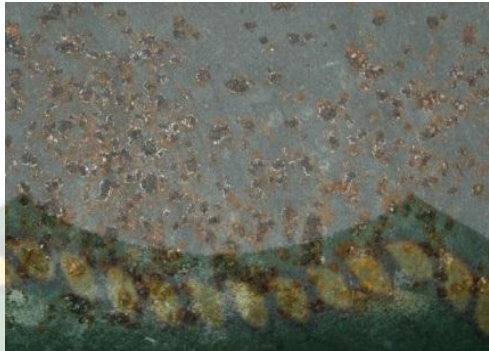
memiliki potensial yang lebih rendah dan logam yang tidak mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial lebih tinggi. Gambar korosi galvanik dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Korosi Galvanik
(Sumber Muhammad Badaruddin, 2012)

c. Korosi Sumuran

Korosi sumuran merupakan korosi yang muncul dan terkonsentrasi pada daerah tertentu. Bentuk korosi ini biasanya disebabkan oleh klorida. Mekanisme terbentuknya korosi sumuran sama dengan korosi celah. Hanya saja korosi sumuran ukurannya lebih kecil jika dibandingkan dengan korosi celah. Karena jaraknya yang saling berdekatan satu sama lain, korosi sumuran akan mengakibatkan permukaan logam menjadi kasar. Korosi sumuran terjadi karena komposisi material yang tidak homogen, rusaknya lapisan pelindung, adanya endapan di permukaan material, serta adanya bagian yang cacat pada material. Gambar korosi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Korosi Sumuran
(Sumber Eko Julianto, 2010)

d. Korosi Celah

Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada celah diantara dua komponen. Mekanisme terjadinya korosi celah ini diawali dengan terjadi korosi merata diluar dan didalam celah, sehingga terjadi oksidasi logam dan reduksi oksigen. Pada suatu saat oksigen (O_2) di dalam celah habis, sedangkan oksigen (O_2) diluar celah masih banyak, akibatnya permukaan logam yang berhubungan dengan bagian luar menjadi katoda dan permukaan logam yang didalam celah menjadi anoda sehingga terbentuk celah yang terkorosi. Gambar korosi celah dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Korosi Celah
(Sumber Eko Julianto, 2010)

e. Korosi Retak Tegang (*stress corrosion cracking*)

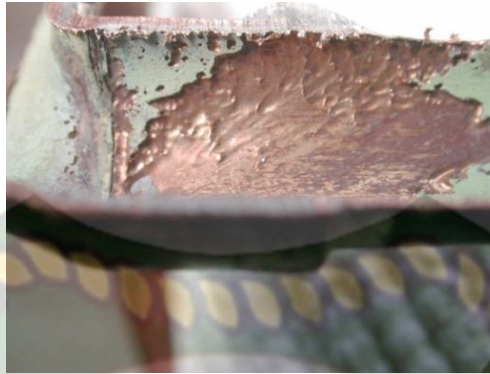
Korosi retak tegang merupakan intergranular pada logam akibat kegiatan gabungan antara tegangan tarik static dengan lingkungan khusus. Bentuk korosi ini sangat lazim dijumpai di lingkungan industri. Korosi retak tegang ini terjadi karena adanya tiga kondisi yang saling berkaitan, yaitu adanya tegangan tarik, lingkungan yang korosif, dan temperatur yang tinggi. Gambar korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*) dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Korosi Retak Tegang
(Sumber Eko Julianto, 2010)

f. Korosi Erosi

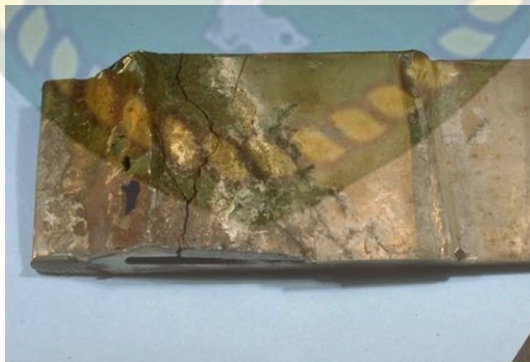
Korosi erosi adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam yang disebabkan aliran fluida yang sangat cepat sehingga merusak permukaan logam dan lapisan film pelindung. *Korosi erosi* juga dapat terjadi karena efek-efek mekanik yang terjadi pada permukaan logam, misalnya: pengausan, abrasi dan gesekan. Gambar korosi erosi dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Korosi Erosi
(Sumber Eko Julianto, 2010)

g. Korosi Selektif

Korosi selektif adalah suatu bentuk korosi yang terjadi karena pelarutan komponen tertentu dari paduan logam (alloynya). Pelarutan ini terjadi pada salah satu unsur pepaduan atau komponen dari paduan logam yang lebih aktif dan dapat menyebabkan sebagian besar dari pepaduan tersebut hilang dari paduannya. Bentuk korosi ini juga disebut pemisahan atau *dealloying*.



Gambar 2.21 Korosi selektif pada logam kuningan
(Sumber Tretheway, 1991)

Beberapa contoh korosi selektif dari paduan logam dengan logam Tembaga (Cu) dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2 Bentuk Korosi Selektif

Bentuk Korosi Selektif	Paduan	Logam Yang Terlarut
<i>Dezincifikasi</i>	Cu-Zn	Zn
<i>Dealuminasi</i>	Cu-Al	Al
<i>Demanganisasi</i>	Cu-Mn	Mn
<i>Denikelisasi</i>	Cu-Ni	Ni
<i>Desilikonisasi</i>	Cu-Si	Si
<i>Decuprifikasi</i>	Cu-Ag	Cu

(Sumber Tretheway, 1991)

2.10 Logam

Logam merupakan unsur yang lebih dari separuhnya terdiri dari unsur – unsur kimia. Didalam teknik yang disebut logam tidak hanya unsur – unsur umum seperti besi, aluminium, tembaga, dll. Tetapi juga persenyawaan lain yang terdiri dari beberapa unsur bukan logam. Pada umumnya logam mempunyai sifat kuat, liat, keras, pengantar listrik, pengantar panas, serta mempunyai titik cair yang tinggi (Tata Surdia, 1999).

2.11 Sifat – Sifat Logam

Menurut (Tata Surdia, 1999) dalam penggunaannya logam yang digunakan akan mengalami gaya luar atau pembebanan. Setiap logam mempunyai daya tahan terhadap pembebanan yang berbeda – beda, perbedaan ini ditentukan oleh sifat dari logam tersebut. Sifat – sifat logam antara lain sebagai berikut:

2.11.1 Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah kemampuan bahan untuk menerima pembebanan atau untuk menahan beban yang diterimanya baik beban statis maupun beban dinamis. Sifat mekanis terdiri dari aspek – aspek sebagai berikut:

1. Kekuatan bahan (*strength*)

Kekuatan bahan (*strength*) yaitu ketahanan suatu material menerima pembebanan tarik, tekan, lentur, puntir dan geser.

2. Kekerasan

Kekerasan adalah sifat dasar dari logam, kekerasan ini didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap goresan atau tekanan.

3. Elastisitas

Merupakan kemampuan logam untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban hingga berubah bentuk. Semakin tinggi batas elastisitas suatu material maka nilai elastisitas material tersebut semakin tinggi.

4. Kekakuan

Kekakuan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan perubahan bentuk.

5. Plastisitas

Plastisitas adalah kemampuan suatu bahan ketika mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan. Seperti halnya elastisitas, jika batas plastisitas material tersebut tinggi, maka nilai plastisitas material juga tinggi, namun batas elastisnya semakin rendah.

6. Kelelahan

Kelelahan merupakan kemampuan maksimal suatu bahan ketika menerima beban yang berganti – ganti dan secara terus – menerus dalam jangka waktu tertentu, dimana tegangan maksimal selalu diberikan selama proses pembebanan dilakukan.

2.11.2 Sifat Fisika

Sifat fisis adalah kemampuan logam terhadap peristiwa – peristiwa fisika.

Adapun sifat – sifat fisika tersebut antara lain adalah:

1. Titik Lebur

Titik lebur merupakan temperature dimana logam akan meleleh dan akhirnya mencair akibat panas yang diberikan.

2. Kepadatan

Faktor yang mempengaruhi dari kepadatan ini adalah berat dari atom dan jarak antara atom dari unsur – unsur pembentuknya. Semakin rapat jarak antar atom, maka nilai kepadatannya semakin tinggi

3. Daya Hantar Panas

Merupakan kemampuan logam menghantarkan panas. Pada aplikasinya dibedakan menjadi konduktor, semi konduktor, dan isolator. Daya hantar panas ini sebanding dengan kemampuan material untuk mengalirkan listrik.

4. Daya Hantar Listrik

Merupakan kemampuan logam untuk dialiri maupun mengalirkan arus listrik. Daya hantar listrik pada aplikasinya dibedakan menjadi konduktor, semi konduktor, dan isolator.

2.11.3 Sifat Kimia

Sifat kimia merupakan kemampuan dari setiap logam terhadap reaksi – reaksi kimia. Pada umumnya sifat ini diindikasikan sebagai daya tahan terhadap karat pada suatu logam.

2.12 Jenis - Jenis Logam

2.12.1 Logam *Ferro*

Logam *ferro* atau logam besi yaitu logam yang mengandung unsur besi (Fe) dalam susunan unsur dasarnya. Bahan logam *ferro* mengandung karbon antara 0 sampai 4,5%, dan dibagi atas tiga golongan yaitu:

1. Besi dengan kadar karbon 0 sampai 0,008%
2. Besi dengan kadar karbon 0,008% sampai 2,0%
3. Besi dengan kadar karbon 2,0% sampai 4,5%.

2.12.2 Logam *Non-Ferro*

Logam *non-ferro* atau logam bukan besi yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) dalam susunan unsur dasarnya. Logam *non-ferro* diantaranya adalah aluminium (Al), tembaga (Cu), magnesium (Mg), seng (Zn), nikel (Ni), dan logam mulia yang lainnya.

1. Alumunium (Al)

Alumunium adalah logam yang bersifat mudah dalam pengerjaannya. Hal ini karena aluminium bisa dikerjakan dalam berbagai bentuk baik dengan cara ditempa, dituang, dikerjakan dengan mesin, disolder, dikeraskan, dilas, ditarik, dan lain-lain. Beberapa sifat alumunium adalah sebagai berikut: (1) Berat jenisnya $2,702 \text{ kg/dm}^3$, (2) Titik cairnya 660°C , (3) Warnanya mengkilap, (4) Penghantar panas dan listrik yang baik, (5) Tahan terhadap korosi, (6) *Non magnetic*.

2. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, mudah regang dan mudah ditempa. Beberapa sifat tembaga (Cu) adalah sebagai berikut: (1) Logam dengan nomor atom 29, (2) Massa atom 63, 546, (3) Titik lebur 1083 °C, (5) Dan titik didih 2310 °C.

3. Magnesium (Mg)

Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Beberapa sifat magnesium adalah sebagai berikut: (1) Magnesium merupakan unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg, (2) Nomor atom 12, (3) Dan berat atom 24,31.

4. Seng (Zn)

Seng adalah unsur logam yang terdapat pada (golongan IIB) didalam tabel periodik. Seng merupakan salah satu unsur dengan simbol Zn dan memiliki warna putih kebiruan yang sangat mudah ditempa dan dibentuk. Beberapa sifat seng (Zn) adalah sebagai berikut: (1) Memiliki nomor atom 30, (2) Massa atom 65,37 g/mol, (3) Seng liat pada suhu 110°C - 150 °C, (4) Seng melebur pada suhu 410°C, (5) Dan seng mendidih pada suhu 906°C.

5. Nikel (Ni)

Nikel adalah merupakan unsur logam keras, ulet, bisa ditempa, dan berwarna putih keperakan. Nikel merupakan konduktor panas dan listrik

yang cukup baik. Beberapa sifat nikel (Ni) adalah sebagai berikut: (1) Memiliki nomor atom 28, (2) Memiliki massa atom 58,71 g/mol, (3) Nikel memiliki titik lebur 1453°C, (4) Dan nikel memiliki titik didih 2913°C.

2.13 Logam Kuningan

Menurut (Tata Surdia, 1999) kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan, dan kuningan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras dari pada tembaga, tetapi tidak sekuat dan sekeras baja. Kuningan sangat mudah untuk dibentuk kedalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dari air garam. Karna sifat – sifat tersebut kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, alat musik, radiator kendaraan, dan aplikasi kapal laut. Dalam sistem pendingin air, khususnya pada radiator sering mengalami korosi. Korosi memiliki efek yang berbahaya antara lain dapat menurunkan umur pemakaian radiator dan dapat mengganggu sirkulasi cairan pendingin pada radiator.

2.14 Efek Korosi Pada Material Kuningan Radiator

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Pada material kuningan sering

disebut dengan korosi selektif, korosi selektif adalah suatu bentuk korosi yang terjadi karena pelarutan komponen tertentu dari paduan logam (*alloy* nya). Pelarutan ini terjadi pada salah satu unsur pepaduan atau komponen dari paduan logam yang lebih aktif yang menyebabkan sebagian besar dari pepaduan tersebut hilang dari paduannya. Pepaduan yang biasanya terlarut dari paduan logamnya adalah seng (Zn), aluminium (Al), nikel (Ni), kobalt (Co) dan crom (Cr). *Dezincfikasi* merupakan bentuk korosi selektif yang menyerang paduan logam yang terdiri dari Cu dan Zn (kuningan). *Dezincfikasi* terutama terjadi pada kuningan dengan kadar seng diatas 15 - 20%. Produk dari proses *dezincfikasi* menghasilkan kuningan yang berlubang, rapuh, memiliki kekuatan mekanis yang rendah dan warna kuningan berubah warna dari kuning ke merahan.

Tipe atau bentuk serangan pada proses *dezincfikasi* dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

a. Tipe setempat (Lokal)

Tipe korosi ini menyerang secara lokal sampai ke dalam kuningan membentuk lobang. Korosi tersebut terjadi pada kuningan yang mempunyai kadar seng sedikit rendah, kondisi lingkungan basa, netral atau sedikit asam.

b. Tipe lapisan (Merata)

Tipe korosi ini menyerang secara merata pada permukaan kuningan dan melarutkan seng pada seluruh permukaan kuningan dengan laju yang hampir sama. Korosi tersebut terjadi pada kuningan dengan kadar seng tinggi dan kondisi lingkungan yang asam.

Banyak sekali efek yang diakibatkan oleh korosi ini, salah satunya adalah korosi pada radiator, berikut beberapa efek atau dampak yang bisa ditimbulkan oleh proses korosi pada radiator diantaranya adalah:

- a. Bocornya peralatan bertekanan atau bersuhu tinggi karena korosi, selain merusak alat juga membahayakan keselamatan jiwa.
- b. Terhambatnya sirkulasi air pendinginan pada sistem radiator dikarenakan permukaan dalam radiator dipenuhi kerak, sehingga sirkulasi air pendinginan tidak lancar. Contoh radiator yang sudah mengalami korosi dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.22 Korosi pada *Upper Tank* Radiator
(Sumber Saifudin, 2016)

2.15 Jenis Korosi Pada Logam Kuningan Radiator

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Saifudin, 2016) yaitu perilaku inhibitor korosi pada radiator menyatakan bahwa jenis korosi yang terjadi pada kuningan sebagai material radiator kendaraan adalah korosi jenis sumuran.

2.16 Pengertian Uji Korosi

Pada dasarnya uji korosi dapat dilakukan baik secara simulatif di dalam laboratorium ataupun secara langsung di lapangan. Uji korosi di laboratorium

biasanya dilakukan terhadap benda uji yang berupa potongan sample yang diambil dari logam atau paduan yang akan dipakai seutuhnya.

Lama pengujiannya mungkin hanya membutuhkan beberapa menit saja, atau dapat juga selama beberapa bulan tergantung pada metodologi yang digunakan. Salah satu metode sederhana yang dapat digunakan untuk menentukan laju korosi adalah dengan menghitung kehilangan berat atau *weight gain loss*. Pengujian ini biasa disebut dengan uji perendaman atau *immersion test*.

2.16.1 Immersion Test

Immersion test atau uji perendaman adalah uji simulasi ketahanan korosi terhadap media korosif dengan cara yang sangat sederhana. Material uji dicelupkan ke dalam media korosif untuk suatu waktu tertentu dengan menerapkan atau mensimulasikan semua parameter yang terlibat dalam kondisi aktual (misal: kondisi operasi, peralatan dan kondisi lingkungan) hasil yang diperoleh dengan cara ini adalah kehilangan berat dari material uji yang dapat dikonversikan ke laju korosi dan fenomena kerusakan material uji atau bentuk korosi. Uji immers dalam skala laboratorium dapat dibagi menjadi:

1. *Immers Total* adalah uji celup yang spesimennya tercelup total di dalam media korosif.
2. *Immers Parsial* adalah uji celup yang hanya sebagian permukaan spesimen uji yang tercelup di dalam media uji.
3. Uji Basah dan Kering adalah uji yang dapat dilakukan dengan memutar spesimen uji sehingga secara berkala tercelup kedalam media korosif.

2.17 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi merupakan mekanisme dari korosi, adapun mekanisme tersebut adalah oksigen mempercepat korosi pada sel oksidasi, korosi dipercepat bila oksigen berkurang karena oksigen bergerak kesisi katoda dan elektron anoda dimana korosi terjadi. Pada suhu rendah atau konsentrasi larutan yang encer, pereaksi tidak selalu ada dan elektron tidak digunakan sehingga rapat arus kurang dari nilai yang diperkirakan sesuai dengan kurva katoda. Gejala ini telah lama dikenal sebagai plarisasi katodik dan dapat digambarkan dengan modifikasi kurva katoda. Pada Table 2.3 berikut ini dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (*relative*) (Mohammad Badaruddin, 2012).

Table 2.3 Ketahanan korosi relative

Ketahanan Korosi Relative	Laju Korosi				
	Mpy	Mm.yr	µm/yr	Nm/hr	Pm/s
Sangat baik	<1	<0.02	<2	<2	<1
Baik	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-1500	50-200

(Sumber Mohammad Badaruddin, 2012)

Laju penyerangan atau laju korosi adalah kecepatan penembusan logam atau kehilangan berat persatuan luas tergantung pada teknik pengukuran yang digunakan dan dinyatakan dalam satuan mmpy (*millimeter per year*) dan besarnya laju korosi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Corrosion\ rate\ (mmpy) = \frac{k \times w}{D \times A \times T} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

k = konstanta $8,76 \times 10^4$

w = massa yang hilang (g)

D = massa jenis sampel uji (g/cm^3)

A = luas penampang (cm^2)

T = waktu pengujian (hour)

Nilai ketetapan laju korosi (k) dapat dilihat pada Table 2.4. Untuk mencari nilai kehilangan berat (w) dari logam kuningan brass yang telah terkorosi, dengan cara melakukan penimbangan spesimen untuk mengetahui berat awal dan berat akhir atau dinyatakan dengan kehilangan berat. Mencari nilai kehilangan berat dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta W = W_0 - W_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

ΔW = kehilangan berat, (gram)

W_0 = berat awal, (gram)

W_2 = berat akhir setelah pengujian, (gram)

Tabel 2.4 Nilai ketetapan laju korosi (k) tiap laju korosi yang diinginkan.

Corrosion Rate Units Desired	Constanta (k) in Corrosion Rate Equation
Mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per month (ip/m)	2.87×10^2
Millimeters per year (mm/y)	8.76×10^4
Micrometers per year ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^7
Picometers per second (pm)	2.78×10^6

(Sumber Baboian Robert, Nace Corrosion Engineer's Reference Book, 2002 :111)

Maka dengan demikian kita dapat memprediksi laju korosi atau *corrosion rate* yang terjadi pada suatu pelat logam yang digunakan. Apabila terjadi kecepatan korosi yang tinggi maka pelat logam tidak akan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama, maka perlu dilakukan pengendalian kecepatan korosi, dengan memberikan atau menggunakan perlindungan yang sesuai dengan jenis korosi yang terjadi pada pelat logam tersebut, hal ini dilakukan agar material pelat logam yang diinginkan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama dengan menghambat atau memperkecil kecepatan korosi yang terjadi.

