TUGAS AKHIR

OPTIMASI PENGHAMBATAN KOROSI PADA SISTEM PENDINGIN MESIN DENGAN RADIATOR MELALUI PENAMBAHAN NATRIUM KROMAT

DISUSUN OLEH :

MUHAMMAD ALWI MUJAB (21.0503.0012)

ANDRI HERLAMBANG (21.0503.0003)

PROGRAM STUDI D3 MESIN OTOMOTIF

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG

2024

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

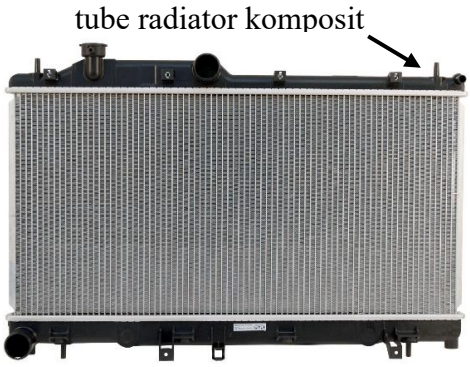
Sebagian besar bahan logam yang digunakan dalam teknik cenderung mengalami korosi di lingkungan atmosfer. Proses fisikokimia dan elektrokimia antara bahan-bahan tersebut dengan lingkungan sekitarnya menyebabkan perlahan-lahan rusaknya produk hingga kehilangan sifat mekanik dan fungsionalnya secara keseluruhan. Kerusakan akibat korosi tidak hanya mengurangi daya tahan produk, tetapi juga mengancam keamanan perangkat dan struktur yang terpengaruh. Secara ekonomi dan sosial, korosi menjadi masalah serius yang mempengaruhi ekonomi global, menyebabkan biaya besar untuk mengganti infrastruktur, mesin, dan komponen yang terkena dampak, serta untuk menggunakan bahan tahan korosi dan metode perlindungan yang mahal (Kania, 2023). Menurut laporan NACE International tahun 2016, kerugian global akibat korosi mencapai sekitar 2,5 triliun USD per tahun, setara dengan sekitar 3,4% dari Produk Domestik Bruto (PDB) global pada tahun 2013. Organisasi ini juga mengungkapkan bahwa dengan penerapan yang tepat dari teknik pengendalian korosi yang ada, kerugian ini dapat dikurangi sebesar 15% hingga 35%, memberikan potensi penghematan global mencapai 375 hingga 875 miliar USD per tahun (Koch, 2017). Perlindungan yang efektif terhadap korosi tidak hanya memerlukan penggunaan metode perlindungan yang sudah ada, tetapi juga penelitian lanjutan untuk mengembangkan teknologi baru yang lebih tahan lama dan efisien biaya. Oleh karena itu, korosi dan upaya untuk melawannya merupakan tantangan global penting yang mempengaruhi berbagai sektor industri dan infrastruktur, serta memerlukan pendekatan holistik untuk mengurangi dampaknya secara signifikan (Kania, 2023).

Pada awalnya, radiator mobil terbuat dari logam, khususnya alumunium dan baja. Meskipun cukup efektif dalam mengalirkan panas, namun terdapat kelemahan dalam hal korosi. Seiring perkembangan teknologi alumunium menjadi bahan yang lebih umum digunakan untuk pembuatan radiator

(Legiman & Sulaiman, 2014). Alumunium lebih ringan, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas panas yang baik, sehingga membuat radiator lebih efisien dan dapat menghemat bahan bakar (Darmawan, 2016). Hingga sekarang inovasi terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja radiator. Salah satu perkembangan signifikan adalah penggunaan bahan komposit, terutama bahan plastik yang diperkuat dengan serat seperti fiberglass atau nylon dalam pembuatan upper tank radiator dan lower tank radiator. Bahan komposit ini membantu mengurangi berat total sistem pendingin dan memungkinkan desain yang lebih efisien. Fungsi utama dari radiator adalah menjaga agar panas yang dihasilkan mesin tetap stabil. Melalui aliran fluida pada radiator dan aliran udara, maka panas yang dihasilkan oleh mesin tersebut dapat diredam pada suhu optimal (Ubaidillah, 2008).



Gambar 1.1 Radiator Alumunium
Sumber: www.hadtra.com



Gambar 1.2 Radiator Komposit
Sumber: autoperkakas.blogspot.com

Radiator pada sistem pendingin berpotensi mengalami korosi yang disebabkan oleh reaksi kimia antara logam dan lingkungannya. Korosi adalah proses degradasi / deteriorasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan yang bersifat kemis, fisis, dan biologis (Atmadja, 2010). Korosi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur radiator dan membuatnya menjadi bocor atau rapuh. Ini dapat mengakibatkan kebocoran cairan pendingin yang pada gilirannya dapat menyebabkan overheating mesin. Faktor utama penyebab terjadinya korosi pada radiator yaitu karena pendingin radiator yang digunakan mengandung *ion clorid* yang tinggi. Selain itu pewarna yang

terkandung dalam cairan radiator dapat mengakibatkan timbulnya korosi (Saifudin et al., 2016). Radiator memiliki tiga bagian utama yaitu: inti radiator, upper tank radiator, dan lower tank radiator. Radiator umumnya dibuat dari tembaga, tetapi kebanyakan sekarang inti radiator terbuat dari alumunium, kecuali upper tank radiator dan lower tank radiator yang terbuat dari logam atau plastik (Legiman & Sulaiman, 2014). Korosi yang sering terjadi pada bagian radiator yang terbuat dari logam diantaranya pada *selang house* dan *upper glower tank radiator* (Saifudin et al., 2016). Saat ini pada tangki radiator bagian atas dan bawah terbuat dari komposit untuk mencegah terjadinya korosi. Tetapi pada bagian kisi-kisi radiator *(tube)* terbuat dari alumunium, itu dapat menimbulkan korosi. Korosi tidak dapat dihilangkan tetapi lajunya dapat dikendalikan. Ada tiga cara pengendalian laju korosi yaitu pelapisan permukaan, perlindungan katodik, dan inhibitor (Saifudin et al., 2016).

Saat ini solusi yang ditawarkan dalam mengendalikan laju korosi dalam beberapa penelitian yaitu penambahan inhibitor anorganik maupun inhibitor organik dalam cairan pendingin. Inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam (Indrayani, 2016). Sejauh ini, penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara paling efektif untuk mencegah korosi, karena biaya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan, 2007). Inhibitor anorganik adalah inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Material dasar dari inhibitor anorganik antara lain kromat, nitrit, silikat, dan fospat. Inhibitor anorganik bersifat sebagai inhibitor anodik karena inhibitor ini memiliki gugus aktif, yaitu anion negatif yang berguna untuk mengurangi korosi. Senyawa-senyawa ini juga sangat berguna dalam aplikasi pelapisan anti korosi, tetapi mempunyai kelemahan utama yaitu bersifat toksik (Haryono et al., 2010).

