



**PENGARUH INHIBITOR NATRIUM KROMAT  
(Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) TERHADAP LAJU KOROSI PADA  
KOMPONEN RADIATOR SISTEM PENDINGIN  
MOBIL**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

**Oleh  
Muhammad Akyas Khan  
NIM.5202415047**

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**



**UNNES**

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



**PENGARUH INHIBITOR NATRIUM KROMAT  
( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) TERHADAP LAJU KOROSI PADA  
KOMPONEN RADIATOR SISTEM PENDINGIN  
MOBIL**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

**Oleh  
Muhammad Akyas Khan  
NIM.5202415047**

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

### **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Nama : Muhammd Akyas Khan  
NIM : 5202415047  
Program Studi : Pendidika Teknik Otomotif S1  
Judul : Pengaruh Inhibitor Natrium Kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ )  
Terhadap Laju Korosi pada Komponen Radiator Sistem Pendingin

Skripsi/Ta ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 4 Juli 2019

Pembimbing



Dr. Hadromi, S.Pd., M.T.  
NIP. 196908071994031004

## PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul "Pengaruh Inhibitor Natrium Kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) Terhadap Laju Korosi pada Komponen Radiator Sistem Pendingin Mobil" telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada 06 Agustus 2019

Oleh

Nama : Muhammad Akyas Khan  
NIM : 5202415047  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif S1

Panitia :

Ketua

  
Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 197403211999031002

Sekretaris

  
Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T.  
NIP. 196901061994031003

Penguji I

  
Drs. Masugino, M.Pd.  
NIP. 195207212017001256

Penguji II

  
Angga Septiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 1987091120150811004

Penguji III/Pembimbing

  
Dr. Hadromi, S.Pd., M.T.  
NIP. 196908071994031004

Mengetahui:



Dekan Fakultas Teknik UNNES

Nur Qudus., M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana di Universitas Negeri Semarang (UNNES).
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 13 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Akyas Khan

NIM. 5202415047

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

"Hai hamba-hamba Ku yang melampaui batas terhadap diri mereka sendiri, janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya Allah mengampuni dosa-dosa semuanya. Sesungguhnya Dia-lah Yang Maha Pengampun lagi Maha Penyayang. Dan kembalilah kamu kepada Tuhanmu, dan berserah dirilah kepadanya sebelum datang azab kepadamu kemudian kamu tidak dapat ditolong (lagi)".  
(QS az-Zumar: 53- 54)

Jangan membenci siapapun, tak peduli seberapa banyak kesalahan yang mereka lakukan terhadapmu. Hiduplah dengan rendah hati, tak peduli seberapa banyak kekayaanmu. Berpikirlah positif, tak peduli seberapa keras kehidupan yang kamu jalani. Berikanlah banyak, meskipun menerima sedikit. Tetaplah menjalin hubungan dengan orang-orang yang telah melupakanmu, maafkanlah orang yang berbuat salah padamu, dan jangan berhenti mendoakan yang terbaik untuk orang yang kau sayangi. (Ali bin Abi Thalib)

### **PERSEMBAHAN**

1. Ibu Muawanah dan Bapak Nucholik selaku orang tua saya
2. Siti Nur Afiyani, Chabibaeni, Siti Nur Eulis Mabruroh dan Siti Nur Halimah
3. Dr. Hadromi, S.Pd., M.T. dan dosen Teknik Mesin FT Unnes
4. Sahabat saya A. Murtadlo Zaka, Sri Hayati, Angga Tribuana, Priyani dan rekan KKN SMART Tinjomoyo
5. Sahabat saya dalam "Jamiyah Maulidurrasul Arrahman FT Unnes"
6. Rekan Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2015

## RINGKASAN

Akyas Khan, Muhammad. 2019. Pengaruh Inhibitor Natrium Kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) Terhadap Laju Korosi pada Komponen Radiator Sistem Pendingin Mobil. Pendidikan Teknik Otomotif S1. Dr. Hadromi, S.Pd., M.T.

Radiator merupakan salah satu komponen sistem pendingin mesin yang memiliki masalah kebocoran akibat korosi. Kebocoran pada sistem pendingin dapat berakibat fatal seperti *overheat*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) dapat menurunkan laju korosi komponen radiator mobil dan mengetahui jenis korosi yang terjadi pada komponen radiator mobil di lingkungan aquades.

Metode yang digunakan adalah eksperimen sungguhan. Pengujian korosi dilakukan dengan merendam spesimen yang berasal dari radiator aluminium. Spesimen direndam dalam larutan aquades dengan variasi penambahan inhibitor natrium kromat sebesar 0%, 0,3%, 0,5% dan 0,7%. Uji foto mikro menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk menentukan jenis korosi. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu analisis statistik deskriptif.

Hasil penelitian ini inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) dapat menurunkan laju korosi komponen radiator aluminium mobil. Nilai laju korosi aluminium dalam lingkungan aquades tanpa inhibitor sebesar 0,0084 mmpy. Sementara itu laju korosi aluminium mengalami penurunan seiring penambahan inhibitor natrium kromat (0,3% sebesar 0,0053 mmpy, 0,5% sebesar 0,0051 mmpy dan 0,7% sebesar 0,0043 mmpy). Dengan demikian penggunaan inhibitor natrium kromat dapat memperpanjang umur / waktu pemakaian radiator aluminium. Jenis korosi yang terjadi ada penelitian ini adalah korosi sumuran. berdasarkan penelitian ini sebaiknya penggunaan inhibitor natrium kromat ditambahkan pada air pendingin sistem pendingin mesin dengan konsentrasi sebesar 0,7%. Penelitian selanjutnya menggunakan alat uji korosi yang mampu tahan terhadap kebocoran pada suhu  $80^0\text{C}$  -  $90^0\text{C}$  dengan menggunakan media air pendingin mesin.

**Kata kunci:** radiator, aluminium, inhibitor, natrium kromat, laju korosi.

## **PRAKATA**

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Inhibitor Natrium Kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) Terhadap Laju Korosi pada Komponen Radiator Sistem Pendingin Mobil”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif S1 Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaatnya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaia karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Hadromi, S.Pd., M.T., Dosen wali dan Dosen pembimbing yang penuh perhatian dalam memberi bimbingan dan kemudahan penulisan karya ini.

4. Penguji, yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Ibu, Bapak dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat dan tak hentinya membantu baik dalam hal finansial maupun mental kepada penulis sampai saat ini.
7. Rekan Jamiyah Maulidurrasul Arrahman Fakultas Teknik yang selalu memberikan dukungan untuk tetap melangkah bersama.
8. Rekan Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2015 yang telah menemani, menginspirasi penulis untuk tetap maju.
9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan penulis dimasa yang akan datang. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang,

Muhammad Akyas Khan

## DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL/COVER_____	i
LEMBAR BERLOGO_____	ii
JUDUL DALAM_____	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING_____	iv
LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL SKRIPSI_____	v
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN_____	vi
MOTTO DAN PERSEMBAHAN_____	vii
RINGKASAN_____	viii
PRAKATA_____	ix
DAFTAR ISI_____	xi
DAFTAR GAMBAR_____	xiv
DAFTAR TABEL_____	xvi
DAFTAR LAMPIRAN_____	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN_____</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang_____	1
1.2 Identifikasi Masalah_____	3
1.3 Pembatasan Masalah_____	4
1.4 Rumusan Masalah_____	5
1.5 Tujuan_____	5
1.6 Manfaat_____	5

<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	<b>6</b>
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Sistem Pendingin Air	12
2.2.2 Radiator	13
2.2.3 Aluminium	14
2.2.4 Uji Komposisi Material	17
2.2.5 Korosi	17
2.2.6. Pengendalian Korosi	27
2.2.7 Inhibitor Korosi	31
2.2.8 Inhibitor Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	37
2.2.9 Air Murni / Aquades	40
2.2.10 Uji Laju Korosi	41
2.2.11 Uji Foto Mikro	42
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>44</b>
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	44
3.2 Desain Penelitian	44
3.2.1 Metode Penelitian	44
3.2.2 Diagram Penelitian	46
3.2.3 Tahap Penelitian	47
3.3 Alat dan Bahan	52
3.3.1 Alat Penelitian	52
3.3.2 Bahan Penelitian	52

3.4 Parameter Penelitian	53
3.5 Teknik Pengumpulan Data	53
3.6 Kalibrasi Instrumen	53
3.7 Teknik Analisis Data	54
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>56</b>
4.1 Deskripsi Data	56
4.1.1 Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia	56
4.1.2 Data Hasil Pengujian Laju Korosi	56
4.1.3 Data Hasil Pengujian Foto Mikro	60
4.2 Analisis Data	61
4.2.1 Pengaruh Inhibitor Natrium Kromat Terhadap Laju Korosi Komponen Radiator	61
4.2.2 Hasil Foto Mikro Perbesaran Lensa 200 kali	62
4.3 Pembahasan	63
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>67</b>
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>69</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi merata pada pipa <i>ballast</i>	22
Gambar 2.2 Korosi Celah	23
Gambar 2.3 Korosi Sumuran	23
Gambar 2.4 Korosi Galvanik	24
Gambar 2.5 Korosi Erosi	25
Gambar 2.6 Korosi Lelah	26
Gambar 2.7 Korosi Tegangan	26
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian	46
Gambar 3.2 Rangkaian alat uji korosi	47
Gambar 3.3 Proses pencampuran larutan aquades dan inhibitor	47
Gambar 3.4 Spesimen Uji	48
Gambar 3.5 Penimbangan spesimen	49
Gambar 3.6 Pengujian korosi dengan konsentrasi inhibitor 0%	50
Gambar 3.7 Pengujian korosi dengan konsentrasi inhibitor 0,5%	50
Gambar 3.8 Pengujian foto mikro	51
Gambar 4.1 Grafik laju korosi spesimen	58
Gambar 4.2 Grafik rata-rata laju korosi	59
Gambar 4.3 Foto mikro spesimen yang telah direndam dengan konsentrasi (a) inhibitor 0%, (b) inhibitor 0,3%, (c) inhibitor 0,5% dan (d) inhibitor 0,7%	60
Gambar 4.4 Grafik rata-rata laju korosi	61
Gambar 4.5 Foto mikro spesimen yang telah direndam dengan	

konsentrasi (a) inhibitor 0%, (b) inhibitor 0,3%, (c)

inhibitor 0,5% dan (d) inhibitor 0,7% \_\_\_\_\_ 62

Gambar 4.6 Cara kerja inhibitor anodik \_\_\_\_\_ 65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa paduan aluminium dan komposisi masing-masing	16
Tabel 2.2 Hasil analisis komposisi dengan menggunakan EDS	17
Tabel 2.3 Konsentrasi efektif inhibitor	39
Tabel 2.4 Konsentrasi efektif inhibitor	39
Tabel 2.5 Nilai konstanta laju korosi	42
Tabel 3.1 Hasil pengujian komposisi	54
Tabel 3.2 Hasil pengujian laju korosi	55
Tabel 4.1 Komposisi kadar kandungan spesimen	56
Tabel 4.2 Rata-rata laju korosi	57