2.18 Foto Mikro

Pengujian foto mikro atau pengamatan metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metoda observasi, pemeriksaan, pengamatan atau pengujian dengan tujuan untuk menentukan hubungan antara struktur dengan sifat atau karakteristik dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan bahan bahan lainnya. Pada penelitian ini pengamatan metalografi digunakan untuk mengamati foto mikro yang terjadi pada logam kuningan sebagai material pada radiator sebelum dan sesudah dilakukan pengujian laju korosi. Adapun alat pengamatan metalografi bisa dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Alat Pengamatan Foto Mikro
(Sumber Laboratorium Teknik Mesin UIR)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari pemotongan spesimen, persiapan alat dan bahan, pengambilan data laju korosi dan efektifitas radiator. Adapun proses pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan merupakan unsur utama dalam sebuah penelitian, dimana alat yang digunakan sebagai penunjang utama untuk mendapatkan hasil penelitian. Sedangkan bahan berguna sebagai bantuan untuk memperoleh hasil pengujian yang maksimal, adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Adapun alat – alat yang digunakan pada proses pengujian efektivitas pendinginan pada radiator dan laju korosi adalah sebagai berikut :

1. *Thermocouple*

Thermocouple adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu udara didepan dan dibelakang radiator. Gambar *thermocouple* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Thermocouple*

2. *Anemometer*

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara didepan dan dibelakang radiator. Gambar *anemometer* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Anemometer*

3. *Tachometer*

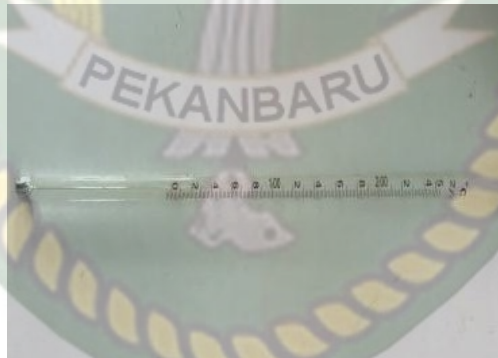
Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengetahui putaran pada mesin, yaitu putaran pada *crankshaft* nya. Gambar *tachometer* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tachometer

4. Thermometer Air Raksa

Thermometer air raksa pada penelitian ini digunakan untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar pada aliran fluida radiator. Biasanya dipasang pada selang atas dan selang bawah radiator. Gambar thermometer air raksa dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Thermometer Air Raksa

5. Flow meter

Flow meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur debit aliran pada fluida. Pada penelitian ini jenis *flow meter* yang digunakan ialah Type *Flow Meter Glass Tube*. Gambar *flowmeter type glass tube* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Flowmeter Type Glass Tube*

6. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mendapatkan batasan waktu dalam pengambilan data pada pengujian efektifitas pendinginan radiator. Gambar *stopwatch* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Stopwatch*

7. Meteran

Alat meteran digunakan untuk mengukur luas penampang radiator. Luas penampang radiator yang akan di ukur ialah panjang dan lebar nya. Gambar meteran dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Meteran

8. Kunci-Kunci

Kunci-kunci digunakan untuk memperbaiki *engine stand* ketika sebelum pengujian efektifitas pendinginan radiator, dan untuk memastikan *engine stand* yang digunakan bisa stabil ketika pengambilan data. Gambar kunci – kunci dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Kunci-Kunci

9. Gerinda listrik

Gerinda listrik digunakan untuk memotong spesimen sesuai dengan ukuran yang diperlukan dan membersihkan permukaan spesimen dari kotoran yang melekat. Gambar gerinda listrik dapat dilihat pada Gambar 3.9.

Jenis : Gerinda Tangan

Daya Listrik

: 580 Watt

Merk : Hitachi

Kecepatan Tanpa Beban : 11.000 Rpm



Gambar 3.9 Gerinda Listrik

10. Jangka sorong

Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur ukuran spesimen sesuai dengan yang diperlukan. Gambar jangka sorong dapat dilihat pada Gambar 3.10.

Merek	: Teikiro	Akurasi : ± 0.05 mm
Jenis ukuran	: Metrik (mm) dan Inch	Made in : Japan
Skala	: 0.05 mm atau $1/128''$	Ukuran : 0-150 mm/0-6''



Gambar 3.10 Alat Ukur (Jangka Sorong)

11. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah dilakukannya pengujian. Gambar timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Timbangan Digital

Kapasitas maksimum 600 gram (ketelitian : 0,01 gram), dengan spesifikasi alat :

- Layar : LCD
- Tenaga baterai : DC 9V / 4 AA
- Resolusi : 0,01 gram
- Konversi unit : gram

12. Termometer Digital

Termometer digital digunakan untuk mengukur temperatur pada media korosi. Gambar termometer digital dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Termometer Digital

13. Thermostat Pemanas Air

Thermostat digunakan sebagai pemanas air dan mengatur arus listrik yang masuk ke elemen pemanas (*heating*). Bila suhu udara yang ada didalam tabung pemanas air sudah panas, maka thermostat bekerja statis (diam) tidak mengantarkan arus listrik dan sebaliknya. Gambar Thermostat pemanas air dapat dilihat pada Gambar 3.13



Gambar 3.12 Thermostat Pemanas Air

14. Wadah Pembersihan

Wadah pembersihan berfungsi untuk menampung cairan pembersih, tempat untuk merendam, dan membersihkan spesimen. Gambar wadah pembersihan dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Wadah Pembersihan

15. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume media korosi yang dibutuhkan pada saat pengujian laju korosi. Gambar gelas ukur dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Gelas ukur

16. Tali Pengikat

Tali pengikat digunakan untuk menggantung spesimen pada saat pengujian laju korosi didalam bak pengujian. Gambar tali pengikat dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Tali Pengikat

17. Kertas Amplas

Kertas amplas digunakan sebagai alat pembersih spesimen dari kerak dan kotoran yang melekat. Gambar kertas amplas dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Kertas amplas

18. Mesin Toyota seri 4K

Mesin toyota seri 4K digunakan sebagai alat pengujian efektifitas pendinginan radiator. Mesin Toyota seri 4K ini berada di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Gambar mesin toyota seri 4K dapat dilihat pada Gambar 3.18



Gambar 3.18 Mesin Toyota seri 4K

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada proses pengujian efektivitas pendinginan pada radiator dan laju korosi adalah sebagai berikut:

1. Logam Kuningan

Logam kuningan (*brass*) digunakan sebagai spesimen pengujian laju korosi. Gambar logam kuningan (*brass*) dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Logam Kuningan (*brass*)

2. Media Pengujian Korosi

Adapun media yang digunakan pada proses pengujian korosi antara lain, *Coolant* radiator, *Coolant* radiator + air mineral, dan air aquades. Gambar media pengujian korosi dapat dilihat pada Gambar 3.20.



(a)



(b)



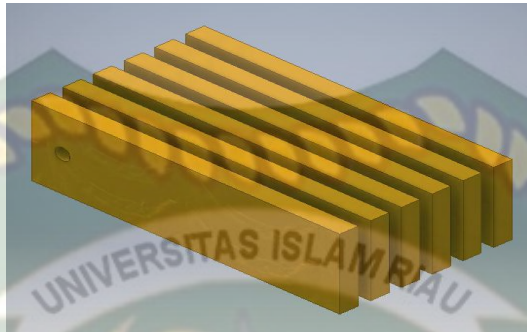
(c)

Gambar 3.20 Media Pengujian Korosi (a) : *Coolant* radiator, (b) : Air mineral, (c) : Air aquades

3.3 Persiapan Spesimen

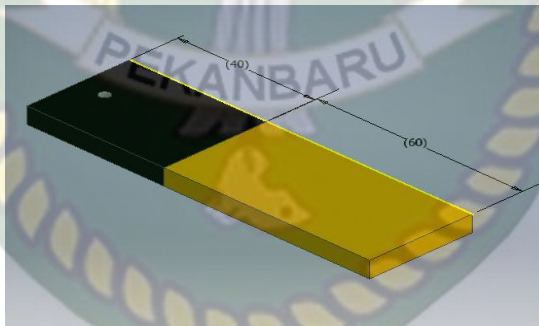
Spesimen untuk pengujian laju korosi dipersiapkan sebanyak 15 buah dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 20 mm, dan tebal 0,5 mm. Spesimen diberi lobang untuk menggantungkan spesimen pada bak pengujian. Jumlah ini diperoleh karna pengujian akan dilakukan selama 35 hari dengan interval 7 hari. Karna itu 5 spesimen diperlukan untuk setiap jenis media, jumlah jenis *coolant*

atau media pengujian ada 3 media maka diperoleh 15 spesimen. Gambar spesimen pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Spesimen pengujian

Setelah itu 40 mm bagian atas spesimen ditutup menggunakan isolasi agar tidak terkontaminasi dengan lingkungan dalam air dan supaya tidak terjadi korosi pada bagian atas spesimen. Gambar spesimen yang ditutupi isolasi dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Spesimen yang ditutup dengan Isolasi

3.4 Persiapan Bak Pengujian Korosi

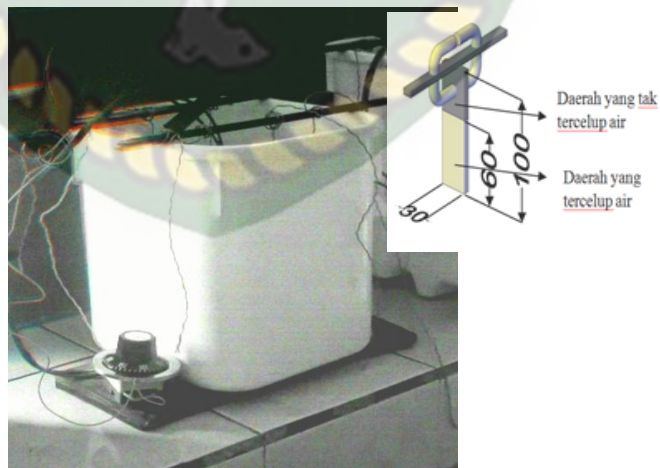
Bak pengujian laju korosi terbuat dari toples plastik berjumlah 3 buah bak dengan ukuran panjang 150 mm, lebar 150 mm dan tinggi 200 mm pada bagian atas bak ditambahkan tempat gantungan spesimen. Gambar bak pengujian dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Bak pengujian laju korosi

3.5 Susunan Spesimen Uji

Dalam eksperimen ini terdapat 15 buah spesimen yang akan disusun kedalam bak pengujian. Karna ada tiga media pengujian maka jumlah bak pengujian ada sebanyak tiga buah, masing – masing bak pengujian akan digantung sebanyak 5 buah spesimen pada bagian atas bak dengan bagian spesimen yang tercelup 60 mm.



Gambar 3.24 Susunan spesimen uji

3.6 Prosedur Pengujian Laju Korosi

Adapun prosedur pengujian laju korosi logam kuningan sebagai material pada radiator dalam media *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral, dan air aquadest adalah sebagai berikut:

1. Masukkan media korosi kedalam masing-masing bak pengujian.
2. Timbang berat awal spesimen.
3. Kemudian spesimen pengujian digantung kedalam bak pengujian dengan bagian yang terendam ± 60 mm dari permukaan media korosi.
4. Pengujian pencelupan dilakukan selama 35 hari dengan interval waktu 7 hari untuk spesimen pengujian 1, 14 hari untuk spesimen pengujian 2, 21 hari untuk spesimen pengujian 3, 28 hari untuk spesimen pengujian 4, dan 35 hari untuk spesimen pengujian 5.
5. Setelah dilakukan pencelupan sesuai waktu yang telah ditentukan, angkat spesimen dan keluarkan dari bak pengujian.
6. Setelah spesimen kering, spesimen ditimbang beratnya untuk mengetahui berat akhir dari spesimen tersebut kemudian catat hasil penimbangan kedalam table waktu uji pencelupan lalu hitung laju korosi.
7. Untuk spesimen pengujian minggu pertama, minggu ke tiga dan minggu ke lima di lakukan pengujian foto mikro untuk mengetahui jenis korosi yang terjadi.