Pada penelitian sebelumnya untuk menurunkan laju korosi pada alumunium dan paduan alumunium digunakan inhibitor natrium kromat (Na_2CrO_4) (Khan & Hadromi, 2020). Penelitian ini menunjukkan bahwa ion kromat bertindak sebagai inhibitor tipe campuran dan sangat baik untuk

menghambat korosi. Penambahan natrium kromat 0,3% - 0,7% telah menurunkan laju korosi dari 0,0084 *mmpy* menjadi 0,0043 *mmpy*. Dengan demikian penggunaan inhibitor natrium kromat dapat memperpanjang umur/waktu pemakaian radiator alumunium. Penelitian sebelumnya memiliki kesamaan dengan penelitian ini yaitu menggunakan zat inhibitor Na_2CrO_4 dan variasi presentasi natrium kromat yang sama yaitu 0,3% - 0,7%, namun larutan yang digunakan untuk menguji korosi berbeda. Penelitian tersebut menggunakan larutan aquades sedangkan penelitian ini menggunakan larutan water coolant. Perbedaan lain terletak pada metode pengujian korosi, penelitian tersebut menggunakan metode kehilangan berat dan perendaman biasa sedangkan metode pengujian korosi penelitian ini menggunakan metode polarisasi potensiodinamik. Penggunaan inhibitor anorganik juga dilakukan untuk menurunkan laju korosi pada pipa baja API 5L grade B yang dipakai di industri minyak terutama pada fluida air injeksi (Iswanto et al., 2019). Pada penelitian ini inhibitor anorganik yang digunakan adalah natrium kromat (Na_2CrO_4) dengan perbandingan laju korosi pada larutan 3,5% NaCl. Parameter inhibitor natrium kromat yang digunakan adalah 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7%, dan 0,9%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan inhibitor natrium kromat berhasil menurunkan laju korosi dengan kondisi maksimal dicapai pada penambahan 0,9% inhibitor. Pada kondisi ini, laju korosi pipa di larutan air injeksi adalah 0,2175 *mpy* dengan efisiensi inhibisi 34,23% dan laju korosi pipa di larutan 3,5% NaCl adalah 0,3218 *mpy* dengan efisiensi inhibisi 35,13%. Selain itu, cairan pendingin yang digunakan untuk campuran inhibitor korosi harus memenuhi beberapa syarat yang penting untuk menjaga kinerjanya dalam melindungi sistem pendingin dari korosi. Syarat cairan pendingin yaitu memiliki titik didih lebih tinggi dari air, tahan terhadap panas, tidak mudah beku, tidak mudah menguap dan tidak mudah mengendap (Saifudin et al., 2016). Namun, pada penelitian ini, penulis ingin menggunakan inhibitor jenis anorganik yaitu natrium kromat dengan variasi presentasi sebagai campuran cairan pendingin untuk mengurangi laju korosi pada radiator khususnya pada bagian kisi-kisi radiator (tube) yang terbuat dari alumunium.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan perbandingan cairan water coolant dan larutan aquades.

B. Rumusan Masalah

Bagaimana cara optimal untuk menghambat korosi pada sistem pendingin mesin dengan menggunakan radiator melalui penambahan Natrium Kromat, dengan mempertimbangkan faktor – faktor seperti efektivitas penghambatan korosi.

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis efektivitas Natrium Kromat dalam menghambat korosi pada sistem pendingin mesin dengan radiator.
2. Untuk menganalisis korosi yang terjadi pada alumunium 6061 di lingkungan aquades dan water coolant.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengoptimalkan penghambatan korosi pada sistem pendingin mesin dapat meningkatkan efisiensi pendinginan, yang dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional.
2. Dengan mengurangi laju korosi pada sistem pendingin mesin, penambahan Natrium Kromat dapat meningkatkan umur pakai komponen sistem, mengurangi frekuensi perawatan dan penggantian, serta mengurangi downtime mesin.
3. Dengan mengurangi risiko korosi, sistem pendingin mesin dapat beroperasi dengan lebih stabil dan dapat diandalkan, mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan yang disebabkan oleh korosi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian yang relevan

Hastuti et al., (2023) melakukan penelitian berjudul perbandingan efisiensi inhibitor organik dan anorganik pada penurunan laju korosi material radiator. Metode yang digunakan yaitu menggunakan material alumunium yang sama dengan material radiator dengan media pengkorosi adalah aquadest. Uji korosi dilakukan dalam aquades tanpa penambahan inhibitor dan dalam aquades yang ditambahkan minyak biji kapas dengan variasi konsentrasi 25%, 30%, 35%. Pada pengujian lain, aquades ditambah dengan Na_2CrO_4 sebagai inhibitor dengan konsentrasi 0,5%, 0,7%, 0,9%. Proses perhitungan laju korosi ini menggunakan nilai dari data penurunan berat pengujian material. Dari hasil pengujian memperlihatkan bahwa laju korosi terendah pada penambahan inhibitor Na_2CrO_4 diperoleh pada konsentrasi 0,9% dengan nilai laju korosi rata-rata 0,0815 *mmpy*. Sedangkan penggunaan minyak biji kapas pada konsentrasi 25% memberikan hasil laju korosi yaitu rata-rata 0,1614 *mmpy*. Efisiensi perlindungan korosi yang diberikan oleh Na_2CrO_4 adalah 62,8% dan minyak biji kapas adalah 27,3%. Jenis korosi pada radiator adalah jenis korosi sumuran. Berdasarkan hasil ini diperoleh bahwa inhibitor anorganik Na_2CrO_4 masih memberikan hasil yang lebih baik daripada inhibitor organik minyak biji kapas.

Hakim et al., (2020) melakukan penelitian dengan judul analisis pengaruh penggunaan inhibitor minyak biji kapas terhadap laju korosi pipa radiator mobil. Benda uji berupa potongan radiator. Spesimen uji komposisi, uji kekerasan dan uji laju korosi menggunakan metode elektrokimia atau metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Dari hasil pengujian didapatkan nilai laju korosi rata-rata untuk spesimen tanpa inhibitor adalah sebesar 0,552 *mmpy*. Nilai laju korosi rata-rata untuk spesimen yang diberi inhibitor organik minyak biji kapas dengan konsentrasi 20% sebesar 0,226 *mmpy*. Terdapat penurunan laju korosi pada spesimen yang diberi inhibitor jika dibandingkan dengan

spesimen tanpa inhibitor. Adapun efisiensi inhibitor minyak kapas sebesar 58,98%.

Khan & Hadromi, (2020) melakukan penelitian berjudul pengaruh inhibitor natrium kromat terhadap laju korosi pada komponen radiator sistem pendingin mobil. Metode yang digunakan adalah eksperimen sungguhan. Pengujian korosi dilakukan dengan merendam spesimen yang berasal dari radiator alumunium. 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 yaitu analisis statistik deskriptif. Hasil penelitian menggunakan inhibitor natrium kromat (Na_2CrO_4) dapat menurunkan laju korosi komponen radiator alumunium mobil. Nilai laju alumunium dalam lingkungan aquades tanpa inhibitor sebesar 0,0084 *mmpy*. Sementara itu laju korosi alumunium 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 atau waktu pemakaian radiator alumunium. Jenis korosi yang terjadi adalah korosi sumuran.