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1. Lampiran Surat Tugas Dosen Pembimbing_____	73
2. Lampiran 2. Surat Tugas Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji_____	74
3. Lampiran 3. Daftar Hadir Seminar Proposal Skripsi/TA_____	75
4. Lampiran 4. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi_____	76
5. Lampiran 5.Surat Izin Penelitian_____	77
6. Lampiran 6. Dokumentasi Proses Penelitian_____	78
7. Lampiran 7. Hasil Pengujian Korosi, Struktur Mikro dan Komposisi Kimia Aluminium_____	79
8. Lampiran 8. Hasil Pengujian Foto Mikro_____	80
9. Lampiran 9. Tabel Massa Jenis Aluminium_____	81
10. Lampiran 10. Perhitungan Laju Korosi_____	82

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Mobil memiliki sistem pendingin mesin yang berfungsi untuk mendinginkan dan mempertahankan suhu kerja mesin. Suhu kerja mesin harus dipertahankan supaya mesin dapat bekerja secara optimal. Suhu kerja mesin adalah  $80^{\circ}$  sampai  $90^{\circ}$  C. Pada saat mesin bekerja akan menghasilkan panas akibat proses pembakaran dan gesekan komponen mesin. Panas yang dihasilkan oleh mesin sebagian dimanfaatkan, sebagian keluar bersama gas buang dan sebagian lagi diserap oleh mesin itu sendiri. Panas yang diserap oleh mesin harus segera dibuang. Oleh karena itu mesin mobil dilengkapi dengan sistem pendingin.

Sistem pendingin mesin mobil menggunakan jenis sistem pendingin air. Media yang digunakan untuk menyerap panas mesin menggunakan zat cair. Mesin pendingin air terdiri dari komponen radiator, tutup radiator, selang bawah, pompa air, *water jacket*, termostat, selang atas dan *reservoir*. Cairan pendingin bersirkulasi di dalam sistem dengan bantuan pompa air. Pada saat mesin belum mencapai suhu kerja, termostat akan menutup saluran selang atas sehingga cairan pendingin tidak dapat mengalir ke radiator. Termostat akan membuka saluran selang atas jika mesin sudah mencapai suhu kerja sehingga cairan pendingin mengalir dari *water jacket* melalui selang atas kemudian menuju radiator untuk didinginkan.

Proses kerja sistem pendingin terjadi secara terus menerus selama mesin bekerja. Oleh karena itu sistem pendingin rentan mengalami masalah antara lain kebocoran saluran sistem pendingin, tersumbatnya pipa-pipa radiator, korosi pada komponen sistem pendingin serta *overheating* yang dapat menyebabkan mesin kendaraan macet.

Korosi adalah proses degradasi / deteorisasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya (Utomo, 2009: 138). Korosi yang terjadi pada sistem pendingin mesin mobil dapat menyebabkan endapan karat yang menghambat laju aliran cairan pendingin, dapat memicu kebocoran bahkan dapat menyebabkan *overheating*. Apabila mesin mobil mengalami *overheating* jika dibiarkan akan mengalami kerusakan fatal. Korosi yang terjadi pada saluran sistem pendingin mesin mobil terjadi akibat adanya kontak antara cairan pendingin yang mengandung mineral dengan komponen sistem pendingin yang berasal dari logam. Contohnya pada radiator, pompa air dan *water jacket*. Selain itu laju aliran cairan pendingin juga dapat mengakibatkan terjadinya korosi.

Pengendalian korosi bertujuan untuk mengatur laju korosi sehingga perkembangannya tetap berada dalam rentang tertentu atau paling tidak dapat memperpanjang batas umur suatu struktur (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 202-203). Pengendalian korosi pada sistem pendingin sudah dilakukan oleh produsen pembuat mobil dengan cara menambahkan lapisan anti korosi pada komponen sistem pendingin. Selain itu perusahaan menyediakan cairan pendingin (*water coolant*) yang dilengkapi dengan zat anti korosi. Namun

masyarakat terbiasa mengganti cairan pendingin (*water coolant*) menggunakan air sumur untuk mengisi ulang cairan radiator. Kandungan air sumur berpotensi menyebabkan korosi jika tidak ditambah dengan zat anti korosi atau inhibitor.

Zat inhibitor dapat mengurangi terjadinya korosi. Secara umum inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan dapat menurunkan laju serangan korosi terhadap suatu logam (Wibowo dan Ilman, 2011: 11).

Penambahan zat inhibitor mampu memperlambat laju korosi suatu logam.

Komalasari dan Zultiniar (2014) melakukan penelitian penambahan zat inhibitor polifosfat untuk mengendalikan korosi pada pipa sistem pendistribusian air menghasilkan hasil yang optimal berupa penurunan laju korosi pada logam yang diteliti.

Berdasarkan permasalahan di atas dilakukan penelitian terhadap pengendalian korosi pada komponen sistem pendingin mesin mobil dengan cara menambahkan zat inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  pada cairan pendingin (aquades) untuk mengurangi laju korosi pada komponen sistem pendingin mobil khususnya pada komponen radiator.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah ditulis, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Sistem pendingin mesin rentan mengalami masalah antara lain kebocoran saluran sistem pendingin, tersumbatnya pipa-pipa radiator, korosi pada komponen sistem pendingin serta *overheating* yang dapat menyebabkan mesin kendaraan macet.

- b. Komponen sistem pendingin mesin berasal dari logam yang dapat mengalami korosi karena bersinggungan dengan cairan pendingin.
- c. Cairan pendingin *megacool* dapat menyebabkan korosi pada komponen sistem pendingin karena tidak dilengkapi zat anti karat.
- d. Korosi pada sistem pendingin dapat menyebabkan kebocoran dan tersumbatnya pipa-pipa radiator.
- e. Masyarakat Indonesia menggunakan air tanah / air sumur yang mengandung banyak mineral penyebab korosi, sebagai pengganti cairan pendingin (*water coolant*).

### 1.3 Pembatasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi karena masalah pada sistem pendingin mesin tidak semuanya dapat diuraikan dalam satu penelitian. Adapun batasan masalah pada penelitian ini :

- a. Melakukan pengujian korosi pada radiator mobil.
- b. Benda uji berupa spesimen yang berasal dari radiator mobil.
- c. Larutan elektrolit menggunakan aquades tanpa penambahan zat inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  maupun dengan penambahan zat inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  0,3%, 0,5%, dan 0,7%.
- d. Pengujian laju korosi menggunakan metode perendaman (kehilangan berat) selama 10 hari.
- e. Parameter bebas penelitian ini yaitu zat inhibitor. Parameter terikat penelitian ini nilai laju korosi. Parameter kontrol berupa aliran zat cair  $0,0025 \text{ m}^3/\text{jam}$  dan suhu sistem  $50 \text{ }^\circ\text{C} - 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah sehingga dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Seberapa besar pengaruh inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) terhadap penurunan laju korosi komponen radiator mobil ?
- b. Apakah jenis korosi yang terjadi pada komponen radiator mobil di lingkungan aquades ?

#### 1.5 Tujuan

Berdasarkan masalah yang telah ditulis, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu :

- a. Mengetahui pengaruh inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) dapat menurunkan laju korosi komponen radiator mobil.
- b. Mengetahui jenis korosi yang terjadi pada komponen radiator mobil di lingkungan aquades.

#### 1.6 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui pengaruh inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) terhadap penurunan laju korosi komponen radiator mobil.
- b. Memberikan informasi pengetahuan kepada pembaca mengenai pengaruh inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) terhadap penurunan laju korosi komponen radiator mobil.
- c. Alat pengujian korosi dapat digunakan sebagai alat peraga pengujian korosi pada mata kuliah teknik pengendalian korosi.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang berkaitan dengan pengendalian korosi menggunakan zat inhibitor sudah dilakukan penelitian yang terdahulu, antara lain :

Komalasari dan Zultiniar (2014) melakukan penelitian berjudul inhibitor polifosfat untuk mengendalikan korosi pada pipa sistem pendistribusian air. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah polifosfat (*sigma aldrich*) sebagai bahan utama, etanol 90%, aquades, larutan NaCl 99%. Bahan uji berupa spesimen yang terdiri dari aluminium dengan komposisi 99% aluminium murni, besi baja (ASTM A 36) dan besi campuran (SUS 316) dengan ukuran masing-masing 3 cm x 3 cm dengan ketebalan 0,1 cm. Benda uji direndam dalam larutan NaCl + inhibitor polifosfat selama 1 minggu. Setelah selesai spesimen dihitung laju korosi dan efektivitas dari inhibitor polifosfat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa inhibitor polifosfat dapat mengurangi laju korosi spesimen, laju korosi tanpa inhibitor berbanding lurus dengan konsentrasi NaCl dimana semakin tinggi konsentrasi NaCl maka semakin meningkat laju korosi pada berbagai spesimen, laju korosi dengan menggunakan inhibitor polifosfat semakin menurun seiring bertambahnya konsentrasi inhibitor polifosfat pada setiap konsentrasi NaCl, inhibitor bekerja optimal pada konsentrasi 300 ppm pada logam besi dan 200 ppm pada aluminium dan *stainless steel*, laju korosi terendah baik menggunakan

inhibitor maupun tidak menggunakan inhibitor terjadi pada *stainless steel* karena terdiri dari beberapa unsur yang tidak mudah terkorosi.

Penelitian di atas memiliki persamaan dengan penelitian ini yaitu menggunakan zat inhibitor. Namun, penelitian tersebut menggunakan inhibitor polifosfat sedangkan penelitian ini menggunakan inhibitor natrium kromat. Perbedaan lain terletak pada jumlah material spesimen. Penelitian tersebut menggunakan tiga material spesimen yaitu logam besi, aluminium dan *stainless steel* sedangkan penelitian ini hanya menggunakan aluminium. Selain itu, penelitian tersebut tidak melakukan uji foto mikro permukaan logam sedangkan penelitian ini melakukan pengujian foto mikro permukaan logam.

Ameer et al., (2012) melakukan penelitian berjudul *electrochemical corrosion inhibition of al-si alloy in phosphoric acid*. Dalam penelitian ini batang paduan *aluminium die casting* (A383) dengan luas penampang sebesar  $0,785 \text{ cm}^2$  direndam dalam larutan yang mengandung  $0,5 \text{ M H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  dengan konsentrasi yang bervariasi. Metode yang digunakan yaitu polarisasi potensiodinamik dan spektroskopi impedansi elektrokimia. Hasil dari penelitian tersebut adalah  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  merupakan inhibitor yang baik untuk paduan Al-Si pada larutan  $0,5 \text{ M H}_3\text{PO}_4$ , Efisiensi inhibitor meningkat sesuai peningkatan konsentrasi inhibitor, dan efisiensi inhibitor maksimum yang diperoleh dari impedansi dan polarisasi adalah masing-masing 94,7% dan 93,9% pada  $0,1 \text{ M K}_2\text{CrO}_4$ , Adsorpsi  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  yaitu isoterm adsorpsi langmuir,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  bertindak sebagai inhibitor anodik,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  dalam larutan  $0,5 \text{ M H}_3\text{PO}_4$  meningkatkan nilai RT, hasil uji SEM inhibitor  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  menghambat terjadinya korosi pada Al (A383).