3.7 Pengambilan Data

Proses pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kumpulan data yang didapat dari pengujian yang hasilnya dapat dipercaya

kebenarannya, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Adapun prosedur pengambilan data sebagai berikut:

3.7.1 Pengujian Efektivitas Pendinginan Radiator

Perbedaan media pendingin yang digunakan pada radiator tentunya mempengaruhi efektivitas radiator. Metode perhitungan pada penelitian ini menggunakan persamaan 2.1, yaitu :

$$\varepsilon = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}}$$

Adapun pelaksanaan pengujian untuk pengambilan data efektivitas pendinginan pada radiator yang harus dilakukan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Menghidupkan mesin (*Engine stand*)
2. Naikkan putaran mesin yang telah ditentukan dan ukur putaran mesin dengan menggunakan alat ukur *tachometer*. Untuk pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan waktu 5,10,15 dan 20 menit pada putaran konstan 1500 rpm
3. Pengambilan data dilakukan pada temperatur 80 °C saat *thermostat* udah terbuka dengan melihat pada *flowmeter* nya udah mendapatkan debit aliran atau belum, ketika sudah baru pengambilan data dilakukan lagi. Temperatur yang dilihat adalah temperatur fluida masuk pada mesin.
4. Ukur temperatur suhu air masuk dan keluar pada radiator dengan cara melihat *thermometer* air raksa yang sudah terpasang di selang atas dan selang bawah radiator.

5. Ukur temperatur suhu udara didepan dan dibelakang radiator dengan menggunakan *thermocouple*.
6. Ukur kecepatan udara didepan dan dibelakang radiator dengan menggunakan alat ukur *anemometer*.
7. Semua data yang didapatkan dimasukan kedalam tabel data untuk mempermudah dalam menganalisa data yang didapatkan.
8. Menurunkan putaran mesin kemudian baru mesin dimatikan.
9. Lakukan langkah-langkah diatas untuk setiap pengambilan data pada masing-masing media pendingin yang digunakan.

Langkah-langkah diatas akan dilakukan untuk tiga media pendingin yang berbeda dan putaran mesin konstan 1500 rpm. Data yang diperoleh dari pengujian efektivitas pendinginan radiator dapat dimasukkan kedalam Tabel 3.1 untuk mempermudah perhitungan.

Tabel 3.1 Tabel data yang digunakan untuk perhitungan efektivitas pendinginan

n (rpm)	t (s)	T _h in °C	T _h out °C	T _c in °C	T _c out °C	V _u in (m/s)	V _u out (m/s)	Q (m ³ /s)
1500	5							
	10							
	15							
	20							

Dimana :

T_{h.out} = Temperatur air panas keluar (°C)

T_{h.in} = Temperatur air panas masuk (°C)

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

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

n = Putaran mesin (Rpm)

$V_{u.in}$ = Kecepatan udara masuk yang didepan radiator (m/s)

$V_{u.out}$ = Kecepatan udara keluar yang dibelakang radiator (m/s)

Q = Debit aliran fluida (m^3/s)

t = Waktu (s)

3.7.2 Kehilangan Berat Spesimen

Sebelum dilakukan perendaman pada spesimen pengujian, telah dilakukan penimbangan berat awal untuk tiap spesimen uji dengan variasi waktu yang telah ditentukan. Pengambilan data berdasarkan kehilangan berat dari spesimen yang telah terkorosi selama 35 hari dengan interval waktu 7 hari dengan cara melakukan penimbang spesimen untuk mengetahui berat yang hilang, sebelum penimbangan spesimen terlebih dahulu dikeringkan, baru dilakukan penimbangan dan data dicatat dalam Tabel.3.2. Perhitungan kehilangan berat setelah dilakukan perendaman dengan waktu yang telah ditentukan dapat menggunakan persamaan rumus 2.10. Berikut rumus yang digunakan:

$$\Delta W = W_0 - W_2$$

Tabel.3.2 Kehilangan Berat Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian

No Spesimen	Bak	W ₀ (gram)	W ₂ (gram)	Kehilangan Berat (gram)	Waktu pencelupan (hari)
1	A (Coolant radiator)				7
2					14
3					21
4					28
5					35
1	B (Coolant radiator + air mineral)				7
2					14
3					21
4					28
5					35
1	C (Air Aquadest)				7
2					14
3					21
4					28
5					35

3.7.3 Perhitungan Laju Korosi

Setelah didapat data kehilangan berat dari spesimen logam kuningan maka selanjutnya dilakukan perhitungan laju korosi. Perhitungan laju korosi (*corrosion rate calculation from mass loss*) dapat menggunakan persamaan rumus 2.9. Berikut rumus yang digunakan:

$$CR (mm/y) = \frac{(K \times W)}{A \times T \times D}$$

Selanjutnya data laju korosi yang didapat setelah dilakukan perhitungan dimasukkan kedalam Table 3.3

Tabel 3.3 Nilai Laju Korosi Pada Setiap Spesimen Uji

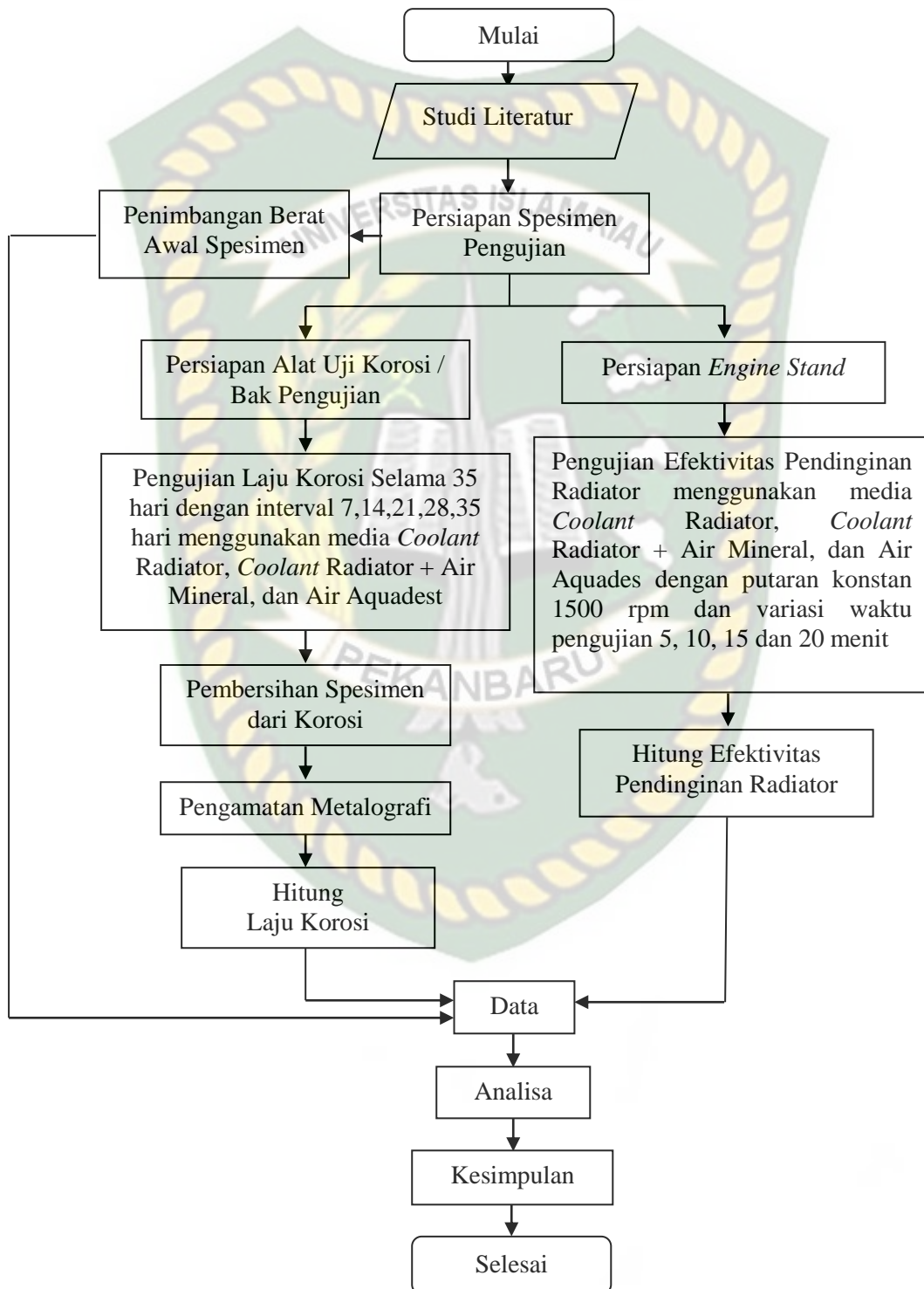
No Spesimen	Bak	Kehilangan Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Waktu pencelupan (hari)
1	A (Coolant radiator)			7
2				14
3				21
4				28
5				35
1	B (Coolant radiator + air mineral)			7
2				14
3				21
4				28
5				35
1	C (Air Aquadest)			7
2				14
3				21
4				28
5				35

3.7.4 Pengujian Foto Mikro

Pada penelitian ini pengamatan metalografi digunakan untuk mengetahui foto mikro yang terjadi pada logam kuningan sebagai material pada radiator sesudah dilakukannya pengujian laju korosi. Untuk pengujian foto mikro ini tidak semua spesimen di uji, hanya spesimen pengujian minggu pertama, spesimen pengujian minggu ke tiga dan spesimen pengujian minggu ke lima.

3.8 Diagram Alir (Flow Chart)

Untuk mempermudah penelitian ini maka dibuat diagram alir penelitian (*flow chart*) sebagai berikut :



Gambar 3.25 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *coolant* terhadap efektivitas pendinginan dan laju korosi material kuningan. Beberapa pengujian telah dilakukan dan data hasil penelitian akan diberikan sebagai berikut.