Wang et al., (2020) melakukan penelitian berjudul *Imidazolium Based Ionic Liquid as Efficient Corrosion Inhibitor for AA 6061 Alloy in HCL Solution.* Pada penelitian ini inhibitor yang digunakan yaitu cairan ionik berbasis imidazolium. Benda uji berupa potongan paduan alumunium 6061. Uji korosi dilakukan dengan merendam spesimen dalam larutan HCL. Pengujian korosi dilakukan dengan uji gravimetri, polarisasi potensiodinamik, dan analisis electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Uji foto mikro menggunakan SEM-EDX *(Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray) dan XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)* untuk mendeteksi morfologi dan komposisi kimia dari permukaan paduan alumunium 6061. Hasilnya menunjukkan bahwa cairan ionik ini dapat menghambat korosi pada paduan alumunium 6061 dalam larutan asam dengan

efisiensi penghambatan maksimum sebesar 98,2%, 86,6% dan 41,2% pada temperatur 303 K, 333 K, 363 K.

Iswanto et al., (2019) melakukan penelitian berjudul *Effect of Chromate Inhibitor on the Corrosion Rate of API 5L Grade B Steel Pipe in The Injection Water*. Penelitian ini mencari pengaruh variasi konsentrasi inhibitor natrium kromat terhadap laju korosi pipa API 5L grade B yang dipakai di industri minyak terutama pada fluida air injeksi. Sebagai perbandingan, dilakukan uji laju korosi pada larutan 3,5% NaCl dan pada larutan air injeksi . Benda uji berupa pipa NPS 4 sch 40 diameter luar 4,5 in (114,3 mm) dengan tebal 0,237 in (6,02 mm). Spesimen uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan, uji tarik, dan uji laju korosi. Parameter konsentrasi inhibitor natrium kromat yang digunakan adalah 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7%, dan 0,9%. Penelitian menggunakan alat uji laju korosi dengan metode polarisasi potensiodinamik. Hasil penelitian menunjukkan laju korosi pipa di fluida air injeksi sebesar 0,3307 mpy dan laju korosi pipa di larutan 3,5% NaCl sebesar 0,4960 mpy. Penambahan inhibitor natrium kromat berhasil menurunkan laju korosi. Kondisi maksimal dicapai pada penambahan 0,9% inhibitor. Pada kondisi ini, laju korosi pipa di larutan air injeksi adalah 0,2175 mpy dan laju korosi pipa di larutan 3,5% NaCl adalah 0,3218 mpy.

B. Penjelasan secara teoritis masing-masing variabel penelitian

Variabel dari penelitian yang akan dilakukan ini dibagi menjadi dua yaitu variabel tetap dan variabel bebas.

1. Variabel tetap

   Variabel tetap dari penelitian ini adalah bahan dari kisi-kisi (tube) radiator mobil yaitu alumunium 6061.

2. Variabel bebas

   Sedangkan variabel bebasnya adalah pengembangan inhibitor untuk mengendalikan korosi pada alumunium.

C. Landasan teori

1. Cara kerja sistem pendingin radiator

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 ke radiator untuk didinginkan lagi agar mampu menyerap panas kembali (Sata Tarigan, 2020).

Fluida panas masuk radiator ke upper tank melalui upper house, selanjutnya ke lower tank melalui tube 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 (Sata Tarigan, 2020).

Proses pembuangan panas dari media pendingin (water coolant) terjadi di radiator yaitu pada radiator core. Fluida panas yang mengalir pada tube memindahkan panas dari fluida pendingin (water 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 (Sata Tarigan, 2020).

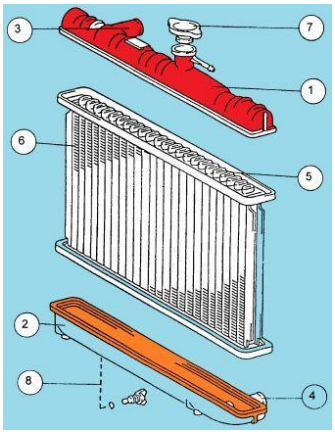
2. Bagian-bagian radiator dan fungsinya

Sistem pendingin radiator pada kendaraan adalah bagian penting dari sistem pendingin mesin yang dirancang untuk menjaga suhu mesin dalam batas yang aman selama operasi. Cara kerja sistem ini melibatkan beberapa komponen utama yaitu:

a. Radiator

Radiator adalah komponen penting dalam sistem pendinginan mesin kendaraan. Fungsi utamanya adalah untuk mengeluarkan panas yang dihasilkan oleh mesin sehingga suhu mesin tetap dalam batas yang aman. Proses pendinginan ini penting untuk menjaga mesin tetap beroperasi

pada suhu optimalnya dan mencegah overheat yang dapat merusak komponen mesin. Adapun komponen – komponen yang terdapat pada radiator bisa dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Radiator

Sumber: my-engin.blogspot.com

Berikut penjelasan 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 dari alumunium dan yang kedua berbahan komposit. Upper tank ini berfungsi sebagai penampung air yang keluar dari head silinder sebelum air masuk kedalam kisi – kisi tube radiator (Sata Tarigan, 2020).

2) Lower tank atau tangki bawah

   Lower tank adalah tangki bagian bawah radiator yang terbuat sama dengan upper tank yaitu alumunium dan komposit. Lower tank ini berfungsi untuk menampung air yang sudah didinginkan dari radiator core dan tempat penampung air yang akan masuk ke blok silinder (Sata Tarigan, 2020).

3) Sambungan upper hose

   Sambungan upper hose berfungsi sebagai saluran masuk air panas dari blok silinder ke dalam radiator (Sata Tarigan, 2020).

4) Sambungan lower hose

Sambungan lower hose radiator berfungsi untuk mengalirkan cairan pendingin dari bagian bawah radiator ke dalam mesin atau pompa air. Ini memungkinkan cairan pendingin yang telah dipanaskan oleh mesin untuk kembali ke radiator untuk didinginkan kembali sebelum sirkulasi kembali ke mesin.

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 (Sata Tarigan, 2020).

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 (Sata Tarigan, 2020).

7) Tutup radiator (radiator cap)

Tutup radiator berfungsi untuk menjaga tekanan, mencegah kebocoran, mengatur aliran cairan, dan menjaga keseimbangan cairan pendingin dalam sistem pendinginan mesin kendaraan. Ini membantu mencegah overheating dan kerusakan pada mesin.