Penelitian di atas memiliki kesamaan dengan penelitian ini yaitu menggunakan zat inhibitor, namun zat inhibitor yang digunakan berbeda. Penelitian tersebut menggunakan zat inhibitor  $K_2CrO_4$  sedangkan penelitian ini menggunakan zat inhibitor  $Na_2CrO_4$ . Perbedaan lain terletak pada metode pengujian korosi, penelitian tersebut menggunakan metode polarisasi potensiodinamik sedangkan metode pengujian korosi penelitian ini menggunakan metode perendaman biasa.

Wang et al., (2011) melakukan penelitian berjudul *an investigation of benzimidazole derivative as corrosion inhibitor for mild steel in different concentration HCL solutions*. Uji korosi dilakukan pada sampel baja ringan. Spesimen direndam dalam larutan HCl tanpa inhibitor dan HCl ditambah inhibitor dengan variasi konsentrasi yang berbeda selama 7 jam pada suhu 303 K. Metode pengujian yaitu polarisasi potensiodinamik, spektroskopi impedansi elektrokimia dan *scanning electron microscopy (SEM)*. Hasil penelitian menunjukkan korosi baja ringan dalam larutan HCl dapat dikurangi dengan menambahkan zat inhibitor CBO. Efisiensi penghambatan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor dan HCl, inhibitor CBO bertindak sebagai inhibitor tipe campuran dan secara efektif dapat menekan proses anodik dan katodik melalui adsorpsi kimia pada permukaan baja ringan, yang mematuhi isoterm adsorpsi langmuir, pengukuran PZC menunjukkan bahwa permukaan baja ringan bermuatan positif dalam larutan asam, zat inhibitor tersebut memiliki keunggulan sifat penghambat untuk baja ringan dalam larutan HCl.

Penelitian di atas memiliki kesamaan dengan penelitian ini yaitu menggunakan zat inhibitor dan melakukan pengujian struktur permukaan logam

yang terkorosi, namun zat inhibitor yang digunakan berbeda. Penelitian tersebut menggunakan zat inhibitor CBO sedangkan penelitian ini menggunakan zat inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Perbedaan lain terletak pada metode pengujian korosi, pada penelitian tersebut menggunakan metode polarisasi potensiodinamik sedangkan metode pengujian korosi penelitian ini menggunakan metode perendaman biasa.

Alaneme dan Olusegun (2012) melakukan penelitian yang berjudul *corrosion inhibition performance of lignin extract of sun flower (tithonia diversifolia) on medium carbon low alloy steel immersed in  $\text{H}_2\text{SO}_4$  solution*. Penelitian ini menguji pengaruh inhibitor ekstrak lignin bunga matahari terhadap laju korosi campuran baja karbon rendah dalam media 1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Metode pengujian korosi menggunakan metode perendaman (*immersion test*) selama 12 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak lignin bunga matahari merupakan inhibitor yang efektif digunakan untuk menurunkan laju korosi campuran baja karbon rendah, penurunan laju korosi terjadi saat konsentrasi inhibitor ekstrak lignin bunga matahari meningkat pada suhu yang tinggi, energi aktivasi dan energi bebas negatif dari adsorpsi yang diperoleh. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak lignin secara fisik teradsorpsi pada permukaan baja dan terjadi dengan kuat dan spontan, ekstrak lignin terbukti efektif ramah lingkungan dan murah.

Penelitian di atas memiliki kesamaan dengan penelitian ini yaitu menggunakan zat inhibitor dan melakukan pengujian foto mikro permukaan logam yang terkorosi, namun zat inhibitor yang digunakan berbeda. Penelitian tersebut menggunakan zat inhibitor ekstrak lignin bunga matahari sedangkan penelitian ini

menggunakan zat inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Metode yang digunakan pada penelitian tersebut sama dengan metode penelitian ini yaitu perendaman. Namun dalam perendaman yang dilakukan oleh penulis ditambahkan pemanasan suhu sistem dan aliran zat cair supaya menyerupai proses asli pada pendingin mesin.

Wibowo dan Ilman (2011) melakukan penelitian berjudul studi eksperimental pengendalian korosi pada aluminium 2024-T3 di lingkungan air laut melalui penambahan inhibitor kalium kromat ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ). Spesimen aluminium diuji komposisi material, uji mikrostruktur, uji tarik dan uji korosi. Uji korosi menggunakan metoda potensial tiga elektroda selama 24 jam menggunakan media air laut dan air laut yang ditambahkan kalium kromat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan korosi Al 2024-T3 di lingkungan air laut sebesar 0,0216 mm/tahun, *inhibitor*  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  menurunkan laju korosi sebesar 0,0134 mm/tahun (penurunan 38%) pada kondisi konsentrasi optimal 0,5%  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , korosi pada Al 2024-T3 di lingkungan air laut berupa korosi sumuran (*pitting corrosion*), inhibitor  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  menghambat korosi melalui oksidasi yang menghasilkan produk senyawa yang menutup permukaan Al 2024-T3.

Penelitian di atas memiliki kesamaan dengan penelitian ini yaitu menggunakan zat inhibitor dan melakukan pengujian foto mikro permukaan logam yang terkorosi namun zat inhibitor yang digunakan berbeda. Penelitian tersebut menggunakan zat inhibitor  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  sedangkan penulis menggunakan zat inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Perbedaan lain terletak pada metode pengujian korosi, pada penelitian tersebut menggunakan metode polarisasi potensiodinamik sedangkan metode pengujian korosi penelitian ini menggunakan metode perendaman biasa.

Saifudin dkk., (2016) melakukan penelitian dengan judul perilaku inhibitor korosi pada radiator. Benda uji berupa potongan radiator. Spesimen diuji komposisi, uji mikrostruktur dan uji korosi menggunakan metode potensial tiga elektroda. Spesimen direndam dalam larutan *water coolant* tanpa inhibitor dan *water coolat* yang ditambahkan inhibitor asam nitrat dan hexamethylene-etramin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inhibitor asam nitrat pada konsentrasi 2% sampai 7% mampu menurunkan laju korosi paling rendah dari 0,002207 mmpy menurun menjadi 0,00171 mmpy, inhibitor hexamethylene-etramin pada konsentrasi 2% sampai 4% mampu menurunkan laju korosi paling rendah dari 0,002207 mmpy menurun menjadi 0,001411 mmpy, jenis korosi pada radiator adalah jenis korosi sumuran.

Penelitian di atas memiliki persamaan dengan penelitian ini. Pertama objek yang diteliti berupa spesimen yang berasal dari radiator mobil. Kedua menggunakan zat inhibitor dalam menghambat laju korosi. Namun memiliki perbedaan yaitu zat inhibitor yang digunakan pada penelitian tersebut menggunakan asam nitrat dan hexamethylene-etramin penelitian ini menggunakan zat inhibitor natrium kromat. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu potensial tiga elektroda sementara penelitian ini menggunakan metode perendaman biasa dengan memperhatikan kenaikan suhu sistem dan laju aliran elektrolit dalam sistem sehingga hampir menyerupai kondisi nyata pada radiator.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Pendingin Air

Mesin mobil merupakan jenis mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran dalam bekerja menghasilkan panas akibat proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin. Panas yang dihasilkan oleh mesin tidak sepenuhnya dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga. Sebagian panas hasil pembakaran dapat dimanfaatkan, sebagian terbuang bersamaan dengan keluarnya gas buang dan sebagian lagi diserap oleh mesin itu sendiri. Panas yang diserap oleh mesin harus segera dibuang ke udara luar, supaya mesin tidak mengalami *overheating*. Oleh karena itu diperlukan sistem pendingin mesin untuk menyerap panas hasil pembakaran di dalam mesin.

Sistem pendingin mesin dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem pendingin udara dan sistem pendingin air. Sistem pendingin pada mobil menggunakan sistem pendingin air. Komponen sistem pendingin air meliputi pompa air, *water jacket*, termostat, selang karet, radiator, tutup radiator, kipas radiator dan *reservoir tank*. Prudhvi et al., (2013) menjelaskan bahwa sistem pendingin air memiliki beberapa keuntungan yaitu proses pendinginan terjadi secara merata pada silinder, kepala silinder dan katup, konsumsi bahan bakar spesifik meningkat, mesin dapat ditempatkan di bagian belakang kendaraan, dan berfungsi sebagai peredam mesin. Kristanto (2015) mengemukakan kelemahan sistem pendingin air yaitu air pendingin dengan titik beku  $0^{\circ}\text{C}$  tidak dapat digunakan di daerah bersuhu dingin dibawah  $0^{\circ}\text{C}$ , selain itu air pendingin tanpa zat aditif dapat menyebabkan korosi pada komponen sistem pendingin.

Proses pendinginan saat mesin belum mencapai suhu kerja dimulai saat pompa air menghisap dan menekan air pendingin dari radiator menuju ke *water jacket* (mantel air). Air pendingin bersirkulasi didalam *water jacket* melewati saluran *bypass* karena termostat belum membuka. Termostat mulai membuka saat mesin mulai mencapai suhu kerja dan membuka penuh saat mencapai suhu kerja mesin  $80^0 - 90^0$  C. Air pendingin dari *water jacket* mengalir melalui selang atas radiator dan masuk ke dalam radiator untuk didinginkan. Panas air pendingin diserap oleh kisi-kisi radiator dan dibuang bersamaan dengan udara yang mengalir melewati kisi-kisi radiator. Air pendingin yang sudah didinginkan mengalir kembali menuju *water jacket* (Legiman dan Sulaiman, 2014).

### **2.2.2 Radiator**

Radiator merupakan komponen sistem pendingin air yang dipasang pada bagian depan kendaraan. Daryanto (dalam Surjadi, 2016) menyatakan bahwa radiator berfungsi untuk mendinginkan air yang menjadi panas setelah beredar dalam mantel air pendinginan mesin. Cairan pendingin yang telah bersirkulasi di dalam mantel air suhunya akan meningkat. Saat cairan pendingin mengalir melalui inti radiator, panas dari cairan pendingin akan diserap oleh sirip-sirip radiator. Panas yang telah terserap oleh sirip radiator kemudian ikut terbangun bersamaan dengan udara yang melewati sirip-sirip radiator.