4.1 Efektivitas Pendinginan

Proses pengambilan data pada pengujian efektivitas pendinginan dilakukan dengan memvariasikan waktu pengujian yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit dalam putaran konstan 1500 rpm. Temperatur untuk pengambilan data dapat dimulai ketika *thermostat* sudah mencapai temperatur kerjanya 76°C sampai dengan 80°C pada $T_{h.in}$ (temperatur aliran fluida yang masuk radiator) dan dapat juga dilihat pada *flowmeter*. Pada saat *thermostat* sudah mencapai temperatur kerjanya, maka *fluida* (media pendingin) yang panas dari dalam *water jacket* bersirkulasi menuju radiator untuk didinginkan. Pada saat itu juga proses pengambilan data sudah dapat dilakukan, pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur temperatur *fluida* masuk dan keluar radiator, temperatur udara di depan serta di belakang radiator.

Pada pengujian efektivitas pendinginan radiator, *coolant* radiator dianggap sebagai media pengujian A, *coolant* radiator + air mineral dianggap sebagai media pengujian B dan air aquades dianggap sebagai media pengujian C. Adapun semua data hasil dari pengujian yang didapatkan pada saat pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian efektivitas pendinginan radiator

Media Pengujian	n (rpm)	t (s)	T _{h in} (°C)	T _{h out} (°C)	T _{c in} (°C)	T _{c out} (°C)
(A) Coolant Radiator	1500	5	83	74	30,7	45,7
		10	89	77	30,5	48,2
		15	97	82	30,8	50,7
		20	109	90	30,5	54
(B) Coolant Radiator + Air Mineral	1500	5	83	75	30,7	41,7
		10	90	79	30,6	48
		15	99	85	30,3	50,2
		20	110	93	30,5	55,1
(C) Air Aquades	1500	5	84	76	30,2	42,6
		10	92	82	32	46
		15	100	88	32,2	48,1
		20	110	95	32,5	49,2

Keterangan : A,B,C menunjukan jenis media pengujian

Perbedaan media pendingin yang digunakan pada radiator tentunya mempengaruhi efektivitas pendinginannya. Metode perhitungan pada efektivitas pendinginan radiator dapat menggunakan persamaan 2.1. Adapun persamaan rumus nya sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{T_{h.in} - T_{h.out}}{T_{h.in} - T_{c.in}}$$

Dimana :

ε = Efektivitas radiator

T_{h . in} = Temperatur air panas masuk ke radiator (°C)

T_{h . out} = Temperatur air panas keluar radiator (°C)

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

1. Perhitungan Media Pengujian A (*Coolant Radiator*)

- ❖ Perhitungan pada putaran 1500 Rpm dengan variasi waktu 5 menit

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{T_{h.in} - T_{h.out}}{T_{h.in} - T_{c.in}} \\
 &= \frac{83^{\circ}\text{C} - 74^{\circ}\text{C}}{83^{\circ}\text{C} - 30,7^{\circ}\text{C}} \\
 &= 0,172 = 17,2 \%
 \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan efektivitas pendinginan radiator pada media pengujian A (*Coolant Radiator*) untuk variasi waktu yang lainnya sesuai data yang sudah didapat pada Tabel 4.1

2. Perhitungan Media Pengujian B (*Coolant Radiator + Air Mineral*)

- ❖ Perhitungan pada putaran 1500 Rpm dengan variasi waktu 5 menit

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{T_{h.in} - T_{h.out}}{T_{h.in} - T_{c.in}} \\
 &= \frac{83^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}}{83^{\circ}\text{C} - 30,7^{\circ}\text{C}} \\
 &= 0,153 = 15,3 \%
 \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan efektivitas pendinginan radiator pada media pengujian B (*Coolant Radiator + Air Mineral*) untuk variasi waktu yang lainnya sesuai data yang sudah didapat pada Tabel 4.1

3. Perhitungan Media Pengujian C (*Air Aquades*)

- ❖ Perhitungan pada putaran 1500 Rpm dengan variasi waktu 5 menit

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{T_{h.in} - T_{h.out}}{T_{h.in} - T_{c.in}} \\
 &= \frac{84^{\circ}\text{C} - 77^{\circ}\text{C}}{84^{\circ}\text{C} - 30,2^{\circ}\text{C}} \\
 &= 0,130 = 13,0 \%
 \end{aligned}$$

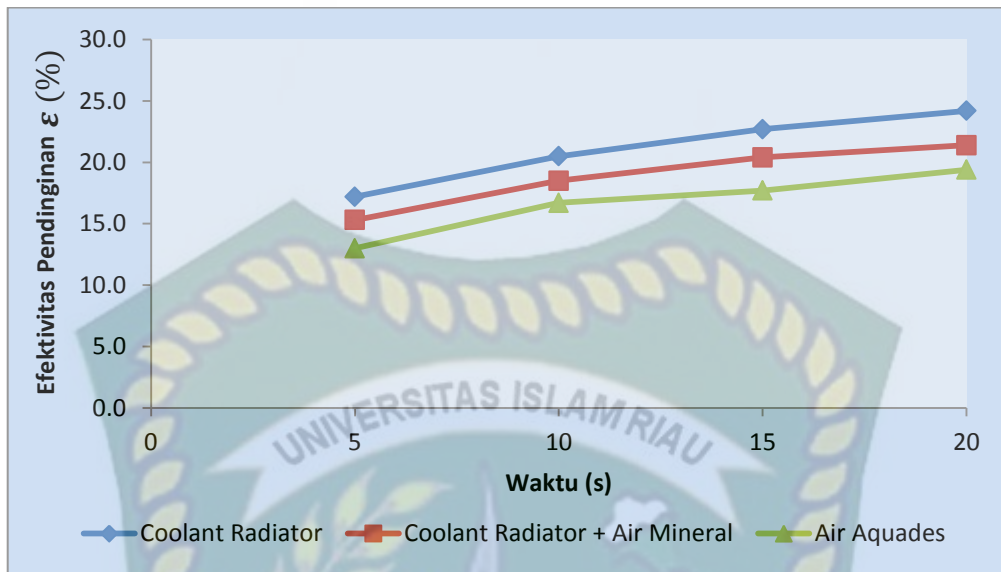
Lakukan perhitungan efektivitas pendinginan radiator pada media pengujian C (Air Aquades) untuk variasi waktu yang lainnya sesuai data yang sudah didapat pada Tabel 4.2.

Efektivitas pendinginan radiator pada media pengujian *coolant* radiator, media pengujian *coolant* radiator + air mineral dan media pengujian air aquades) dapat ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil perbandingan efektivitas pendinginan semua jenis *coolant*

n (rpm)	t (s)	Efektivitas Pendinginan Radiator ε (%)		
		Media A <i>Coolant Radiator</i>	Media B <i>Coolant Radiator + Air Mineral</i>	Media C <i>Air Aquadest</i>
1500	5	17,2	15,3	13,0
	10	20,5	18,5	16,7
	15	22,7	20,4	17,7
	20	24,2	21,4	19,4
Rata-rata		21,15	18,4	16,7

Dari semua hasil data perhitungan efektivitas pendinginan radiator yang sudah dimasukkan kedalam Tabel 4.2 dapat dibuat grafik nilai efektivitas pendinginannya dari semua jenis media pengujian terhadap variasi waktu pengujian untuk dapat di analisa. Gambar grafik nilai efektivitas pendinginan dengan semua jenis media pengujian terhadap waktu pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Efektivitas Pendinginan Radiator Dengan Semua Jenis *Coolant* Terhadap Waktu Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai efektivitas pendinginan radiator yang tertinggi pada putaran konstan 1500 rpm dengan lama waktu pengujian 20 menit yaitu sebesar 24,2% pada penggunaan media *coolant* radiator sedangkan untuk media *coolant* radiator + air mineral dan untuk media air aquades nilai efektivitas radiator tertinggi sebesar 21,4% dan 19,4%. Untuk nilai efektivitas pendinginan radiator yang terendah dari semua jenis media pendingin terjadi pada media C sebesar 13,0% pada putaran 1500 rpm dengan lama waktu pengujian 5 menit. Lama waktu pengujian terlihat juga sangat berpengaruh pada nilai efektivitas radiator, semakin lama waktunya pengujiannya maka efektivitas pendinginan radiator semakin besar nilainya.

Pada penelitian ini bermaksud untuk mengetahui bahwa perbedaan jenis media pendingin (*coolant*) juga berpengaruh terhadap nilai efektivitas pendingin radiator. Dimana semakin tinggi nilai efektivitas pendinginan radiator maka semakin bagus pendinginan yang terjadi pada mesin. Sedangkan titik didih pada

setiap jenis media pendingin juga berpengaruh pada nilai efektivitas pendinginan radiator. Semakin tinggi nilai titik didih maka semakin bagus digunakan untuk *fluida* radiator dalam menyerap panas pada mesin. Dari semua jenis *coolant* yang digunakan, media pengujian *coolant* radiator yang memiliki titik didih tertinggi maka terbukti media *coolant* radiator dapat nilai efektivitas pendinginan radiator yang tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar (21,15%).

4.2 Laju Korosi

4.2.1 Kehilangan Berat

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat. Berat spesimen sebelum dilakukan perendaman (W_1) dan setelah dilakukan perendaman pada media pendingin (*coolant*) yang berbeda (W_2) lalu ditimbang dengan menggunakan timbangan digital untuk mengetahui laju korosi. Perbedaan berat spesimen adalah metode yang paling sering digunakan sebagai dasar untuk perhitungan laju korosi. Adapun semua data hasil dari pengujian kehilangan berat yang didapatkan pada saat pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data hasil pengujian kehilangan berat (berat awal dan berat akhir)

No Spesimen	Bak Pengujian	W ₁ (gram)	W ₂ (gram)
A1	A (Coolant Radiator)	7.3520	7.3502
A2		7.4750	7.4701
A3		7.3983	7.3899
A4		7.4255	7.4142
A5		7.5313	7.5133
B1	B (Coolant Radiator + Air Mineral)	7.3361	7.3331
B2		7.5114	7.5053
B3		7.5918	7.5811
B4		7.7398	7.7242
B5		7.1688	7.1461
C1	C (Air Aquades)	7.5263	7.5238
C2		7.4488	7.4436
C3		7.4647	7.4558
C4		7.5315	7.5186
C5		7.5085	7.4875

Keterangan : A,B,C menunjukan urutan media pengujian

Pada pengujian laju korosi ini, media *coolant* radiator dianggap sebagai media pengujian A, media *coolant* radiator + air mineral dianggap sebagai media pengujian B dan media air aquades dianggap sebagai media pengujian C. Sedangkan nomor sample menunjukan lama waktu pengujian laju korosi (hari). Metode perhitungan kehilangan berat dapat menggunakan persamaan rumus 2.10. Adapun persamaan rumus nya sebagai berikut:

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

Dimana :

ΔW = Kehilangan berat, (gram)

W₁ = Berat awal, (gram)