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 (Sata Tarigan, 2020).

b. Tutup Radiator



Gambar 2.2 Tutup Radiator

Sumber: www.gridoto.com

Tutup radiator memiliki beberapa fungsi dalam sistem pendinginan kendaraan. Tutup radiator dirancang untuk mempertahankan tekanan yang tepat di dalam sistem pendinginan. Ini dilakukan dengan menggunakan pegas internal yang menutup secara otomatis saat tekanan mencapai batas tertentu. Tekanan yang dipertahankan oleh tutup radiator membantu meningkatkan titik didih cairan pendingin, sehingga cairan pendingin dapat mencapai suhu yang lebih tinggi sebelum mendidih. Dengan demikian, mesin dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi tanpa resiko overheating. Tutup radiator juga membantu dalam mengatur aliran cairan pendingin. Beberapa tutup radiator dilengkapi dengan mekanisme pengisian ulang otomatis yang memungkinkan cairan pendingin ditambahkan ke dalam sistem saat diperlukan. Ini membantu menjaga keseimbangan cairan pendingin dalam sistem dan memastikan bahwa mesin tetap beroperasi pada suhu yang optimal.

c. Thermostat



Gambar 2.3 Thermostat

Sumber: otomotif.kompas.com

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* dingindalam radiator masuk ke *water jacket* dengan cara menekan vacuum *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 (Sata Tarigan, 2020).

d. Kipas Pendingin



Gambar 2.4 Kipas radiator elektrik

Sumber: fastnlow.net



Gambar 2.5 Kipas radiator konvensional

Sumber: fastnlow.net

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 di belakang 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* (Sata Tarigan, 2020).

e. Tangki Cadangan



Gambar 2.6 Tangki cadangan

Sumber: hsrwheel.com

Tangki cadangan atau *reservoir* berfungsi sebagai penampung cadanganair 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* ke dalam radiator dan akan mengalir kembali ke dalam 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 (Sata Tarigan, 2020).

f. Water Pump



Gambar 2.7 Water Pump

Sumber: otomotif.kompas.com

Pompa air radiator berfungsi membantu mensirkulasikan cairan radiator dari blok silinder lalu silinder *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 (Sata Tarigan, 2020).

g. Selang Radiator



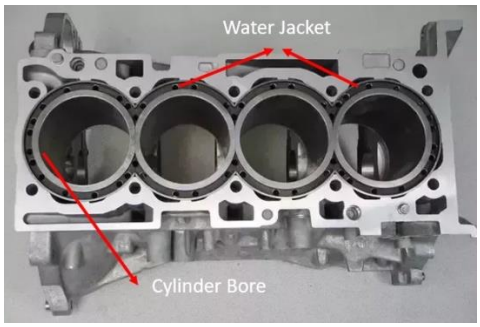
Gambar 2.8 Selang radiator

Sumber: mobilmo.com

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 (Sata Tarigan, 2020).

h. Water Jacket



Gambar 2.9 Water jacket

Sumber: lifestyle.pinhome.id

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 beriklim panas biasanya *water jacket* dibuat atau dirancang lebih lebar, dan pada daerah beriklim 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 (Sata Tarigan, 2020).

3. Macam – macam penghambat korosi

Korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur – unsur lain yang terdapat di alam (Sidiq, 2013). 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 suatu komponen (Khan & Hadromi, 2020). Ada beberapa macam penghambat korosi yang digunakan dalam sistem pendinginan mesin kendaraan untuk melindungi komponen-komponen logam dari kerusakan akibat korosi yaitu:

a. Pengubahan Media / Lingkungan

Pengubahan lingkungan mengupayakan agar lingkungan tidak agresif sehingga tidak menimbulkan dampak korosi yang hebat. Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi (Khan & Hadromi, 2020). Ada tiga situasi yang dapat terjadi yaitu:

1) Udara dengan rentang temperatur -10 ^{0}C sampai dengan +30 ^{0}C dapat dilakukan dengan cara menurunkan kelembaban 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.

b. Seleksi Material

Metode umum yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu pemilihan logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi resiko terjadinya korosi (Sidiq, 2013). Berikut ini beberapa cara untuk mencegah korosi melalui seleksi material:

1) Penggunaan logam tahan karat. Contohnya: stainless steel, alumunium dan paduannya, titanium.
2) Paduan khusus seperti paduan nikel, paduan tembaga-nikel.
3) Material komposit.

c. Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyai potensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensial rendah bersifat katodik dan terproteksi (Sidiq, 2013). Ini dicapai dengan menggunakan sumber listrik eksternal atau dengan mengorbankan logam lain sebagai anoda.

d. Proteksi Anodik

Adanya arus anodik akan meningkatkan laju ketidaklarutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam – logam "active-passive" seperti Ni, Fe, Cr, Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat logam dikontrol seksama (dengan potentiostat) maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam – logam tak terlarut akan berkurang (Sidiq, 2013). Dengan pemahaman dan penerapan yang tepat, proteksi anodik dapat memberikan perlindungan yang sangat efektif terhadap korosi, terutama pada logam tahan karat dan lingkungan korosif.

e. Pelapisan (coating)

Pelapisan adalah salah satu metode efektif untuk mencegah korosi pada logam. Pelapisan ini bertindak sebagai penghalang antara logam dan lingkungan yang korosif. Prinsip umum dari lapisan yaitu melapisi logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung. Jenis – jenis coating: Metallic coating, paint/organic coating, chemical conversion coating, miscellaneous coating (enamel,thermoplastics) (Sidiq, 2013).

f. Penggunaan Zat Inhibitor

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi adalah dengan penggunaan inhibitor korosi. Secara umum suatu inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam. Mekanisme penghambatannya terkadang lebih dari satu jenis. Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif (Sidiq, 2013).

4. Klasifikasi Inhibitor

Inhibitor adalah suatu zat kimia yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit kedalam suatu zat korosif, dapat secara efektif memperlambat atau mengurangi laju pengkaratan yang ada (Atmadja, 2010). Terdapat beberapa jenis zat inhibitor, antara lain:

a. 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).

b. 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 : $2H_2O + O_2 + 4e^- = 4OH^-$ Inhibitor ini bereaksi dengan ion hidroksil dan menghasilkan 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).

c. Inhibitor anodik

Inhibitor ini mengadsorpsi bagian anodik sehingga mencegah terjadinya korosi pada anodik. Inhibitor 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, PO_{3-} , CO_3 (Atmadja, 2010).

d. Inhibitor adsorpsi

Inhibitor adsorpsi adalah bahan kimia yang digunakan untuk mencegah korosi dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam melalui proses adsorpsi. Proses ini melibatkan

penempelan molekul inhibitor ke permukaan logam, sehingga membentuk penghalang yang mengurangi kontak antara logam dan lingkungan korosif.

e. Inhibitor organik

Inhibitor organik adalah penghambat korosi yang terbuat dari senyawa organik kompleks. Mereka membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam, mencegah korosi dengan cara yang ramah lingkungan.