Radiator umumnya diletakkan di depan mesin kendaraan. Radiator memiliki dua buah tabung yang terletak di atas dan di bawah. Tabung ini biasa disebut dengan tangki atas dan tangki bawah. Tangki atas dilengkapi dengan saluran masuk air dari mantel air (*water jacket*), tutup radiator untuk memasukan

cairan radiator. Tutup radiator dihubungkan dengan *reservoir tank* (tangki cadangan). Pada tutup radiator dilengkapi dengan *relief valve* yang berfungsi mengalirkan air pendingin dari radiator ke *reservoir tank* (tangki cadangan) saat tekanan dalam radiator melebihi 1 atm dan *vacum valve* yang berfungsi mengalirkan air pendingin dari *reservoir tank* (tangki cadangan) ke radiator saat tekanan dalam radiator turun (kurang dari 1 atm). Tangki bawah dilengkapi dengan baut penguras dan saluran menuju mantel air (*water jacket*). Inti radiator terdiri dari pipa-pipa untuk mengalirkan air pendingin dari tangki atas ke tangki bawah dan sirip-sirip radiator yang menyerap panas air pendingin dan membuangnya ke udara luar (Daryanto, 2004: 18-19).

Simamora dkk., (2015) menyatakan bahwa radiator bekerja secara efektif jika mampu menurunkan suhu cairan pendingin apabila telah melalui proses pendinginan dalam radiator. Apabila mesin berputar pada putaran tinggi maka aliran cairan pendingin dalam radiator akan semakin cepat. Mesin toyota kijang tipe 5K pada putaran 1700 rpm menghasilkan kecepatan aliran cairan pendingin 0,021 m<sup>3</sup>/menit, putaran 2000 rpm menghasilkan kecepatan aliran cairan pendingin 0,025 m<sup>3</sup>/menit dan putaran 2500 rpm menghasilkan kecepatan aliran cairan pendingin 0,031 m<sup>3</sup>/menit.

### **2.2.3 Aluminium**

Aluminium merupakan material alam yang sering dimanfaatkan oleh manusia. Diharjo (dalam Masyrukan, 2010) menyatakan bahwa aluminium (Al) adalah salah satu logam *non ferro* yang memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah memiliki berat jenis yang ringan, ketahanan terhadap korosi

dan mampu bentuk yang baik. Aluminium diolah dengan beberapa metode sehingga memiliki sifat mekanis yang baik sebagai material yang dapat dimanfaatkan sesuai kebutuhan. Mandala dkk., (2016) Aluminium hasil pengecoran sering dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif seperti pelek, blok mesin dan piston. Aluminium hasil pembentukan melalui proses tempa, rol dan ekstrusi yaitu aluminium profil dan plat yang banyak digunakan dalam konstruksi.

Aluminium merupakan material bukan logam yang banyak digunakan karena memiliki berat yang ringan. Aluminium murni yang terdapat di alam memiliki kekuatan rendah ( $Rm = 70-100 \text{ N/mm}^2$ ). Namun kekuatan tersebut dapat ditingkatkan dengan cara perpaduan, pengokohan dan proses pemanasan. Kekurangan aluminium dan paduan aluminium adalah tidak mudah dilas dan disolder. Beberapa paduan aluminium yaitu aluminium - tembaga (duralumin) biasa digunakan pada bangunan pesawat terbang, aluminium - silicium (silumin) yang banyak dipakai pada industri mobil seperti torak, kepala silinder dan pelek, aluminium - magnesium (alumag) banyak digunakan pada bidang arsitektur (Vliet dan Both, 1983:145-147).

Tabel 2.1 Beberapa paduan aluminium dan komposisi masing-masing (Trethewey dan Chamberlain, 1991)

Spesifikasi		% Komposisi kira-kira					
UK	USA	Cu	Mg	Si	Mn	Cr	Lain-lain
<b>Paduan tempa</b>							
	2011	5,5	-	0,4 max	-	-	0,5 Pb, 0,5 Bi
H15	2014	4,4	0,4	0,8	0,8	0,3 max	-
L97	2024	4,5	1,5	-	0,6	-	-
	2218	4,0	1,5	0,9 max	-	-	2,0 Ni
N3	3003	-	-	0,6 max	1,3	-	-
	4032	0,9	1,0	12,5	-	-	0,9 Ni
	5050	-	1,2	0,4 max	-	0,25	-
N4	5052	-	2,5	0,4 max	-	0,25	-
N8	5083	-	4,5	-	0,7	-	-
	5086	-	4,0	-	0,5	-	-
N5	5154	-	3,5	-	-	0,25	-
H20	6061	0,2 5	1,0	0,6	-	0,25	-
	6063	-	0,7	0,4	-	-	-
	6101	-	0,5	0,5	-	-	-
	6151	-	0,6	0,1	-	0,25	-
DTD5074	7075	1,5	2,5	-	-	0,3	5,5 Zn
	7079	0,6	3,3	-	0,2	0,2	4,3 Zn
	7178	2,0	2,7	-	-	0,3	6,8 Zn
<b>Paduan tuang</b>							
	13	-	-	12,0	-	-	-
	43	-	-	5,0	-	-	-
	108	4,0	-	3,0	-	-	-
	A108	4,5	-	5,5	-	-	-
	D132	3,5	0,8	9,0	-	-	0,8 Ni
	319	3,5	-	6,3	-	-	-
	356	-	0,3	7,0	-	-	-
	380	3,5	-	8,5	-	-	-

### 2.2.4 Uji Komposisi Material

Uji komposisi material menggunakan alat spektrometer bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur kimia penyusun aluminium. Fitri dkk., (2013) menyatakan bahwa uji komposisi kimia digunakan untuk mengetahui kadar komposisi kimia yang terkandung dalam suatu material. Unsur kimia yang terkandung di dalamnya mempengaruhi sifat mekanis material tersebut. Masrukan (2009) melakukan uji komposisi kimia paduan Al 6061 yang telah mengalami proses pengelasan. Pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer EDS (*energy dispersive spectroscopy*). Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.2 Hasil analisis komposisi dengan menggunakan EDS (Masrukan, 2009)

Elemen	Logam dasar (% berat)	Daerah terpengaruh panas HAZ (% berat)	Logam lasan (% berat)
O	4,22	4,06	6,68
Mg	1,22	-	-
Al	94,05	94,36	83,18
Si	0,51	1,57	10,14
Total	100	100	100

### 2.2.5 Korosi

Korosi adalah proses degradasi / deteorisasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya (Utomo, 2009: 138).

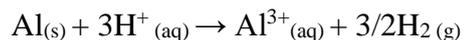
Tretheway (dalam Afriani S. dkk., 2014) menyatakan bahwa korosi adalah

penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi adalah reaksi elektrokimia tepatnya reaksi reduksi dan oksidasi pada dua material yang memiliki potensial yang berbeda (Marlina, 2016: 23). Jadi, korosi merupakan perusakan material / penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia dan pengaruh lingkungan sekitar.

Sebagian besar logam memiliki sifat yang tidak stabil, oleh karena logam mudah mengalami korosi. Logam yang mudah mengalami korosi berasal dari bahan tambang yang terdiri dari beberapa unsur yang kemudian diolah sehingga diperoleh bahan rekayasa yang berguna. Hal ini yang menyebabkan logam tersebut mudah mengalami korosi. Logam mengalami pembentukan oksida atau sulfida seperti ketika logam diambil dari bumi sebelum disempurnakan. Kecuali emas dan platinum keduanya termasuk logam mulia atau murni (Schweitzer, 2004: 180).

#### **a. Reaksi Korosi**

Korosi merupakan reaksi elektrokimia pada dua material yang memiliki beda potensial. Reaksi elektrokimia terdiri dua atau lebih reaksi elektroda tepatnya reaksi oksidasi dan reaksi reduksi (Schweitzer, 2004: 180). Contohnya korosi pada aluminium dalam media asam.



Ini terurai menjadi reaksi oksidasi



Dan reaksi reduksi



Logam aluminium sebagai anoda mengalami reaksi parsial anodik. Reaksi oksidasi terjadi pada logam aluminium yang berpindah ke lingkungan dimana logam mengalami korosi yang energinya lebih besar dari lingkungannya. Ion hidrogen bertindak sebagai katoda direduksi menjadi gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan keluar dari larutan. Terjadi reaksi reduksi pada zat pengoksidasi yang energinya lebih rendah sehingga tidak terjadi korosi (Marlina, 2016:24).

#### **b. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya korosi**

##### 1) Pengaruh PH

PH atau derajat keasaman mempengaruhi proses korosi. Nilai pH menunjukkan aktivitas (konsentrasi) kation  $\text{H}^+$  ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ), yaitu lingkungannya netral, asam, atau basa, dan nilai pH berkisar antara -1 sampai 15. Nilai pH tidak mempengaruhi ketahanan korosi emas (Au), perak (Ag), platinum (Pt), paladium (Pd), rodium (Rh), ruthenium (Ru), merkuri (Hg), tantalum (Ta), niobium (Nb), osmium (Os) dan iridium (Ir). Mereka tahan pada  $\text{pH} = 0$  hingga 14. Besi (Fe), kromium (Cr) dan mangan (Mn) menimbulkan korosi pada tingkat tinggi dalam larutan asam ( $\text{pH} < 4$ ) dan dalam larutan alkali yang sangat kuat ( $\text{pH} > 13,5$ ) pada suhu di atas  $80^\circ \text{C}$ . Mereka juga menimbulkan korosi, tetapi pada tingkat rendah pada pH netral (6 hingga 8), dan tahan pada  $\text{pH} = 9$  hingga 13. Magnesium (Mg), titanium (Ti), hafnium (Hf), vanadium (V) dan bismuth (Bi) menimbulkan korosi pada laju tinggi pada pH rendah (dalam larutan asam)

dan tahan terhadap larutan netral dan alkali atau pH tinggi. Molibdenum (Mo), tungsten (W) dan renium (Re) tahan terhadap larutan asam dan larutan netral, tetapi terkorosi dalam larutan alkali. Kelompok terakhir adalah besar: berilium (Be), aluminium (Al), tembaga (Cu), seng (Zn), kadmium (Cd), timah (Sn), timah (Pb), kobalt (Co), nikel (Ni), zirconium (Zr), gallium (Ga) dan indium (In). Mereka menimbulkan korosi baik dalam larutan asam dan basa (Groysman, 2010: 38-40).

## 2) Pengaruh garam terlarut dalam air

Kandungan kimiawi dari air kran, air pendingin, laut, lautan, sungai, danau, dan air bawah tanah berbeda. Parameter umum untuk semua jenis air ini adalah pH mereka yang hampir netral (biasanya antara 5,5 hingga 8,3), adanya zat anorganik dan organik, dan gas terlarut. Perbedaan pada kandungan kimia dalam air dapat menyebabkan perbedaan tingkat korosi logam. Ada sedikit pengaruh nilai pH dari 5,5 ke 8,3 pada korosi logam. Kation logam yang terbentuk dalam pelarutan anodik dari logam bereaksi dengan anion hidroksida  $\text{OH}^-$  yang terbentuk dalam reduksi katodik oksigen terlarut dalam larutan netral berair, maka terbentuk produk korosi dalam bentuk hidroksida. Mereka adalah karat besi hidroksida  $\text{FeO}(\text{OH})$  atau seng hidroksida  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  yang tidak larut dalam air. Produk-produk korosi ini menutupi permukaan logam, dan korosi berlangsung dengan laju konstan pada beberapa nilai pH stabil. Tingkat korosi tergantung pada jenis garam dan konsentrasinya (Groysman, 2010: 41).