W₂ = Berat akhir setelah pengujian, (gram)

a. Bak Pengujian A (*Coolant Radiator*)

- Kehilangan berat pada spesimen A₁ dengan lama waktu perendaman 7 hari

= 168 jam adalah:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (7,3520 \text{ gram} - 7,3502 \text{ gram}) \\ &= 0,0018 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kehilangan berat pada spesimen A₂ dengan lama waktu perendaman 14

hari = 336 jam adalah:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (7,4750 \text{ gram} - 7,4701 \text{ gram}) \\ &= 0,0049 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lakukan perhitungan yang sama untuk spesimen uji A₃, A₄ dan A₅

b. Bak Pengujian B (*Coolant Radiator + Air Mineral*)

- Kehilangan berat pada spesimen B₁ dengan lama waktu perendaman 7 hari

= 168 jam adalah:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (7,3361 \text{ gram} - 7,3331 \text{ gram}) \\ &= 0,0030 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kehilangan berat pada spesimen B₂ dengan lama waktu perendaman 14

hari = 336 jam adalah:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (7,5114 \text{ gram} - 7,5053 \text{ gram}) \\ &= 0,0061 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lakukan perhitungan yang sama untuk spesimen uji B₃, B₄ dan B₅

c. Bak Pengujian C (Air Aquades)

- Kehilangan berat pada spesimen C₁ dengan lama waktu perendaman 7 hari = 168 jam adalah:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (7,5263 \text{ gram} - 7,5238 \text{ gram}) \\ &= 0,0025 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kehilangan berat pada spesimen C₂ dengan lama waktu perendaman 14 hari = 336 jam adalah:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (7,4488 \text{ gram} - 7,4436 \text{ gram}) \\ &= 0,0052 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lakukan perhitungan yang sama untuk spesimen uji C₃, C₄ dan C₅

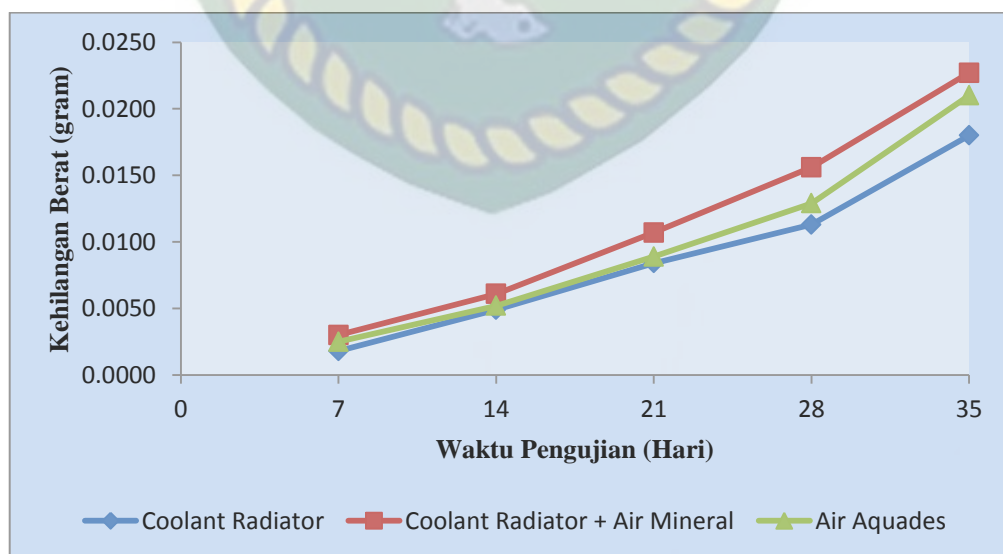
Dari semua hasil data perhitungan kehilangan berat spesimen yang direndam dalam media *coolant* radiator, media *coolant* radiator + air mineral dan media air aquades dapat dimasukkan kedalam Table 4.4. Kemudian dapat dibuat kedalam bentuk grafik kehilangan berat terhadap lama waktu pengujian.

Tabel.4.4 Hasil Kehilangan Berat Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian

No Spesimen	Bak	W ₁ (gram)	W ₂ (gram)	Kehilangan Berat (gram)	Waktu Pengujian (hari)
A1	A	7.3520	7.3502	0.0018	7
A2		7.4750	7.4701	0.0049	14
A3		7.3983	7.3899	0.0084	21
A4		7.4255	7.4142	0.0113	28
A5		7.5313	7.5133	0.0180	35
B1	B	7.3361	7.3331	0.0030	7
B2		7.5114	7.5053	0.0061	14
B3		7.5918	7.5811	0.0107	21
B4		7.7398	7.7242	0.0156	28
B5		7.1688	7.1461	0.0227	35
C1	C	7.5263	7.5238	0.0025	7
C2		7.4488	7.4436	0.0052	14
C3		7.4647	7.4558	0.0089	21
C4		7.5315	7.5186	0.0129	28
C5		7.5085	7.4875	0.0210	35

Keterangan : A,B,C menunjukan urutan media pengujian

Grafik kehilangan berat spesimen plat kuningan setelah dilakukan pengujian terhadap waktu pengujian dalam media pengujian yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Kehilangan Berat Spesimen Plat Kuningan Terhadap Waktu Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.2 grafik diatas merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada spesimen plat kuningan dengan media pengujian *coolant* radiator, dimana berat awal rata-rata spesimen yang direndam dalam media *coolant* radiator adalah 7,4364 gram, dan berat akhir rata-rata spesimen pada media *coolant* radiator adalah 7,4275 gram. Terdapat pengurangan atau kehilangan berat rata-rata spesimen pada media *coolant* radiator adalah 0.0089 gram.

Dan pada spesimen dengan media pengujian *coolant* radiator + air mineral, dimana berat awal rata-rata spesimen yang direndam dalam media *coolant* radiator + air mineral adalah 7,4696 gram, dan berat akhir rata-rata spesimen pada media *coolant* radiator + air mineral adalah 7,4580 gram. Terdapat pengurangan atau kehilangan berat rata-rata spesimen pada media *coolant* radiator + air mineral adalah 0.0116 gram.

Sedangkan pada spesimen dengan media pengujian air aquades dimana berat awal rata-rata spesimen yang direndam dalam media air aquades adalah 7,4960 gram, dan berat akhir rata-rata spesimen pada media air aquades adalah 7,4859 gram. Terdapat pengurangan atau kehilangan berat rata-rata spesimen pada media air aquades adalah 0.0101 gram.

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi pada suatu material. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Pada material kuningan sering disebut dengan korosi selektif, korosi selektif adalah suatu bentuk korosi yang terjadi karena pelarutan komponen tertentu dari paduan logam (*alloy* nya). *Dezincfikasi* merupakan bentuk

korosi selektif yang menyerang paduan logam yang terdiri dari Cu dan Zn (kuningan). *Dezincifikasi* terutama terjadi pada kuningan dengan kadar seng diatas 15 - 20%. Dimana pada pengujian laju korosi ini kadar seng (Zn) atau paduan yang terkandung pada material uji terlarut sehingga terjadi pengurang berat pada material tersebut.

4.2.2 Perhitungan Laju Korosi

Setelah mendapatkan nilai kehilangan berat maka perhitungan laju korosi (*corrosion rate*) yang dialami oleh spesimen uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9. Adapun persamaan rumus nya sebagai berikut: (Baboian Robert, Nace Corrosion Engineer's Reference Book, 2002 : 111)

$$CR(mm/y) = \frac{(K \times W)}{D \times T \times A}$$

Dimana :

CR = *Corrosion Rate* atau laju korosi (mm/year)

K = Konstanta untuk merubah satuan (8.76×10^4)

W = ΔW = Berat yang hilang (gram)

D = Massa jenis plat kuningan (8,4 gram/cm³)

T = Waktu exposure (jam)

A = Luas area total (cm²)

Plat kuningan sebagai spesimen uji sebagiannya tercelup dalam media pengujian selama proses uji merendam berlangsung. Luas spesimen uji yang terendam memiliki dimensi sebagai berikut:

p = panjang (6 cm), l = lebar (2 cm), dan t = tinggi (0,05 cm)

$$\begin{aligned}
 A &= [2 \times \{(p \times l) + (p \times t)\}] + (l \times t) \\
 &= [2 \times \{(6 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}) + (6 \text{ cm} \times 0,05 \text{ cm})\}] + (2 \text{ cm} \times 0,05 \text{ cm}) \\
 &= [2 \times (12 \text{ cm}^2) + (0,3 \text{ cm}^2)] + (0,1 \text{ cm}^2) \\
 &= (2 \times 12,3 \text{ cm}^2) + 0,1 \text{ cm}^2 \\
 &= 24,6 \text{ cm}^2 + 0,1 \text{ cm}^2 \\
 A &= 24,7 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

a. Bak Pengujian A (*Coolant Radiator*)

Nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen A1 dengan waktu perendaman 7 hari = 168 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0018 \text{ gram}}{8,4 \text{ gram/cm}^3 \times 168 \text{ jam} \times 24,7 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0045 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

Nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen A2 dengan waktu perendaman 14 hari = 336 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0049 \text{ gram}}{8,4 \text{ gram/cm}^3 \times 336 \text{ jam} \times 24,7 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0062 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan laju korosi yang sama untuk spesimen A3, A4 dan A5 dengan waktu pengujian yang sudah ditentukan.

b. Bak Pengujian B (*Coolant* Radiator + Air Mineral)

Nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen B1 dengan waktu perendaman 7 hari = 168 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0030 \text{ gram}}{8,4 \text{ gram/cm}^3 \times 168 \text{ jam} \times 24,7 \text{ cm}^2} \\ &= 0,0075 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

Nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen B2 dengan waktu perendaman 14 hari = 336 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0061 \text{ gram}}{8,4 \text{ gram/cm}^3 \times 336 \text{ jam} \times 24,7 \text{ cm}^2} \\ &= 0,0077 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan laju korosi yang sama untuk spesimen B3, B4 dan B5 dengan waktu pengujian yang sudah ditentukan.

c. Bak Pengujian C (Air Aquades)

Nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen C1 dengan waktu perendaman 7 hari = 168 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0025 \text{ gram}}{8,4 \text{ gram/cm}^3 \times 168 \text{ jam} \times 24,7 \text{ cm}^2} \\ &= 0,0063 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

Nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen C2 dengan waktu perendaman 14 hari = 336 jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0052 \text{ gram}}{8,4 \text{ gram/cm}^3 \times 336 \text{ jam} \times 24,7 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0065 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan laju korosi yang sama untuk spesimen C3, C4 dan C5 dengan waktu pengujian yang sudah ditentukan.