5. Rumus perhitungan korosi

Pengukuran laju korosi merupakan proses penting dalam memantau keausan material. Gapsari, (2017) menyatakan bahwa terdapat tiga metode pengukuran laju korosi metode kehilangan berat, metode polarisasi potensiodinamik dan metode electroscopy impedance spectroscopy (EIS). Rumus perhitungan korosi dengan metode kehilangan berat standar (ASTM, 2012) untuk menghitung laju korosi:

$$\text{Corrosion Rate} = K \times W / A \times T \times D = \ldots\ldots (mmpy) \quad (1)$$

Keterangan:

CR = Laju Korosi (*mmpy*)

K = konstanta ($8{,}76 \times 10^4$)

W = pengurangan berat (g) = W0 – W1 = berat awal – berat akhir

D = *Density specimen* (gr/cm^3)

A = Luas permukaan (mm^2)

T = Waktu (jam).

Rumus perhitungan korosi metode polarisasi potensiodinamik dengan menggunakan persamaan (Jones, 1992):

$$r = 0{,}129 \frac{a.ikor}{n.D} (mpy) \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$r = 0{,}129 \frac{ikor \,.\, (EW)}{D} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Keterangan:

r = laju korosi (*mpy*)

Ikor = arus korosi (μA/cm^2)

EW = berat ekuivalen

D = berat jenis sampel (gr/cm^3)

a = berat atom

n = valensi atom

Rumus perhitungan laju korosi, hukum faraday dapat digunakan untuk menghitung laju korosi dalam laju penetrasi metode polarisasi dengan menggunakan standar (ASTM, 2015):

$$CR = K_1 \left(\frac{icorr}{\rho}\right) EW \text{..... (4)}$$

Dimana,

CR = laju korosi (*mmpy*)

Icorr = kerapatan arus korosi (μA/cm^2)

K1 = 3,27 x 10^{-3} / 0,00327 (mm g/μA cm *year*)

ρ = density (g/cm^3)

EW = berat ekuivalen

6. Jenis - jenis korosi
   a. Korosi seragam

      Korosi seragam adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada plat baja atau profil, logam homogen. Korosi jenis ini bisa dicegah dengan cara diberi lapis lindung yang mengandung inhibitor seperti gemuk (Utomo, 2009).

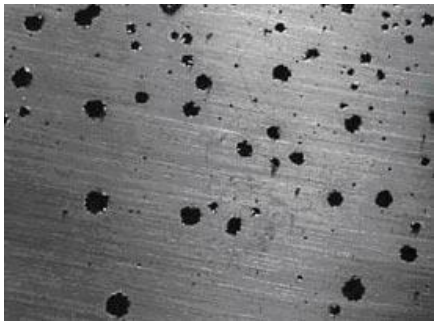


Gambar 2.10 Korosi Seragam

Sumber: Utomo (2009)

b. Korosi sumuran (pitting corrosion)

Korosi sumuran adalah korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen yang dimana pada daerah batas timbul korosi berbentuk sumur. Korosi ini dapat dicegah dengan cara memberikan coating dari zat agresif dan memberikan inhibitor (Utomo, 2009).

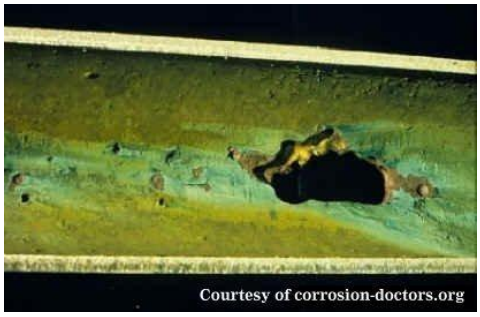


Gambar 2.11 Korosi Sumuran

Sumber: Utomo (2009)

c. Korosi erosi

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar, bagian-bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memberikan inhibitor (Utomo, 2009).



Gambar 2.12 Korosi Erosi

Sumber: Utomo (2009)

d. Korosi galvanis

Korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang lebih anodic akan terkorosi. Korosi ini dapat dicegah dengan cara memberi isolator yang cukup tebal hingga tidak ada aliran elektrolit dan memasang proteksi katodik (Utomo, 2009).

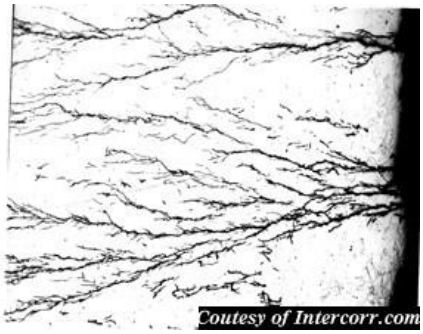


Gambar 2.13 Korosi Galvanis

Sumber: Utomo (2009)

e. Korosi tegangan

Korosi ini terjadi karena butiran logam yang berubah bentuk yang diakibatkan karena logam mengalami perlakuan khusus, sehingga butiran ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara diberi inhibitor. Apabila ada logam yang mengalami stress maka logam harus di relaksasi. (Utomo, 2009).



Gambar 2.14 Korosi Tegangan

Sumber: Utomo (2009)

f. Korosi celah

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O_2 pada mulut kaya dibanding pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut jadi katodik. Korosi ini dapat dicegah dengan cara mengeringkan bagian yang basah dan membersihkan kotoran yang ada (Utomo, 2009).



Gambar 2.15 Korosi Celah

Sumber: Utomo (2009)

g. Korosi lelah

Korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang sehingga semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi ini biasanya terjadi pada turbin uap, pengeboran minyak dan propeller kapal. Korosi ini dapat dicegah dengan cara menggunakan inhibitor dan memilih bahan yang tepat atau memilih bahan yang kuat korosi (Utomo, 2009).



Gambar 2.16 Korosi Lelah

Sumber: Utomo (2009)

D. Kerangka konsep

Natrium kromat (Na_2CrO_4) digunakan sebagai inhibitor korosi dalam larutan pendingin radiator untuk menghambat atau mengurangi laju korosi logam. Ini terjadi karena natrium kromat dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam yang menghalangi reaksi redoks yang menyebabkan korosi. Inhibitor Natrium kromat (Na_2CrO_4) bekerja dengan cara memasifkan anoda sehingga menghambat transfer – transfer ion ke daerah katodik. Sehingga reaksi korosi pada daerah katodik dapat dicegah. Kromat merupakan penghambat korosi yang efisien pada alumunium dan paduannya dalam air yang hampir netral pada lingkungan yang mengandung anion agresif (Hikmat et al., 2015). Hawkins et al., (1987) menjelaskan bahwa reaksi redoks antara Cr^{6+} dan aluminium akan membentuk aluminium dan oksida kromat padat.

$$2\text{Al} + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H^+ + 6e$$

$$2H_2O \rightarrow 2H^+ + 2OH^-$$

$$Na_2CrO_4^{2-} \rightarrow 2Na^+ + CrO_4^{2-}$$

$$2CrO_4^{2-} + 10H^+ + 6e \rightarrow Cr_2O_3 + 5H_2O$$

$$Na^+ + OH^- \rightarrow NaOH$$

Mekanisme pencegahan korosi bermula saat lapisan oksida pada alumunium terkelupas dan bereaksi menjadi Al_2O_3. Air terionisasi menjadi $2H^+ + 2OH^-$ dan natrium kromat terionisasi $2Na^+ + CrO_4^{2-}$. Sementara itu

terjadi reaksi reduksi antara ion CrO_4^{2-} dengan ion H^+ menghasilkan $Cr_2O_3 + H_2O$. Ion Na^+ bereaksi dengan OH^- menghasilkan larutan $NaOH$ (Khan & Hadromi, 2020) .