### 3) Pengaruh konduktifitas elektrolit

Konduktifitas elektrolit adalah kemampuan untuk menghantarkan arus listrik suatu larutan elektrolit. Semakin besar konduktifitas yang dimiliki elektrolit, semakin tinggi kemampuan untuk membawa arus listrik pada permukaan logam antara anoda dan katoda yang mengakibatkan korosi semakin banyak (Groysman, 2010: 44-45).

### 4) Pengaruh oksigen terlarut

Oksigen terlarut memainkan peran yang sangat penting dan rumit dalam korosi logam. Oksigen mengambil bagian dalam proses katodik pada permukaan logam dalam media netral, alkali, dan asam. Oleh karena itu, keberadaannya diperlukan untuk terjadinya korosi. Jika oksigen terlarut tidak ada dalam air, korosi berkurang dalam larutan netral dan basa. Jika konsentrasi oksigen terlarut meningkat, korosi bertambah cepat sebagai akibat dari partisipasi oksigen dalam proses katodik (Groysman, 2010: 47).

### 5) Temperatur

Temperatur mempengaruhi proses korosi yaitu dengan mempercepat reaksi anodik dan katodik serta mengurangi konsentrasi oksigen terlarut sebagai akibat dari reaksi katodik. Semakin tinggi temperatur maka akan mempercepat reaksi kimia. Hal ini menyebabkan korosi semakin cepat terjadi (Groysman, 2010: 47-48).

### c. Macam-macam korosi

Macam-macam korosi, yaitu :

#### 1) Korosi Merata / *Uniform Attack Corrosion*



Gambar 2.1 Korosi merata pada pipa *ballast* (Utomo, 2009)

Korosi menyeluruh yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi dengan lingkungan sekitar. Korosi jenis ini terjadi pada seluruh permukaan logam yang menyebabkan logam semakin menipis. Uap air, kelembapan, pH dll merupakan bentuk lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi. Contohnya pelat besi yang mengalami korosi diseluruh permukaannya secara bersamaan. Upaya pencegahan terjadinya korosi jenis ini yaitu dengan memilih material yang tepat, menambahkan zat inhibitor dan perlindungan katodik (Gapsari, 2017: 7-8).

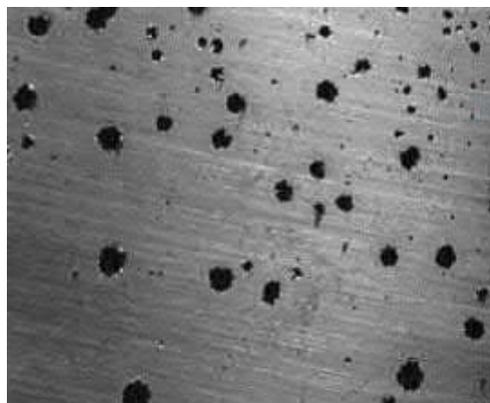
## 2) Korosi Celah / *Crevice Corrosion*



Gambar 2.2 Korosi Celah (Utomo, 2009)

*Crevice corrosion* termasuk jenis korosi lokal yang terjadi pada daerah permukaan logam yang tersembunyi atau celah. Penyebab korosi jenis ini yaitu terdapat larutan yang terjebak pada permukaan logam yang sempit, permukaan yang tertutup dan kotoran-kotoran. Korosi jenis ini terdapat pada celah-celah konstruksi, drum maupun tabung gas. Pengendalian korosi jenis ini bisa dilakukan dengan memilih material yang memiliki ketahanan korosi tinggi, menambahkan zat inhibitor pada lingkungan dan mensterilkan larutan (Gapsari, 2017: 8-11).

## 3) Korosi Sumuran / *Pitting Corrosion*



Gambar 2.3 Korosi Sumuran (Utomo, 2009)

Korosi yang terjadi akibat adanya ion klorin, ketidakhomogenan logam dan kontak antara logam yang berlainan. Korosi jenis ini terjadi pada permukaan logam dimana permukaan logam yang terkorosi biasanya terbentuk lubang. Hal ini menyebabkan kegagalan fungsi suatu barang. Jenis korosi ini termasuk jenis korosi yang berbahaya (Gapsari, 2017: 11- 12).

#### 4) Korosi Galvanik / *Galvanis corrosion*



Gambar 2.4 Korosi Galvanik (Utomo, 2009)

Korosi yang terjadi pada dua logam yang memiliki beda potensial dan saling berdekatan. Logam yang lebih anodik akan mudah terkorosi sedangkan logam katodik akan terlindungi. Korosi jenis ini juga disebut korosi dua logam karena terjadi pada dua logam yang terdapat beda potensial. Korosi jenis ini terjadi pada tempat yang tak terduga misalnya korosi di tepi muka penutup mesin dari saluran baja pada mesin jet. Contoh aplikasi yang menguntungkan dari korosi galvanik adalah prinsip pada baterai kering. Pencegahan terjadinya korosi jenis ini yaitu dengan memperhatikan jenis bahan logam yang akan digunakan menurut deret

galvanik, melindungi logam yang saling berdekatan, menambahkan pelapisan, menambahkan inhibitor dan hindari adanya daerah yang tidak menguntungkan bagi anoda kecil dan katoda besar (Gapsari, 2017: 12-21).

#### 5) Korosi Erosi / *Erosion Corrosion*



Gambar 2.5 Korosi Erosi (Utomo, 2009)

Korosi yang terjadi pada suatu aliran yang mempunyai larutan dengan kandungan material abrasif sehingga mengikis lapisan pelindung logam. Biasanya terjadi pada pipa-pipa minyak. Turbulensi aliran dan endapan korosi juga dapat memicu terjadinya korosi erosi pada pipa. Kecepatan lingkungan sangat berperan pada proses korosi jenis ini. Tingginya keausan terjadi karena kecepatan aliran yang sangat tinggi dan terdapatnya endapan padatan yang ikut mengalir. Pencegahan korosi jenis ini antara lain dengan melapisi logam dengan zat anti korosi, penambahan inhibitor, perlindungan katodik dll (Gapsari, 2017: 21-35).

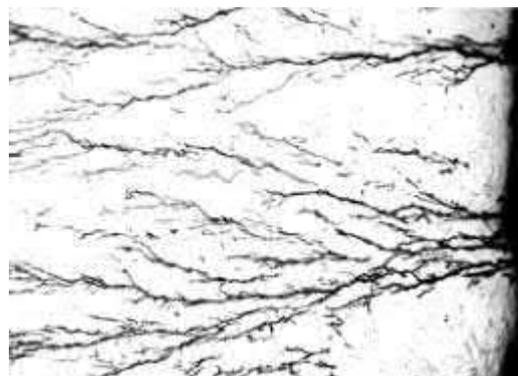
#### 6) Korosi Lelah / *Fatigue Corrosion*



Gambar 2.6 Korosi Lelah (Utomo, 2009)

Korosi lelah terjadi karena keretakan logam akibat beban siklik yang berulang-ulang. Suatu logam yang terkena beban siklus berulang di bawah batas kekuatan luluhnya, semakin lama akan patah karena logam tersebut mengalami kelelahan. Kelelahan akan dipercepat akibat adanya korosi. Pencegahan korosi ini dapat dilakukan dengan peningkatan kekuatan tarik logam dan pelapisan logam (Gapsari, 2017: 35-39).

#### 7) Korosi Tegangan / *Stress Corrosion Cracking*



Gambar 2.7 Korosi Tegangan (Utomo, 2009)

Tegangan dan lingkungan korosif merupakan penyebab terjadinya korosi jenis ini. Lingkungan yang korosif menyebabkan permukaan logam

terkorosi. Jika kedua penyebab korosi jenis ini terjadi secara bersamaan maka *stress corrosion cracking* dapat terjadi. Contohnya aluminium yang retak di lingkungan klorida dan kuningan yang retak di lingkungan amonia (Gapsari, 2017: 39-41).

#### **d. Efek yang ditimbulkan oleh adanya korosi**

Atmadja (2010) menyatakan bahwa terdapat beberapa efek korosi, yaitu :

- 1) Pada sistem pendingin atau *cooling system* korosi dapat merusak logam komponen sistem pendingin
- 2) Pada alat penukar kalor koros dapat menghasilkan deposit
- 3) Deposit mengakibatkan efisiensi perpindahan panas berkurang
- 4) Korosi dapat mengakibatkan kebocoran
- 5) Korosi dapat mengkontaminasi larutan.

#### **2.2.6 Pengendalian Korosi**

Korosi merupakan penurunan mutu logam karena adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi tidak dapat dicegah tetapi dapat dikendalikan supaya suatu komponen dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama. Upaya pengendalian korosi yang tepat akan memperpanjang umur / kelayakan suatu komponen. Pengendalian korosi bertujuan untuk mengatur laju korosi sehingga perkembangannya tetap berada dalam rentang tertentu atau paling tidak dapat memperpanjang batas umur suatu struktur (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 199-203). Pengendalian korosi dapat dilakukan dalam berbagai cara :

a. Modifikasi rancangan

Korosi merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam perancangan suatu konstruksi. Beberapa poin pengendalian korosi yang harus diperhatikan dalam suatu perancangan antara lain :

1) Kemungkinan umur struktur akan bertahan

Umur suatu komponen atau struktur harus dibandingkan dengan umur sistem pengendalian korosi.

2) Lingkungan yang selalu berubah

Perubahan kondisi lingkungan perlu diidentifikasi sejak tahap perancangan suatu konstruksi terhadap dampak korosi yang akan menyerang.

3) Hindarkan semua sel korosi dwilogam yang tidak perlu

4) Hindarkan sel aerasi differensial (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 204-211)

b. Pengendalian korosi melalui perubahan lingkungan

Pengubahan lingkungan mengupayakan agar lingkungan tidak agresif sehingga tidak menimbulkan dampak korosi yang hebat. Terdapat tiga situasi pengendalian korosi melalui perubahan lingkungan :

1) Udara dengan rentang temperatur  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $+30^{\circ}\text{C}$  dapat dilakukan dengan cara menurunkan kelembapan relatif, menghilangkan komponen yang mudah menguap, mengubah temperatur dan menghilangkan kotoran, endapan dan ion-ion agresif.