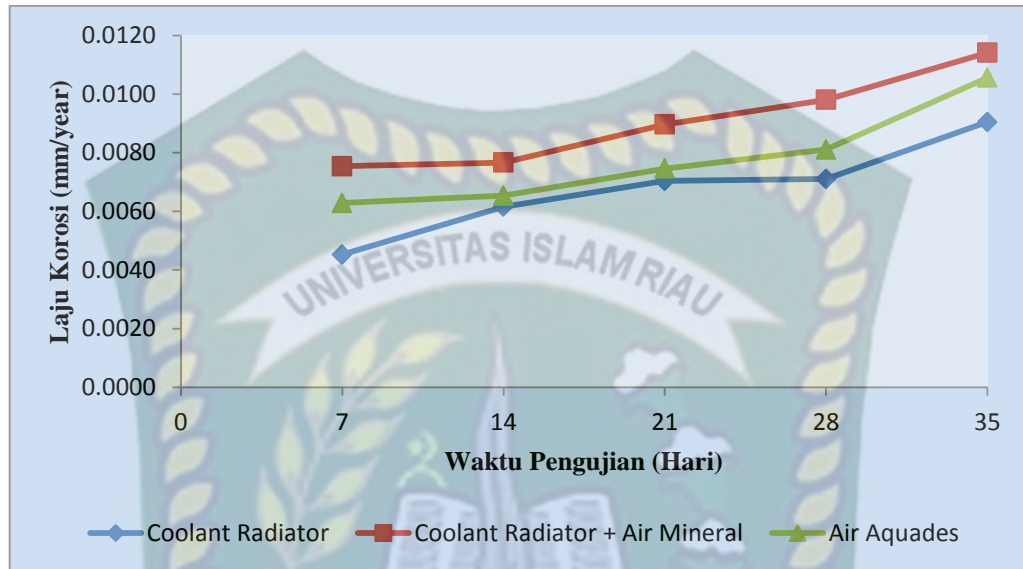
Dari semua hasil data perhitungan laju korosi material kuningan pada media *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral dan air aquades nilai laju korosi yang terjadi pada setiap masing-masing spesimen pengujian dapat dimasukkan kedalam Table 4.5. Kemudian dapat dibuat kedalam bentuk grafik kehilangan berat terhadap lama waktu pengujian.

Tabel 4.5 Nilai Laju Korosi Pada Setiap Spesimen Setelah dilakukan Pengujian

No Spesimen	Bak	Kehilangan Berat (Gram)	Waktu Pengujian (hari)	Waktu Exposure (Jam)	Laju Korosi (mm/year)
A1	A	0.0018	7	168	0.0045
A2		0.0049	14	336	0.0062
A3		0.0084	21	504	0.0070
A4		0.0113	28	672	0.0071
A5		0.0180	35	840	0.0090
B1	B	0.0030	7	168	0.0075
B2		0.0061	14	336	0.0077
B3		0.0107	21	504	0.0090
B4		0.0156	28	672	0.0098
B5		0.0227	35	840	0.0114
C1	C	0.0025	7	168	0.0063
C2		0.0052	14	336	0.0065
C3		0.0089	21	504	0.0075
C4		0.0129	28	672	0.0081
C5		0.0210	35	840	0.0106

Keterangan : A,B,C menunjukan urutan media pengujian

Grafik laju korosi material kuningan setelah dilakukan pengujian terhadap waktu pengujian dalam *coolant* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Laju Korosi Material Kuningan Terhadap Waktu Pengujian Dengan *Coolant* Yang Berbeda

Pada waktu pengujian 7 hari (168 jam) spesimen pada media pengujian *coolant radiator* + air mineral mengalami laju korosi tertinggi dari pada spesimen dengan media pengujian *coolant radiator* dan media pengujian air aquades. Hal ini dikarenakan adanya penambahan Air Mineral, sehingga zat mineral yang terkandung pada air mineral seperti *Zink*, *Magnesium*, *Kalsium*, *Natrium*, *Silika* dan lain sebagainya dapat mempengaruhi proses terjadinya korosi. Dan juga penambahan air mineral pada *coolant radiator* dapat mengurangi kandungan Inhibitor yang terdapat pada *coolant radiator* tersebut sehingga meningkatkan laju korosi sebesar 0,0075 mm/year, pada media pengujian air aquades mengalami laju korosi 0,0063 mm/year, sedangkan media pengujian *coolant radiator* mengalami laju korosi terkecil sebesar 0,0045 mm/year hal ini disebabkan karna adanya

Inhibitor yang terbuat dari zat kimia yang berfungsi untuk melindungi material dari terjadinya korosi atau karat.

Pada waktu pengujian 14 hari (336 jam) sampai 28 hari (672 jam) laju korosi pada media pengujian *coolant* radiator + air mineral meningkat, sedangkan media air aquades dan media *coolant* radiator naik secara beraturan. Pada saat waktu pengujian 35 hari (840 jam) laju korosi pada *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral dan air aquades meningkat secara signifikan dikarenakan waktu pengujian semakin lama.

Dari hasil perhitungan terjadinya korosi pada material kuningan radiator dengan jenis *coolant* yang berbeda terdapat adanya pengurangan berat pada material uji. Laju korosi merupakan kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas material terhadap waktu pengujian.

Coolant radiator dibuat selain untuk sistem pendinginan yang baik juga dibuat sebagai anti karat (korosi) dengan adanya zat *additive* anti karat sebagai teknologi inhibitor yang terkandung pada *coolant* radiator tersebut, sehingga pada pengujian laju korosi ini media *coolant* radiator menunjukkan nilai korosi terendah.

4.3 Hasil Pengujian Foto Mikro

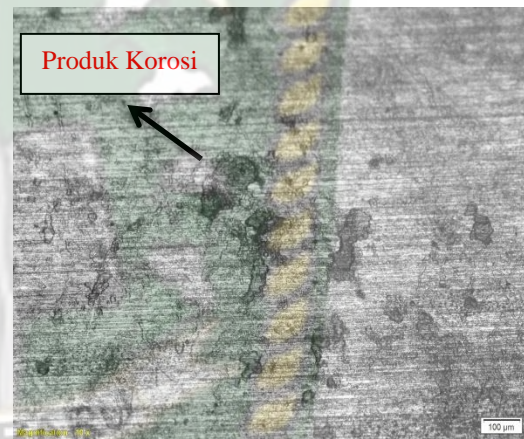
Jika logam dimasukkan ke dalam larutan elektrolit maka logam tersebut akan terlarut sehingga dapat melepaskan elektron. Akibatnya terjadi korosi pada permukaan logam yang sifatnya anodik. Perbedaan potensial ini dikarenakan komposisi kimia yang tidak sama pada masing-masing butir kristal atau perbedaan fase pada permukaan logam yang kontak dengan larutan elektrolit.

Untuk melihat struktur permukaan logam akibat serangan dari korosi dengan lama pengujian 35 hari pada media pengujian *coolant* radiator, *coolant* radiator + air mineral dan air aquades dapat dilakukan pengujian metalografi menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 10X didapat hasil gambar seperti dibawah ini:

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (*Coolant* Radiator) Dengan Lama Waktu Pengujia 7 Hari (168 Jam)



a. Sebelum melakukan perendaman

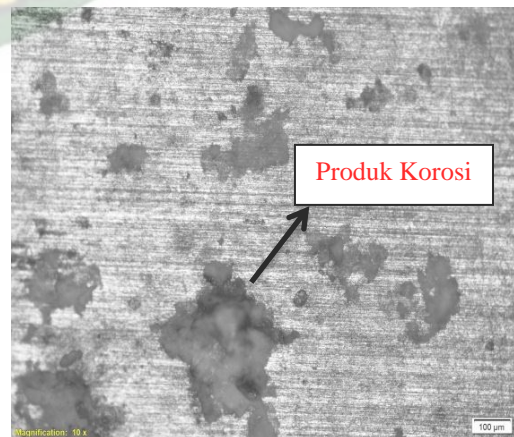


b. Sesudah Perendaman 7 hari (168 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (*Coolant* Radiator + Air Mineral) Dengan Lama Waktu Pengujia 7 Hari (168 Jam)



c. Sebelum melakukan perendaman



d. Sesudah perendaman 7 hari (168 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (Air Aquades) Dengan Lama Waktu Pengujia 7 Hari (168 Jam)



e. Sebelum melakukan perendaman



f. Sesudah perendaman 7 hari (168 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (*Coolant* Radiator) Dengan Lama Waktu Pengujia 21 Hari (504 Jam)



g. Sebelum melakukan perendaman

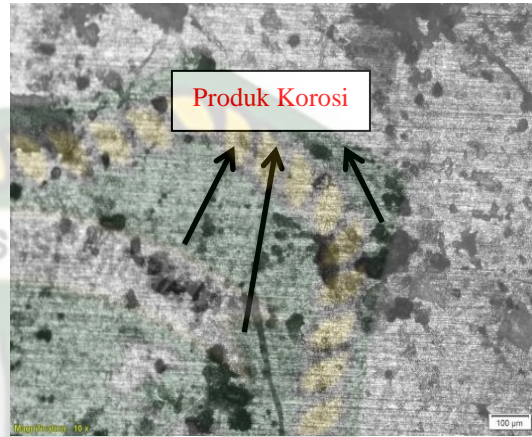


h. Sesudah perendaman 21 hari (504 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian *Coolant* Radiator + Air Mineral Dengan Lama Waktu Pengujia 21 Hari (504 Jam)



i. Sebelum melakukan perendaman



j. Sesudah perendaman 21 hari (504 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (Air Aquades) Dengan Lama Waktu Pengujia 21 Hari (504 Jam)



k. Sebelum melakukan perendaman

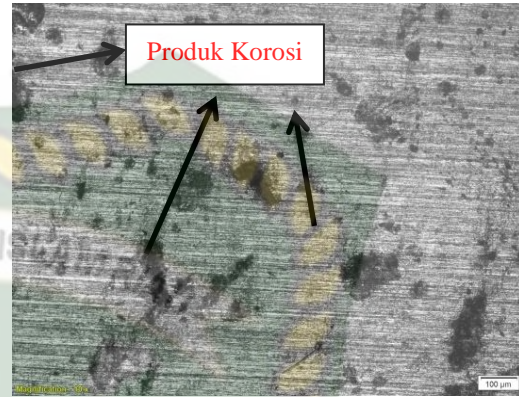


l. Sesudah perendaman 21 hari (504 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (*Coolant* Radiator) Dengan Lama Waktu Pengujia 35 Hari (840 Jam)



m. Sebelum melakukan perendaman

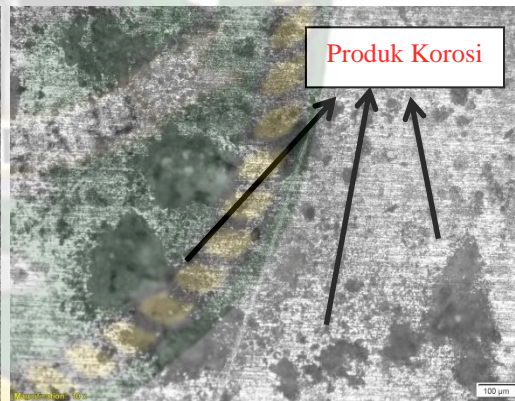


n. Sesudah perendaman 35 hari (804 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (*Coolant* Radiator + Air Mineral) Dengan Lama Waktu Pengujia 35 Hari (840 Jam)