Ketika Alumunium 6061 berinteraksi dengan natrium kromat dalam larutan berair, inhibitor akan bekerja dengan membentuk lapisan pelindung pada permukaan alumunium, sehingga mencegah oksidasi lebih lanjut. Reaksi ini bukan reaksi langsung antara Na_2CrO_4 dan alumunium 6061, melainkan proses pembentukan lapisan pelindung yang kompleks. Berikut adalah skema dasar yang menggambarkan bagaimana natrium kromat berfungsi sebagai inhibitor korosi pada alumunium:

1. Pembentukan lapisan pelindung

$$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$$

Alumunium mengalami oksidasi (melepaskan elektron) dan membentuk ion Al^{3+}.

2. Reaksi kromat

$$CrO_4^{2-} + 4H^+ + 3e^- \rightarrow Cr(OH)_3 + H_2$$

Ion kromat CrO_4^{2-} mengalami reduksi dan membentuk $Cr(OH)_3$, yang merupakan bagian dari lapisan pelindung.

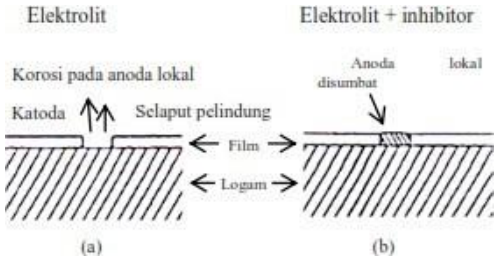
3. Pembentukan lapisan pasif

$$Cr(OH)_3 + Al^{3+} \rightarrow Lapisan\ pelindung\ pada\ permukaan\ alumunium$$

$Cr(OH)_3$ berinteraksi dengan ion Al^{3+} untuk membentuk lapisan pelindung yang mencegah oksidasi lebih lanjut.

Mekanisme inhibitor anodik dalam mempertahankan lapisan pasif dapat dilihat pada Gambar 2.17. Pada Gambar 2.17 (a) terlihat korosi terjadi pada bagian selaput oksida yang terkelupas. Selaput pelindung kemudian akan bertindak sebagai katoda, sedangkan logam yang terbuka sebagai anoda. Kemudian anion dalam inhibitor anodik bereaksi dengan ion logam dalam

larutan dan menutup bagian yang bersifat anodik, sehingga laju korosi menjadi terhenti kembali ditunjukkan pada Gambar 2.17 (b).



Gambar 2.17 Cara kerja inhibitor anodik

Sumber: (Nugroho, 2015)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah metode ilmiah di mana peneliti memanipulasi variabel independen untuk melihat efeknya terhadap variabel dependen, dengan tujuan menemukan hubungan sebab-akibat.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan kegiatan mulai bulan mei 2024 sampai dengan agustus 2024. Tempat pelaksanaan bengkel fakultas teknik otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang.

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat penelitian
   - Timbangan digital
   - Alat uji laju korosi
   - Alat uji foto mikro
   - Amplas 500 s/d 800
   - Autosol
2. Bahan penelitian
   - Spesimen Alumunium

     Alumunium 6061 adalah paduan yang banyak digunakan karena memiliki berbagai sifat yang menguntungkan. Karena sifatnya yang serbaguna, alumunium 6061 digunakan dalam industri otomotif. Komposisi kimia paduan alumunium 6061 disajikan pada tabel 3.1 (Yu et al., 2023).

Tabel 3.1 Komposisi kimia paduan alumunium 6061

Element	Mass Percent/%
Cu	0.15-0.4

Element	Mass Percent/%
Mn	0.15
Mg	0.8-1.2
Zn	0.25
Cr	0.04-0.35
Ti	0.15
Si	0.4-0.8
Fe	0.7
Al	More than 90 %

- Air murni/aquades

  Air murni atau aquades adalah air yang telah dimurnikan dengan cara menghilangkan semua zat terlarut, termasuk mineral, ion, dan kotoran lainnya. Proses pemurnian ini dapat dilakukan melalui destilasi, deionisasi, atau reverse osmosis. Nama lainnya yaitu dihidrogen oksida, deionized water, aqua, aquadestilata. Larutan aquades memiliki berat molekul 18.02 g/mol. Sifat kimianya ditunjukkan pada tabel 3.2 (MSDS, 2015)

Tabel 3.2 Sifat kimia pada air murni/aquades

Bentuk	Cairan
pH	6,0-8,0 pada suhu 25 °C
Titik lebur	0 °C
Rentang titik didih	100 °C - menyala
Kepadatan relatif	1 g/cm³ pada suhu 3,98 °C

- Water coolant

  Water coolant atau cairan pendingin berbasis air adalah cairan yang digunakan untuk mengatur suhu mesin dan sistem mekanis lainnya dengan mentransfer panas dari komponen yang lebih panas ke yang lebih dingin. Water coolant yang digunakan adalah 20/80 dengan kandungan 20% ethylene glycol sedangkan 80% lainnya adalah bahan pelarut lainnya. Sifat kimianya ditunjukkan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Sifat kimia pada water coolant/air radiator

Bentuk	Cairan
Titik didih	105,5 °C
Kandungan	• Ethylene glycol 20% • Aditif anti korosi • PH basa