- 2) Modifikasi elektrolit dengan cara menurunkan konduktivitas ionik, mengubah pH, secara homogen mengurangi kandungan oksigen dan mengubah temperatur.
- 3) Logam terkubur dalam tanah dan mineral yang terlarut dengan cara proteksi katodik (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 227).

c. Pengendalian korosi dengan lapisan penghalang

Lapisan penghalang yang diaplikasikan ke permukaan logam akan menghalangi kontak antara logam dengan lingkungan. Hal ini dapat mencegah terjadinya korosi pada logam tersebut. Lapisan penghalang yang dimaksud antara lain :

1) Pelapisan dengan cat

Cat memiliki komposisi wahana, pigmen dan aditif. Wahana berfungsi sebagai zat cair yang jika mengering atau menguap meninggalkan selaput pada permukaan yang dicat. Pigmen berfungsi sebagai pengendali korosi dan difusi rekatan-rekatan pada selaput kering padat. Aditif berfungsi mempercepat proses pengeringan dan tahap terhadap lingkungan. Saat cat mengering sisa bagian wahana akan mengikat pigmen dan membuat suatu lapisan pada permukaan benda yang dicat. Pigmen berperan mengendalikan proses korosi dengan cara menghalangi reaksi. Selain itu pigmen yang lembam menambah panjang lintasan difusi yang harus ditempuh oleh oksigen dan butir-butir air yang mencoba menembus selaput. Sehingga

memperlambat laju reaksi korosi (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 249-250).

2) Pelapisan dengan plastik

Pelapisan dengan plastik biasanya diaplikasikan pada logam yang relatif murah dengan memadukan sifat mekanik logam korosif tersebut dengan sifat plastik yang anti korosif (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 265).

3) Pelapisan dengan beton

Beton banyak digunakan pada industri konstruksi. Lingkungan basa yang terdapat pada beton menghalangi korosi terhadap baja dengan memproduksi selaput pasif pada permukaan logam (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 267).

4) Pelapisan dengan logam

Lapisan metalik merupakan penghalang yang sinambung antara permukaan logam dengan lingkungan sekeliling. Sifat logam pelapis yaitu logam pelapis tidak memicu terjadinya korosi, harus lebih tahan korosi daripada logam yang dilapisi, memiliki sifat fisik logam yang baik, menggunakan metode pelapisan tertentu sesuai dengan proses fabrikasi dan tebal lapisan harus merata dan bebas dari pori-pori (Trethewey dan Chamberlain, 1991: 269-270).

d. Proteksi katodik dan anodik

Proteksi katodik merupakan metoda pengendalian struktur baja dalam lingkungan elektrolit dengan cara memperlakukan struktur logam

sebagai katoda. Metoda ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antara muka logam dan elektrolit turun menuju / mencapai daerah imunnya atau sampai nilai tertentu sehingga korosi logam masih diperbolehkan / minimum. Sumber arus listrik dapat diperoleh melalui dua cara. Pertama listrik searah diperoleh dari sumber luar disebut metoda arus yang dipaksakan. Kedua arus listrik searah diperoleh dari reaksi galvanik disebut metoda anoda tumbal (Utami, 2009).

e. Pengendalian korosi menggunakan zat inhibitor

Inhibitor korosi merupakan senyawa yang ditambahkan dalam konsentrasi yang sedikit ke dalam lingkungan akan menghambat korosi. Pemilihan inhibitor diambil berdasarkan logam yang digunakan. Secara garis besar inhibitor berperan sebagai pengkondisi lingkungan atau sebagai inhibitor antar muka. Inhibitor menurunkan laju korosi dengan beberapa cara yaitu meningkatkan polarisasi anoda atau katoda, mengurangi perpindahan atau difusi ion pada permukaan logam dan meningkatkan ketahanan elektrik permukaan logam (Gapsari, 2017: 169-171).

## **2.2.7 Inhibitor Korosi**

### **a. Pengertian Inhibitor**

Inhibitor merupakan zat kimia yang ditambahkan ke dalam suatu sistem yang bersifat korosif untuk mengurangi laju korosi (Atmadja, 2010:10). Fontana (dalam Wibowo dan Iman, 2011:11) menjelaskan bahwa sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara modifikasi polarisasi

katodik dan anodik, mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam, menambah hambatan listrik pada permukaan logam dan menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa tidak agresif.

### **b. Klasifikasi Inhibitor**

Atmadja (2010: 10) menyatakan bahwa terdapat beberapa jenis zat inhibitor, antara lain :

#### 1) Passivating inhibitor

Jenis inhibitor yang paling baik dari jenis inhibitor yang lain, sebab mampu mengurangi korosi secara menyeluruh pada suatu material. Namun memiliki kelemahan karena berbahaya. Bahaya yang dapat terjadi yaitu pada saat tertentu dapat mempercepat korosi (Atmadja, 2010: 10).

#### 2) Inhibitor zat katodik

Jenis inhibitor ini merupakan zat-zat yang dapat mengurangi terjadinya reaksi di katoda. Tidak membahayakan logam namun kurang efektif dalam mencegah terjadinya korosi. Inhibitor ini bekerja dengan mempolarisasi reaksi katodik. Memengaruhi kedua reaksi katodik yang biasa. Dalam reaksi pertama :  $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$  Inhibitor ini bereaksi dengan ion hidroksil dan menghasikan endapan senyawa yang tidak dapat larut ke permukaan katoda, tetapi menempel pada katoda

sehingga melindungi katoda dari elektrolit serta mencegah masuknya oksigen masuk ke katoda (Atmadja, 2010: 10).

3) Inhibitor anodik

Inihibitor ini mengadsorpsi bagian anodik sehingga mencegah terjadinya korosi pada anodik. Inihibitor ini sangat efisien untuk menghambat terjadinya korosi di anoda tetapi berbahaya jika anoda tidak seluruhnya terlindungi oleh inhibitor karena akan memperluas daerah katoda. Zat yang termasuk pada inhibitor anodik yaitu NaOH,  $\text{PO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$  (Atmadja, 2010: 10).

4) Inhibitor adsorpsi

Kelompok zat organik dan koloid-koloid yang dapat membentuk lapisan film pada permukaan logam (Atmadja, 2010: 10).

5) Inhibitor organik

Senyawa organik yang dapat mencegah terjadinya korosi namun tidak memiliki sifat anodik maupun katodik (Atmadja, 2010: 10).

### c. Prinsip Inhibitor

Shreir (1976) mengemukakan beberapa prinsip inhibitor, yaitu :

1) Sifat Logam

Inhibitor memiliki sifat spesifik dalam menghambat korosi pada logam. Inhibitor dapat menghambat terjadinya korosi pada tertentu dengan baik, tetapi tidak memberikan efek apapun pada logam lainnya bahkan dapat bersifat merusak logam lainnya. Misalnya anion yang dapat memberikan efek buruk pada logam tertentu tetapi justru dapat

mencegah korosi pada pada logam lainnya. Contohnya nitrat mengganggu proses penghambatan korosi oleh benzoat, kromat, nitrit terhadap baja ringan. Tetapi nitrat dapat ditambahkan sebagai zat penghambat pada formula antibeku sehingga menghambat korosi untuk paduan aluminium (Shreir, 1976: 18:13-14).

2) Logam yang berbeda dalam sistem yang sama

Inhibitor dapat menghambat korosi pada sistem yang memiliki logam yang berbeda didalamnya. Solusinya dengan menambahkan konsentrasi zat inhibitor sesuai dengan porsi yang sesuai (Shreir, 1976: 18:14).

3) Sifat permukaan logam

Inhibitor dengan konsentrasi yang rendah dapat ditambahkan untuk mencegah terjadinya korosi pada permukaan logam yang bersih dan halus. Namun jika permukaan logam kotor dan kasar membutuhkan konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi. Kotoran pada permukaan logam seperti minyak, lemak dan korosi perlu dibersihkan terlebih dahulu secara mekanis ataupun dengan bantuan zat kimia. Dengan begitu pencegahan korosi menggunakan zat inhibitor lebih optimal (Shreir, 1976: 18:14)..

4) Sifat lingkungan

Lingkungan air atau larutan berair mempengaruhi kerja inhibitor. Tetapi inhibitor juga dapat diperlukan pada lingkungan yang tidak berair (Shreir, 1976: 18:14-15).

#### 5) Komposisi lingkungan cair

Lingkungan air atau larutan berair memiliki kandungan atau komposisi ion bervariasi yang dapat mempengaruhi kinerja inhibitor. Contohnya klorida dan sulfat memiliki ion agresif yang dapat menghambat kinerja inhibitor pada sistem air yang bersifat mendekati netral. Hal serupa juga dimiliki oleh ion halida, sulfida dan nitrat. Keberadaan ion agresif ini mempengaruhi konsentrasi inhibitor. Namun meskipun ion halida agresif dalam larutan netral tetapi dapat digunakan untuk meningkatkan aksi inhibitor dalam korosi asam (Shreir, 1976: 18:15).

#### 6) PH sistem

Inhibitor bekerja dengan baik pada kondisi pH larutan yang berbeda. Sebagian besar inhibitor efektif bekerja pada kondisi larutan yang bersifat mendekati netral. Nitrit kurang baik jika digunakan dibawah pH 5,5 – 0,6 sedangkan polifosfat harus digunakan pada pH 6,5 – 7,5. Lain halnya dengan kromat meskipun tidak begitu terpengaruh terhadap perubahan pH tetapi umum digunakan pada pH 8,5 (Shreir, 1976: 18:16).

#### 7) Suhu sistem

Pada suhu yang tinggi konsentrasi inhibitor juga perlu ditingkatkan untuk mengoptimalkan kinerja inhibitor. Tetapi beberapa inhibitor kurang optimal pada suhu tinggi (Shreir, 1976: 18:15).

#### 8) Konsentrasi inhibitor

Inhibitor bekerja dengan baik jika berada di atas batas konsentrasi minimum tertentu. Pada awal penambahan zat inhibitor ke dalam sistem air akan mengalami penurunan konsentrasi secara drastis. Zat inhibitor akan bereaksi dengan kontaminan dalam sistem dan menempel pada logam membentuk lapisan film pelindung. Konsentrasi zat inhibitor perlu ditambahkan supaya bekerja secara maksimal (Shreir, 1976: 18:16).

9) Efek mekanis

Inhibitor dipengaruhi oleh efek mekanik misalnya tekanan, kelelahan dan efek kavitasi (Shreir, 1976: 18:17).

10) Aerasi dan gerakan cairan

Sebagian besar inhibitor sistem air mendekati netral memerlukan oksigen terlarut yang cukup agar bekerja dengan baik (Shreir, 1976: 18:17).

11) Adanya celah dan lubang

Inhibitor dapat terganggu dalam proses pencegahan korosi apabila terdapat celah dan lubang pada permukaan logam (Shreir, 1976: 18:17).

12) Efek mikro organisme

Terdapat tiga efek utama mikroorganisme yang terdapat dalam larutan air yaitu pengaruh bakteri pada korosi logam yang disebabkan oleh bakteri pereduksi sulfat dalam kation anaerob atau thiobacillus dan ferrobacillus, menambah jumlah korosi pada logam, akumulasi jamur

floculent dapat menghambat aliran dan kerusakan air serta menimbulkan berkurangnya inhibitor karena serangan bakteri (Shreir, 1976: 18:17).