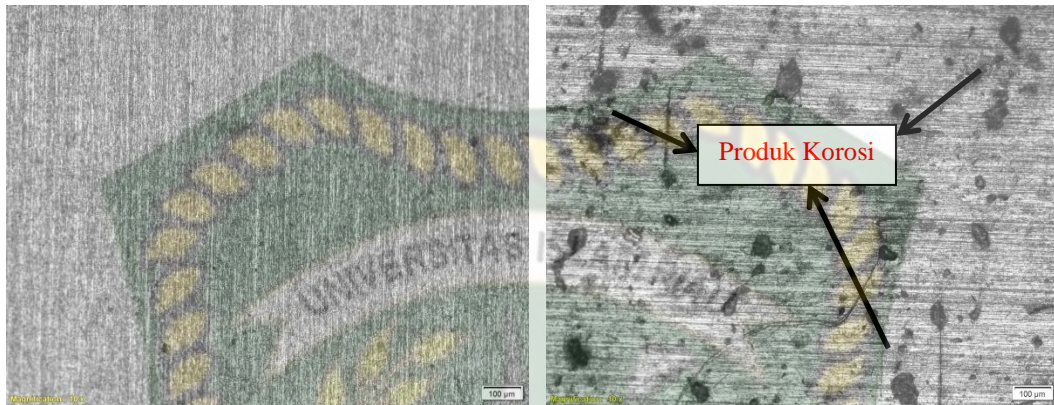


o. Sebelum melakukan perendaman



p. Sesudah perendaman 35 hari (804 jam)

- Hasil Uji Foto Mikro Pada Media Pengujian (Air Aquades) Dengan Lama Waktu Pengujian 35 Hari (840 Jam)



q. Sebelum melakukan perendaman r. Sesudah perendaman 35 Hari (840 jam)

Gambar 4.4 Hasil pengamatan foto mikro sebelum dan sesudah perendaman dengan lama waktu 7, 21, 35 hari

Berdasarkan dari Gambar 4.4 terlihat adanya perbedaan antara spesimen sebelum perendaman dan sesudah dilakukan perendaman. Dari hasil foto mikro bintik tebal warna hitam pada gambar menunjukan produk korosi yang terjadi pada spesimen. Terlihat spesimen yang terendam di media pengujian *coolant* radiator + air mineral banyak terjadi korosi. Hal ini juga sesuai dengan Gambar grafik 4.2 hasil perhitungan kehilangan berat dan Gambar grafik 4.3 hasil perhitungan laju korosi yang menunjukan *coolant* radiator + air mineral mengalami kehilangan berat paling tinggi dan laju korosi paling tinggi.

Proses *dezincifikasi* seng (Zn) sebagai paduan dari tembaga (Cu) pada foto mikro diperlihatkan oleh adanya bintik hitam. Semakin banyak bintik hitam atau produk korosi maka semakin cepat pula laju korosi pada material tersebut. Dari proses *dezincifikasi* ini dapat menghasilkan kuningan yang berlubang, rapuh,

memiliki kekuatan mekanis yang rendah dan warna kuningan berubah warna dari kuning ke merahan.

Dari hasil pengujian foto mikro juga dapat diketahui bahwa jenis korosi yang terjadi pada material kuningan radiator adalah jenis korosi *pitting* atau korosi sumuran. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Saifudin dkk, 2016).

4.4 Hubungan Efektivitas Pendinginan dan Laju Korosi

Berdasarkan data pengamatan serta hasil perhitungan efektivitas pendinginan dan laju korosi material kuningan pada radiator, menunjukkan bahwasanya media pendingin (*coolant* radiator) memang didesain sebagai media pendingin untuk menyerap panas. Dimana pada Grafik 4.1 *coolant* radiator menunjukkan nilai rata-rata efektivitas pendinginan paling tinggi. Disisi lain *coolant* radiator selain diciptakan untuk sistem pendingin yang baik juga dibuat sebagai anti karat atau korosi dengan adanya zat *additive* anti karat sebagai teknologi inhibitor yang terkandung pada *coolant* radiator tersebut, sehingga pada pengujian laju korosi ini media *coolant* radiator menunjukkan nilai korosi paling rendah sesuai dengan Grafik 4.3 ini disebabkan karena pada *coolant* memiliki kandungan zat yang dapat melindungi permukaan logam.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pendinginan dan laju korosi saling berhubungan karena keduanya sangat dipengaruhi oleh kandungan unsur-unsur dan zat kimia pada media pendingin. *Coolant* mengandung zat kimia yang tidak hanya mempercepat proses pendinginan tetapi juga telah dirancang untuk melindungi permukaan logam material radiator sehingga lebih tahan korosi.

Namun ketika dicampur air mineral, maka kehadiran unsur-unsur mineral yang terkandung dalam air mineral dapat bereaksi dengan *coolant* sehingga tidak hanya menurunkan efektivitas pendinginan tetapi juga mempercepat laju korosi. Karena mineral yang terkandung dalam air dapat menyebabkan terjadinya korosi. Sedangkan air aquades, efektivitas pendinginannya dan ketahanan korosi tidak sebaik *coolant* karena tidak ada zat kimia yang ditambahkan untuk tujuan keduanya. Namun ketahanan korosinya lebih baik dibanding *coolant* tambah air mineral, karena air aquades merupakan air hasil penyulingan yang tidak memiliki kandungan mineral di dalamnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Media pendingin yang digunakan pada radiator mempengaruhi efektivitas pendinginan. Efektivitas pendinginan radiator tertinggi diperlihatkan oleh media *coolant* radiator yaitu 21,15% sedang efektivitas terendah ditunjukkan oleh media air aquades yaitu 16,7%. Semakin tinggi nilai efektivitas pendingin maka semakin efektif kerja radiator dalam menyerap panas pada mesin.
2. Media pendingin yang digunakan juga memberikan pengaruh berbeda pada laju korosi material kuningan. Laju korosi yang tertinggi terdapat pada media pengujian *coolant* radiator + air mineral yaitu sebesar 0,0075 mm/year. Sedangkan nilai korosi yang terendah ditunjukkan oleh media pendingin *coolant* radiator yaitu sebesar 0,0045 mm/year. Ini disebabkan karena *coolant* memiliki kandungan zat yang dapat melindungi permukaan logam.
3. Jenis korosi yang terjadi pada plat kuningan sebagai material radiator berjenis korosi sumuran, karena terdapat lubang-lubang kecil yang saling berdekatan satu sama lain.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh maka disarankan :

1. Untuk mendekati kondisi kerja media pendingin dalam radiator maka perlu dilakukan penelitian korosi lanjutan dengan memompakan media pendingin sehingga media pendingin dapat bersirkulasi.
2. Tidak disarankan menggunakan air mineral sebagai media pendingin karena kandungan mineral di dalamnya justru dapat meningkatkan laju korosi material kuningan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baboian Robert, *Nace Corrosion Engineer's Reference Book*, 2002 : 111
- Badaruddin Muhammad. (2005). "*Efek Shot Peening Terhadap Retak Tegang (SCC) Baja karbon Rendah dalam Lingkungan Air laut*", Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Lampung.
- Basri Fauzan. (2012). "*Analisa Perawatan Sistem Pendingin Engine Pada Toyota Kijang Innova 1 TR-FE TAHUN 2004*". S1 thesis, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Cengel, Yunus A and Ghajar, A. J. (2014). *Heat and Mass Transfer* (5nd Ed). New York : McGraw-Hill Higher Education.
- Fahmi, L. (2014). *Perawatan Dan Perbaikan Sistem Pendingin Mesin Mitsubishi Galant 2500 CC*. Jurnal Teknovasi
- Haryanto Fachry. (2017). *Teknik Kendaraan Ringan*. Retrived March 7, 2019, From Fachriotomotif.Blogspot.com
- Julianto Eko, 6 Juli 2010. "*Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal AISI E2512 Terhadap Laju Korosi Didalam Media Air Laut*". Program Studi Magister Teknik Mesin. Tesis yang Dipublikasikan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Noviadam, Riki. (2017). "*Analisa Laju Korosi Erosi Pada Baja St60 Dalam Berbagai Medium Air Laut*". Program Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Pertamina, lubricants G. (2011). *Pertamina Coolant* (hal. 2234). hal. 2234. Specialty/Produk Khusus.
- Prasetyadi Juan. (2017). *Komponen-Komponen Sistem Pendingin*. Retrieved From Teknik-Otomotif.com Website: [Http://www.Teknik -Otomotif.com](http://www.Teknik -Otomotif.com).
- Santosa, B.A, (2011). "*Characteristics of extrudate from four varieties of corn with aquadest addition*". Indonesia Jurnal of Agriculture 1.2, Hal 85-94.
- Santoso Dedy. (2016). "*Variasi Jumlah Koil Dengan 2 Busi Terhadap Performa Yamaha Jupiter Z 110 CC*". Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Saifudin, Suroto Munahar, D. A. K. (2016). Perilaku Inhibitor Korosi Pada Radiator. *Jurnal Teknik Mesin Untirta, II* (2), 1–6.

Saragih, N. L. H. (2017). PENGARUH VARIASI CAIRAN PENDINGIN (*COOLANT*) TERHADAP EFEKTIVITAS RADIATOR PADA ENGINE DIESEL. *Teknik Otomotif FT UNP*.

Subroto, Sartono Putro, (2004). "*Pengaruh Coolant Terhadap Pelepasan Kalor Pada Pendingin Mesin*, Jurnal Teknik Gelagar Vol.15 No. 02, Hal 16-20

Surdia Tata, 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramitha, Jakarta.

Tretheway, KR, dan Chamberlin, (1991). "*Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*", terjemahan Alex Tri Kantjono Widodo, PT, Gramedia Utama, Jakarta.

Wiguna RC. (2018). *Analisis Meningkatkan Kemampuan Sistem Pendingin Suzuki Katana Spesifikasi Speed Offroad*. Vokasi D3 Teknik Mesin. Universitas Muhamadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.