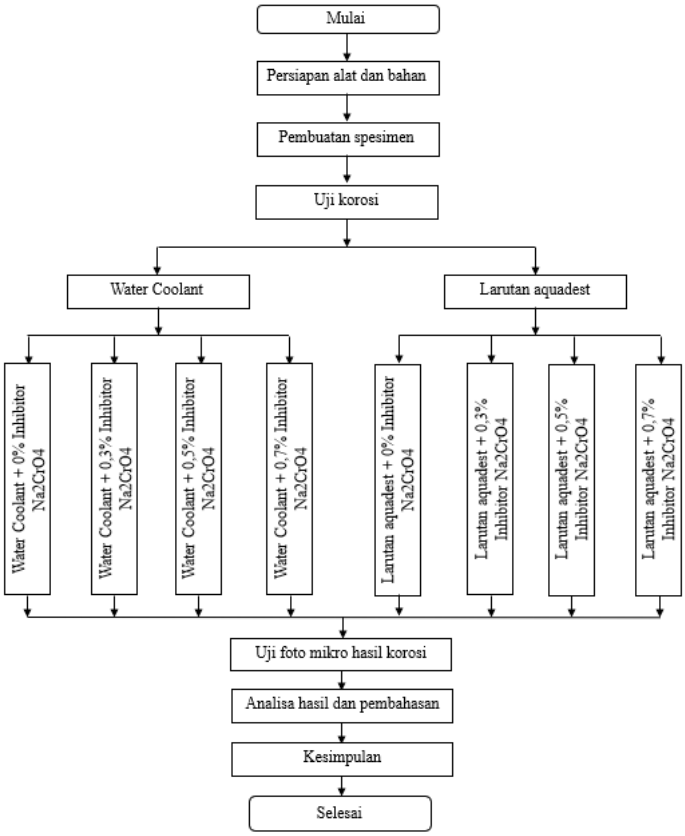
- Serbuk Na2CrO4

National Center for Biotechnology Information (2005) menjelaskan natrium kromat merupakan senyawa anorganik dengan rumus Na_2CrO_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/cm³ dan titik lebur 762° C. Natrium kromat biasa digunakan untuk membuat pigmen untuk cat dan tinta, bahan kimia lainnya, dan sebagai pengawet kayu. Natrium kromat diperoleh melalui penambahan $NaNO_3$ pada proses dekomposisi bijih kromit dalam NaOH cair. Reaksi yang terjadi Cr_2O_3 + $3NaNO_3$ + 4NaOH → $2Na_2CrO_4$ + $3NaNO_2$ + $2H_2O$. Hasil dari reaksi tersebut menghasilkan cairan 2 Na_2CrO_4 + $3NaNO_2$ + $2H_2O$. Cairan tersebut disaring sehingga menghasilkan kristal atau serbuk Na_2CrO_4 (Zhang et al., 2010).

D. Jalannya Penelitian

1. *Flowchart* kegiatan

Flowchart kegiatan yaitu representasi grafis dari serangkaian langkah-langkah dalam suatu penelitian. *Flowchart* tersebut menggambarkan urutan tindakan yang diambil dalam suatu proses, serta hubungan antara langkah-langkah penelitian.



Gambar 3.1 *Flowchart* kegiatan

2. Tahapan penelitian

   a. Persiapan alat dan bahan

      Persiapan alat uji dengan menggunakan alat uji laju korosi tipe sel tiga elektroda dengan potentiostat tipe corrtest CS350M. Persiapan campuran larutan water coolant tanpa inhibitor dan larutan water coolant dengan variasi presentasi 0,3%, 0,5% dan 0,7%. Serta menggunakan campuran larutan aquades tanpa inhibitor dan larutan aquades dengan variasi presentasi 0,3%, 0,5%, dan 0,7%.

   b. Pembuatan spesimen



Gambar 3.2 Spesimen yang akan diuji korosi

Memotong alumunium 6061 menjadi persegi panjang dengan ukuran panjang 30 mm, lebar 10 mm, dan tebal 3 mm seperti pada gambar 3.2 diatas. Kemudian melakukan pengamplasan dan pemolesan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan bebas dari goresan sehingga permukaan yang akan dilakukan uji korosi permukaannya sama.

c. Uji korosi



Gambar 3.3 Potentiostat CS350M

Pengujian laju korosi dengan tiga sel elektroda didasarkan pada metode ekstrapolasi tafel. Sel tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Pada gambar 3.3 diatas memperlihatkan alat uji laju korosi yang digunakan tipe sel tiga elektroda dengan potensiostat tipe corrtest CS350M milik Laboratorium Pengecoran dan Pengelasan FT-UNS.

d. Uji foto mikro hasil

Uji foto mikro menggunakan alat uji mikroskop (Mikroskop Stereo Zoom Olympus SZ61) dilakukan untuk mengetahui bentuk serangan korosi pada permukaan logam yang telah terkorosi.

E. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian eksperimen adalah langkah krusial yang menentukan validitas dan reliabilitas hasil penelitian. Langkah-langkah yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian eksperimen ini adalah menggunakan perbandingan media water coolant dan larutan aquades.

1. Water coolant

Tabel 3.4 Pengumpulan data menggunakan media water coolant

Presentasi	EW	Density (g/cm³)	a (berat atom)	n (valensi atom)	Ikor μA/cm²
0%	9.02	2.70	26,98	3	9,6098
0,3%	9.02	2.70	26,98	3	4,9286
0,5%	9.02	2.70	26,98	3	4,2254
0,7%	9.02	2.70	26,98	3	1,5749

Rumus perhitungan laju korosi, hukum faraday dapat digunakan untuk menghitung laju korosi dalam laju penetrasi metode polarisasi dengan menggunakan standar (ASTM, 2015):

$$CR = K_1 \left(\frac{icorr}{\rho}\right) EW \text{..... (4)}$$

2. Larutan aquades

Tabel 3.5 Pengumpulan data menggunakan media aquades

Presentasi	EW	Density (g/cm³)	a (berat atom)	n (valensi atom)	Ikor μA/cm²
0%	9.02	2.70	26,98	3	61,6000
0,3%	9.02	2.70	26,98	3	12,0630
0,5%	9.02	2.70	26,98	3	8,2617
0,7%	9.02	2.70	26,98	3	7,8467

Rumus perhitungan laju korosi, hukum faraday dapat digunakan untuk menghitung laju korosi dalam laju penetrasi metode polarisasi dengan menggunakan standar (ASTM, 2015):

$$CR = K_1 \left(\frac{icorr}{\rho}\right) EW \text{..... (4)}$$

Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Laju korosi dapat ditentukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan ekstrapolasi kurva tabel. Pada tabel berikut dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya tabel 3.6 (Jones, 1992) .

Tabel 3.6 Hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	µm/yr	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 100	20 - 50
Poor	50 - 200	42125	1000 - 5000	150 - 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang Optimasi Penghambatan Korosi pada Sistem Pendingin Mesin dengan Radiator melalui Penambahan Natrium Kromat, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Pengujian dengan inhibitor natrium kromat pada larutan aquades dengan konsentrasi antara 0,3% sampai 0,7% berhasil menurunkan laju korosi paling rendah dari 0,672 *mmpy* menjadi 0,085 *mmpy*.
2. Pengujian dengan inhibitor natrium kromat pada larutan water coolant dengan konsentrasi antara 0,3% sampai 0,7% berhasil menurunkan laju korosi paling rendah dari 0,1049 *mmpy* menjadi 0,0172 *mmpy*.
3. Berdasarkan tabel 3.6 menunjukkan hubungan antara laju korosi dan ketahanan korosi, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi inhibitor 0,7% pada larutan water coolant memberikan ketahanan korosi relatif sangat baik dibandingkan konsentrasi 0,7% pada larutan aquades.
4. Jenis korosi yang terjadi pada spesimen alumunium 6061 adalah korosi jenis sumuran.
5. Dengan demikian penggunaan inhibitor natrium kromat dapat menurunkan laju korosi komponen radiator alumunium mobil.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian terdapat saran yang perlu dilakukan yaitu:

1. Penurunan optimum laju korosi penelitian ini pada konsentrasi inhibitor 0,7% sebesar 0,085 *mmpy* di larutan aquades dan 0,0172 *mmpy*. Oleh karena itu sebaiknya penggunaan inhibitor natrium kromat ditambahkan pada air pendingin sistem pendingin mesin dengan konsentrasi sebesar 0,7%.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, sebaiknya permukaan benda uji dibersihkan terlebih dahulu bagian permukaannya menggunakan cairan aseton setelah proses pemolesan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM. (2012). Standard guide for laboratory immersion corrosion testing of metals. *ASTM International*, *G31-12a*(October 2012), 1–10. https://doi.org/10.1520/G0031-12A.