13) Pembentukan skala

Penggunaan polifosfat dan silikat dapat menimbulkan pembentukan skala. Pengendapan skala yang berlebih akan menghalangi proses perlindungan inhibitor terhadap logam, menggabunginya inhibitor dengan skala serta mengurangi perpindahan panas pada sistem pendingin (Shreir, 1976: 18:18).

14) Toksisitas, masalah pembuangan dan limbah cair

Inhibitor dengan bahan kimia perlu dibatasi dalam penggunaannya sebagai upaya mengurangi pencemaran lingkungan (Shreir, 1976: 18:18).

15) Pertimbangan lainnya

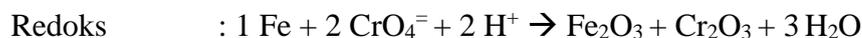
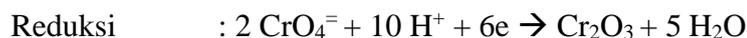
Terdapat pertimbangan lain yang dapat mempengaruhi kinerja inhibitor contohnya pada teknologi produksi minyak (Shreir, 1976: 18:18).

### 2.2.9 Inhibitor $\text{Na}_2\text{CrO}_4$

*National Center for Biotechnology Information* (2005) menjelaskan natrium kromat merupakan senyawa anorganik dengan rumus  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  berbentuk padatan kuning. Nama lain senyawa ini yaitu sodium kromat, *chromium sodium oxide*, *sodium chromate(VI)*. Massa molar 161,97 g/mol, kepadatan 2,7 g/cm<sup>3</sup> dan titik lebur 762° C. Natrium kromat biasa digunakan

untuk membuat pigmen untuk cat dan tinta, bahan kimia lainnya, dan sebagai pengawet kayu. Zhang (2010) mengemukakan bahwa natrium kromat diperoleh melalui penambahan  $\text{NaNO}_3$  pada proses dekomposisi bijih kromit dalam  $\text{NaOH}$  cair. Reaksi yang terjadi  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{NaNO}_3 + 4\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 3\text{NaNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Hasil dari reaksi tersebut menghasilkan cairan  $2 \text{Na}_2\text{CrO}_4 + 3\text{NaNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Cairan tersebut disaring sehingga menghasilkan kristal atau serbuk  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ .

Inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  bekerja dengan cara memasifkan anoda. Atmadja (2010: 10) mengemukakan bahwa inhibitor yang bersifat memasifkan merupakan jenis inhibitor yang efektif karena dapat menghambat permukaan logam secara menyeluruh, namun dalam kondisi tertentu bisa berbahaya jika terjadi kesalahan. Dalimunthe (2004) menjelaskan reaksi antara  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  dengan logam besi menghasilkan endapan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Endapan ini menempel pada permukaan logam dan berfungsi untuk melindungi logam dari serangan korosi.



Konsentrasi efektif inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  menurut Widharto (1999) adalah inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  yang diperlukan sebagai inhibitor Fe, Cu, dan Zn dalam lingkungan air dan pendingin sebesar 0,1 %. Selain itu konsentrasi inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  yang diperlukan sebagai inhibitor Fe, Pb, Cu, dan Zn dalam lingkungan air pendingin mesin sebesar 0,1 – 1%.

Tabel 2.3 Konsentrasi efektif inhibitor (Widharto, 1999)

Sistem	Inhibitor	Logam yang dilindungi	Konsentrasi
Air dan Pendingin	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Baja, besi tuang, dll	10 ppm
	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Fe, Zn, Cu	0,1 %
	NaNO <sub>2</sub>	Fe	0,05 %
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Fe	1 %
	Morpholine	Fe	0,2 %
Air pendingin mesin	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Fe, Pb, Cu, Zn	0,1 – 1 %
	NaNO <sub>2</sub>	Fe	0,1 – 1 %
	Boraks	Fe	1 %

Dalimunthe (2004) mengemukakan konsentrasi efektif inhibitor sebagai berikut

:

Tabel 2.4 Konsentrasi efektif inhibitor (Dalimunthe, 2004)

Logam	Lingkungan	Inhibitor
Al	HNO <sub>3</sub>	Alkali, kromat 0,1 %
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Alkali, kromat 0,1 %
	H <sub>2</sub> PO 20 %	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 0,5 %
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> pekat	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 5 %
	Etanol panas	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
	NaCl 3-5 %	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 1 %
	Na-trikloroasetat	Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 0,5 %
	Tetrahirofur, alk	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 0,3 %
Cu	Tetrahirofur, alk	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 0,3 %
Baja	Na-trikloroasetat 50%	Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 0,5 %
	Tetrahirofur, alk	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 0,3 %

Supardi (1997) mengemukakan penggunaan inhibitor kromat sebagai berikut :

- a. 0,01% Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> untuk pipa dari baja
- b. 1,5% Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> untuk air garam yang memiliki sanilitas tinggi
- c. 0,2% Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> untuk radiator mobil
- d. 0,1% Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> untuk aluminium
- e. 1 lb/160.000 galon Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> untuk pipa minyak
- f. 0,005% K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> untuk lingkungan HNO<sub>3</sub> 2%

- g. 1%  $K_2Cr_2O_7$  untuk lingkungan  $HNO_3$  20%
- h. 2,3 g/l  $Na_2CrO_4$  untuk sabunga galvanik Cu, Zn dan Fe
- i. 2,4 g/l  $Na_2CrO_4$  untuk sambungan galvanik Fe dan Al
- j. 1%  $Na_2CrO_4$  + 40 ppm natrium metasilikat untuk Al dan Cu

Artika, dkk (2017) melakukan penelitian kajian inhibisi  $Na_2CrO_4$  terhadap laju korosi baja karbon NS 1045 pada media  $H_2SO_4$ . Konsentrasi inhibitor  $Na_2CrO_4$  divariasikan sejumlah 0%, 0,2%, 0,4% dan 0,6%. Baja karbon direndam selama 15 jam dan 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan inhibitor  $Na_2CrO_4$  mampu menurunkan laju korosi baja karbon. Gupta et. all (2017) melakukan penelitian penambahan inhibitor  $Na_2CrO_4$  pada aluminium dalam larutan NaCl. Menggunakan metode pengujian *cyclic potentiodynamic polarization, immersion tests* dan *x-ray photoelectron spectroscopy*. Konsentrasi inhibitor pada penelitian ini bervariasi yaitu 0,5%, 1%, 5% dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi  $Na_2CrO_4$  maka akan meningkatkan ketahanan korosi. Namun pada konsentrasi 20%  $Na_2CrO_4$  terjadi penurunan ketahanan korosi material.

#### **2.2.10 Air Murni / Aquades**

Air murni atau aquades adalah air hasil penyulingan yang bebas dari zat-zat pengotor. Ciri-ciri air murni atau aquades yaitu berwarna bening, tidak berbau dan tidak berasa. Air murni atau aquades biasa digunakan dalam laboratorium untuk membersihkan alat-alat laboratorium dan sebagai pelarut (Adani dan Pujiastuti, 2017). Air murni merupakan elektrolit yang sangat lemah sehingga memungkinkan dilakukan elektrolisis untuk dipecah menjadi gas

hidrogen dan oksigen. Elektrolisis air murni berjalan lambat maka perlu penambahan zat yang bersifat elektrolit, modifikasi elektroda serta menaikkan temperatur sistem. Temperatur yang tinggi dapat mempercepat proses penguraian gas hidrogen dan oksigen pada air murni atau aquades .

### 2.2.11 Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan untuk mengetahui nilai laju korosi suatu bahan. Gapsari (2016: 123-131) menyatakan bahwa terdapat tiga metode pengukuran laju korosi yaitu perhitungan laju korosi metode kehilangan berat, metode polarisasi potensiodinamik dan metode *electroscopy impedance spectroscopy (EIS)*. Schweitzer (2004: 185-187) menyatakan bahwa pengujian perhitungan laju korosi metode kehilangan berat menggunakan spesimen yang dibentuk dengan ukuran tertentu. Spesimen digunakan dalam proses penelitian untuk mengetahui nilai laju korosi dan jenis korosi misalnya korosi galvanik, korosi celah, korosi sumuran dll. Sebelum pengujian spesimen diampelas kemudian dibersihkan menggunakan bahan kimia dan dikeringkan di dalam oven untuk menghilangkan kotoran dan lemak yang menempel pada permukaan spesimen. Selanjutnya spesimen ditimbang berat awalnya ( $W_0$ ). Kemudian spesimen direndam dalam larutan elektrolit selama kurun waktu tertentu. Setelah perendaman spesimen diangkat dan dibersihkan lalu dikeringkan. Kemudian spesimen ditimbang berat akhir ( $W_1$ ). Laju korosi dihitung standar (ASTM G 31-72, 1999) untuk menghitung laju korosi:

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} = \dots (\text{mmpy})$$

Keterangan :

CR	= Laju Korosi (mmpy)
K	= konstanta ( $8,76 \times 10^4$ )
W	= pengurangan berat (g) = $W_0 - W_1$ = berat awal – berat akhir
D	= <i>Density specimen</i> ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
A	= Luas permukaan ( $\text{mm}^2$ )
T	= Waktu (jam).

Tabel 2.5 Nilai konstanta laju korosi (ASTM G 31-72, 1999)

Satuan laju korosi	Konstanta laju korosi
<i>Mils per year</i> (mpy)	$3,45 \times 10^6$
<i>Inches per year</i> (ipy)	$3,45 \times 10^3$
<i>Inches per mounth</i> (ipm)	$2,87 \times 10^2$
<i>Milimetres per year</i> (mmpy)	$8,76 \times 10^4$
<i>Micometres per year</i> (umpy)	$8,76 \times 10^7$
<i>Picometres per second</i> (pmps)	$2,78 \times 10^6$
<i>Grams per square meter per hour</i> ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ )	$1,00 \times 10^4 \times D$
<i>Miligrams per square decimeter per day</i> (mdd)	$2,40 \times 10^6 \times D$
<i>Micrograms per square meter per second</i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ )	$2,78 \times 10^6 \times D$

### 2.2.12 Uji Foto Mikro

Uji foto mikro dilakukan untuk mengamati struktur mikro permukaan suatu material menggunakan alat mikroskop optik atau *scanning electron microscope (SEM)*. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui hubungan sifat suatu material dengan struktur dan kerusakan atau cacat suatu material, memprediksi sifat material jika sudah mendapat data berdasarkan hasil foto mikro. Ajiriyanto dkk., (2017) melakukan pengujian mikrostruktur permukaan

paduan zirlo-Mo yang telah terkorosi menggunakan mikroskop optik. Hasil dari pengujian tersebut menunjukkan paduan zirlo-Mo terserang korosi batas butir dan memiliki struktur *lath martensite*. Perubahan struktur dari fasa  $\beta$  ke fasa  $\alpha$  menghasilkan dua struktur yaitu struktur *martensit* dan *widmanstatten*. Budianto dkk., (2009) menjelaskan bahwa secara umum tahapan pengujian foto mikro yaitu :

a. Tahap pembentukan spesimen

Spesimen dibentuk dengan cara dipotong menggunakan gergaji.