ASTM, G.-89-2015. (2015). *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. *89*(Reapproved), 4–5. https://doi.org/10.1520/G0102-89R15E01.2

Atmadja, S. T. (2010). Pengendalian Korosi Pada Sistem Pendingin Menggunakan Penambahan Zat Inhibitor. *ROTASI*, *12*(2), 7–13.

Darmawan, H. (2016). Perbandingan Ketahanan Aus Piston GENUINE PART Dan Piston Imitasi Terhadap Piston Daur Ulang. *Yogyakarta: Skripsi, D3 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.

Gapsari, F. (2017). *Pengantar Korosi*. Universitas Brawijaya Press.

Gupta, R. K., Mirza, F., Khan, M. U. F., & Esquivel, J. (2017). Aluminum containing Na2CrO4: Inhibitor release on demand. *Materials Letters*, *205*, 194–197. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.06.080

Hakim, M., Mulyaningsih, N., Suharno, K., Taufik, I., Mesin, J. T., Teknik, F., Tidar, U., Mesin, J. T., Teknik, F., Tidar, U., Mesin, J. T., Teknik, F., Tidar, U., Mesin, J. T., Teknik, F., & Tidar, U. (2020). *ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN INHIBITOR MINYAK BIJI KAPAS TERHADAP LAJU KOROSI PIPA RADIATOR MOBIL*. *4*(1), 15–21.

Haryono, G., Sugiarto, B., & Farid, H. (2010). Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 1–6.

Hastuti, K., Wandana, A. D., Yulianto, D., Dedikarni, Rahman, J., & Anwar, I. (2023). Comparison of the Efficiency of Organic and Inorganic Inhibitors in

Reduce the Corrosion Rate of Radiator Materials. *Journal Renewable Energy & Mechanics (REM)*, *6*(02), 0–7. https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6(02).12338

Hawkins, J. K., Isaacs, H. S., Heald, S. M., Tranquada, J., Thompson, G. E., & Wood, G. C. (1987). An investigation of chromate inhibitors on aluminium using fluorescence detection of X-ray absorption. *Corrosion Science*, *27*(4), 391–399. https://doi.org/10.1016/0010-938X(87)90081-3

Hermawan, B. (2007). Ekstrak bahan alam sebagai alternatif inhibitor korosi. *Program Teknik Kimia UGM, Yogyakarta*.

Hikmat, N. A., Farhan, A. M., & Anaee, R. A. M. (2015). SODIUM CHROMATE AS INHIBITOR FOR AL AND ITS ALLOYS AT pH=11. *Research Article Journal of Applied Chemical Science International*, *2*(3), 106–114.

Indrayani, N. L. (2016). Studi Pengaruh Ekstrak Eceng Gondok Sebagai Inhibitor Korosi Untuk Pipa Baja Ss400 Pada Lingkungan Air. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, *4*(2), 47–56. http://ejournal-unisma.net

Iswanto, P. T., Shah, A., & Sadida, H. M. (2019). *Effect of Chromate Inhibitor on the Corrosion Rate of API 5L Grade B Steel Pipe in The Injection Water*. *1*(2), 116–125.

Jones, D. A. (1992). Principles and Prevention of Corrosion. In *Corrosion* (Vol. 22, Issue 7). https://doi.org/10.5006/0010-9312-22.7.198

Kania, H. (2023). Corrosion and Anticorrosion of Alloys/Metals: The Important Global Issue. *Neurology*, *216*(13), 5. https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000289090.14598.07

Khan, M. A., & Hadromi. (2020). Pengaruh Inhibitor Natrium Kromat Terhadap Laju Korosi Pada Komponen Radiator Sistem Pendingin Mobil. *Automotive Science and Education Journal*, *3*(1), 12–19. http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/asej

Koch, G. (2017). Cost of corrosion. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research*

and Technologies., 3–30. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00001-2

Legiman, L., & Sulaiman, F. (2014). Perawatan dan Perbaikan Sistem Pendingin Mesin Mitsubishi Galant 2500 Cc. *Teknovasi*, *1*(1), 26–34.

MSDS. (2015). Aquades Properties. *Material Safety Data Sheet*, *2006*(453), 1–6.

Nugroho, F. (2015). Penggunaan Inhibitor Untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi Pada Baja Karbon Rendah. *Angkasa*, *7*(1), 151–158.

Saifudin, Munahar, S., & Khusaeni, D. A. (2016). Perilaku Inhibitor Korosi Pada Radiator. *Flywheel : Jurnal Teknik Mesin Untirta*, *II*(2), 1–6.

Sata Tarigan, S. A. R. (2020). *Pengaruh Coolant Terhadap Efektivitas Pendinginan Dan Laju Korosi Material Kuningan*. *2507*(1), 1–9. http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203

Sidiq, M. F. (2013). Analisa Korosi Dan Pengendaliannya. *Journal Foundry*, *3*(1), 30. https://doi.org/10.1016/s0026-0576(02)80201-x

Ubaidillah, A. (2008). *Analisa Perpindahan Kalor Pada Pendingin Radiator Dari Motor Bakar Otto*. Universitas Mercu Buana Jakarta.

Utomo, B. (2009). *Jenis Korosi Dan Penanggulangannya*. *6*(2), 138–141.

Wang, X., Huang, A., Lin, D., Talha, M., Lin, Y., & Liu, H. (2020). Imidazolium-based ionic liquid as efficient corrosion inhibitor for aa 6061 alloy in hcl solution. *Materials*, *13*(20), 1–18. https://doi.org/10.3390/ma13204672

Yu, X., Zhang, G., Zhang, Z., & Wang, Y. (2023). Research on corrosion resistance of anodized and sealed 6061 aluminum alloy in 3.5 % sodium chloride solution. *International Journal of Electrochemical Science*, *18*(5), 100092. https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100092

Zhang, Y., Zheng, S., Xu, H., Du, H., & Zhang, Y. (2010). Phase Equilibria in the NaOH-NaNO3-Na2CrO4-H2O System. *Journal of Chemical and Engineering Data*, *55*(4), 4–10.