b. Tahap pemolesan

Pemolesan dengan kertas *abrasive* atau amplas 240 sampai dengan 1000. Spesimen yang telah diampas kemudian dipoles kembali menggunakan alat *polishing* dan cairan autosol supaya hasilnya bersih dan mengkilap.

c. Tahap pengetsaan

Proses pengetsaan bertujuan agar struktur benda uji dapat terlihat dengan jelas.

d. Tahap pengamatan struktur mikro

Pengamatan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui fenomena korosi yang terjadi pada permukaan benda uji.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Simpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil penelitian ini yaitu :

- 1) Inhibitor natrium kromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) dapat menurunkan laju korosi komponen radiator aluminium mobil. Berdasarkan dari hasil penelitian yang menunjukkan nilai laju korosi aluminium dalam lingkungan aquades tanpa inhibitor sebesar 0,0084 mmpy. Sementara itu laju korosi aluminium mengalami penurunan seiring penambahan inhibitor natrium kromat (0,3% sebesar 0,0053 mmpy, 0,5% sebesar 0,0051 mmpy dan 0,7% sebesar 0,0043 mmpy). Dengan demikian penggunaan inhibitor natrium kromat dapat memperpanjang umur / waktu pemakaian radiator aluminium.
- 2) Jenis korosi yang terjadi ada penelitian ini adalah korosi sumuran.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian terdapat saran yang perlu dilakukan yaitu :

- 1) Pengendalian korosi menggunakan zat inhibitor natrium kromat dalam lingkungan aquades sebesar 0,3%, 0,5% dan 0,7% menunjukkan adanya penurunan laju korosi. Penurunan optimum laju korosi penelitian ini pada konsentrasi inhibitor 0,7% sebesar 0,0043 mmpy. Oleh karena itu sebaiknya penggunaan inhibitor natrium kromat ditambahkan pada air pendingin sistem pendingin mesin dengan konsentrasi sebesar 0,7%.

- 2) Penelitian ini memiliki kelemahan berupa keterbatasan alat untuk digunakan pada suhu tinggi  $80^{\circ}\text{C}$  -  $90^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena itu penelitian laju korosi pada komponen radiator mobil selanjutnya menggunakan alat uji yang lebih baik. Terutama dari sisi kekuatan bahan yang akan dipakai untuk membuat alat uji. Supaya alat uji tidak mengalami gangguan kebocoran dan dapat bekerja dengan maksimal pada suhu tinggi.
- 3) Larutan yang digunakan untuk menguji korosi sebaiknya menggunakan *water coolant* atau zat kimia yang bersifat korosif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adani, S. I., & Pujiastuti, Y. A. (2017). Pengaruh Suhu dan Waktu Operasi pada Proses Destilasi untuk Pengolahan Aquades Di Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. *Jurnal Chemerugy* 1(1): 31-35.
- Afriani S., F., Komalasari, & Zultiniar. (2014). Proteksi Katodik Metoda Anoda Tumbal untuk Mengendalikan Laju Korosi. *Jom Fteknik* 1(2): 1-12.
- Ajiriyanto, M. K., Anggraini, D., & Kriswarini, R. (2017). Analisis Korosi Paduan Zirlo-Mo dalam Media NaCl Menggunakan Metode Polarisasi. *Uraina* 23(3): 183-194.
- Alaneme, K. A., & Olusegun, S. J. (2012). Corrosion Inhibition Performance of Lignin Extract of Sun Flower (*Tithonia Diversifolia*) on Medium Carbon Low Alloy Steel Immersed in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solution. *Leonardo Journal of Sciences* (20): 59-70.
- Ameer, M., Ghoneim, A., & Fekry, A. (2012). Electrochemical Corrosion Inhibition of Al-Si Alloy in Phosporic Acid. *International Journal Of Electrochemical Science* 7(5) 4418-4431.
- Artika, K. D., Ilminnafik, N., & Junus, S. (2012). Kajian Daya Inhibisi Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> Terhadap Laju Korosi Baja Karbon NS 1045 pada Media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Jurnal Teknologi dan Industri* 2(1): 63-69.
- ASTM G 31-72. 1999. *Standard Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing of Mestals*. West Conshohocken: Association of Standard Testing Materials.
- Atmadja, S. T. (2010). Pengendalian Korosi pada Sistem Pendingin Menggunakan Penambahan Zat Inhibitor. *Rotasi* 12(2): 7-13.
- Budianto, A., Purwantini, K., & Sujitno, B. T. (2009). Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi Antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan. *JSN* 3(2): 107-130.
- Dalimunthe, I. S. (2004). *Repository*. Diambil dari Perpustakaan Universitas Sumatera Utara: <http://library.usu.ac.id>
- Daryanto. (2004). *Pemeliharaan Sistem Pendinginan dan Pelumasan Mobil*. Bandung: Yrama Widya.
- Fitri, Ginting, E., & Karo, P. K. (2013). Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Holding Time dan Sifat Ketangguhan Baja Karbon Medium pada Suhu 780 C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* 1(1): 75-78.

- Gapsari, F. (2017). *Pengantar Korosi*. Malang: UB Press.
- Gioneni, P., Vinay, G., & Babu, G. S. (2013). Cooling Systems in Automobiles & Cars. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* 4(2): 688-695.
- Groysman, A. (2010). *Corrosion For Everybody*. New York: Springer.
- Gupta, R., Mirza, F., Khan, M., & Esquivel, J. (2017). Aluminum containing Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>: Inhibitor release on demand. *Materials Letters* 205, 194-197.
- Hikmat, N., Farhan, A., & Anae, R. (2015). Sodium Chromate as Inhibitor for Al and Its Alloy at pH = 11. *Journal Of Applied Chemical Science International* 2(3): 106-114.
- Kristanto, P. (2015). *Motor Bakar Torak Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Komalasari, & Zultiniar. (2014). Inhibitor Polifosfat Untuk Mengendalikan Korosi Pada Pipa Sistem Pendistribusian Air. *Jurnal Sains dan Teknologi* 13(1): 10-15.
- Legiman, & Sulaiman, F. (2014). Perawatan dan Perbaikan Sistem Pendingin Mesin Mitsubishi Galant 2500 cc. *Jurnal Teknovasi* 1(1): 26-34.
- Lestari, W., & Harini. (2017). Analisa Pengaruh Sistem Pendingin Terhadap Mesin Bensin Xenia Tipe XI 1300 cc 4 Silinder 16 Valve (K3 DE DOHC). *Jurnal Kajian Teknik Mesin* 2(1): 52-60.
- Mandala, M., Siradj, E. S., & Djamil, S. (2016). Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Aluminium (Al-Si) pada Proses Pengecoran Menggunakan Cetakan logam, Cetakan Pasir dan Cetakan Castable. *Poros* 14(2): 88-98.
- Marlina. (2016). Analisa Korosi dengan Menggunakan Anoda Zn, Fe dan Cu dalam Sistem Proteksi Katodik Metode Impressed Current. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil* 4(3): 22-28.
- Masrukan, B, F., & Chaerul. (2009). Pemeriksaan Mikrostruktur, Komposisi Kimia dan Kekerasan Hasil Pengelasan Paduan Al-6061. *Uraina* 15(1), 1-10.
- Masyrukan. (2010). Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Aluminium (Al) Paduan Daur Ulang dengan Menggunakan Cetakan Logam dan Cetakan Pasir. *Media Mesin* 11(1): 1-7.
- Narbuko, C., & Achmadi, A. (2013). *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Bumi Aksara.
- National Center for Biotechnology Information (2005). Sodium Chromate. Diambil kembali dari *Pubchem*: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-chromate>.

- Neolaka, A. (2014). *Metode Penelitian dan Statistik*. Jakarta: PT Remaja Rosdakarya Offset.
- Saifudin, Munahar, S., & Khusaeni, D. A. (2016). Perilaku Inhibitor Korosi pada Radiator. *Jurnal Teknik Mesin Untirta* 2(2) 1-6.
- Sari, A. K. (2017). Studi Karakterisasi Laju Korosi Logam Aluminium dan Pelapisan dengan Menggunakan Membran Sellulosa Asetat. *Jurnal Teknik Mesin* 6(1), 36-40.
- Schweitzer, P. A. (2004). *Encyclopedia Of Corrosion Technology*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Sholihah, F. M. (2016). Teknik Kalibrasi Timbangan Elektronik Menggunakan Metode CSIRO. *Jurnal Ilmiah Teknosains* 2(2): 126-130.
- Shreir, L. (1976). *Corrosion Volume 2 Corrosion Control*. London: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Simamora, D. f., Sappu, F. P., & Ulaan, T. Y. (2015). Analisis Efektivitas Radiator pada Mesin Toyota Kijang Tipe 5K. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin* 4(2), 138-142.
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: CV Alfabeta.
- Supardi, R. (1997). *Korosi*. Bandung: Tarsito.
- Surjadi, E. (2016). Pengaruh Penggunaan Radiator pada Sistem Pendingin Motor Diesel Stasioner Satu Silinder Terhadap Laju Kenaikan Suhu Air Pendingin. *Jurnal Autindo* 1(3): 1-5.
- Thretewey, K. R., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Utami, I. (2009). Proteksi Katodik dengan Anoda Tumbal sebagai Pengendalian Laju Korosi Baja dalam Lingkungan Aqueous. *Jurnal Teknik Kimia* 3(2): 240-245.
- Utomo, B. (2009). Jenis Korosi dan Penanggulungannya. *Kapal* 6(2): 138-141.
- Vliet, G. V., & Both, W. (1983). *Teknologi untuk Bangunan Mesin Bahan Bahan* 1. Jakarta: Erlangga.
- Wang, X., Wang, F., & Yang, H. (2011). An investigation of benzimidazole derivative as corrosion inhibitor for mild steel in different concentration HCl solutions. *Corrosion Science* 53(1): 113-121.

- Wibowo, W., & Iman, M. N. (2011). Studi Eksperimental Pengendalian Korosi pada Aluminium 2024-T3 di Lingkungan Air Laut Melalui Penambahan Inhibitor Kalium Kromat ( $K_2CrO_4$ ). *Jurnal Rekayasa Proses* 5(1): 10-16.
- Widharto, S. (1999). *Karat dan Pencegahannya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zhang, Y., Zheng, S., Xu, H., Du, H., & Zhang, Y. (2010). Phase Equilibria in the NaOH-NaNO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O System. *Journal of Chemical & Engineering Data* 55(9): 3029-3031.
- Zuchry M, M., & Iman, M. N. (2015). Studi Komparasi Inhibitor Kromat ( $CrO_4$ ), Molybdat ( $MoO_4$ ) dan Nitrat ( $NO_3$ ) Terhadap Laju Korosi Material Pesawat AA 7050 dalam Media NaCl 3,5%. *Mekanika* 14(1): 36-42.