

STUDI PENGARUH JENIS COOLANT RADIATOR DAN PENAMBAHAN EKSTRAK DARI DAUN KELOR TERHADAP LAJU KOROSI PADA BESI COR KELABU FC200

*Fergi Yudha Pratama¹, Agus Suprihanto², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: fergiyudhapratama@gmail.com

Abstrak

Korosi merupakan salah satu permasalahan utama pada material logam, khususnya besi cor kelabu FC200 yang banyak digunakan sebagai bahan blok mesin. Dalam sistem pendingin, jenis coolant radiator dapat mempengaruhi laju korosi material. Selain itu, ekstrak daun kelor sering diteliti sebagai inhibitor alami untuk menghambat korosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi pada berbagai jenis coolant radiator, mengevaluasi efektivitas ekstrak daun kelor sebagai inhibitor alami dalam media aquades, serta menganalisis pengaruh variasi konsentrasi ekstrak terhadap laju korosi besi cor kelabu FC200. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan dua kelompok pengujian, yaitu lima jenis coolant radiator serta media aquades tanpa ekstrak sebagai kontrol dan aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor pada konsentrasi 15 mL, 20 mL, dan 25 mL. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Pengujian laju korosi menggunakan metode elektrokimia dengan potensiostat (CorrTest) untuk memperoleh parameter I_{corr} dan E_{corr} , yang kemudian dikonversikan menjadi laju korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi berbeda pada setiap jenis coolant radiator. Pada media aquades, penambahan ekstrak daun kelor menyebabkan peningkatan laju korosi dibandingkan tanpa ekstrak, dan peningkatan tersebut semakin besar seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor tidak efektif sebagai inhibitor alami dan cenderung mempercepat korosi pada besi cor kelabu FC200.

Kata kunci: besi cor kelabu fc200; coolant radiator; ekstrak daun kelor; inhibitor korosi; laju korosi

Abstract

Corrosion is a major issue in metallic materials, particularly grey cast iron FC200 which is widely used as an engine block material. In cooling systems, the type of radiator coolant can influence the corrosion rate. In addition, Moringa oleifera leaf extract has been studied as a natural corrosion inhibitor. This study aims to determine the corrosion rate in various radiator coolants, evaluate the effectiveness of Moringa oleifera extract as an inhibitor in aquades, and analyze the effect of extract concentration on the corrosion rate of grey cast iron FC200. The research method used was experimental, consisting of two groups: five types of radiator coolants and aquades media without extract as a control and with Moringa oleifera extract at concentrations of 15 mL, 20 mL, and 25 mL. Each test was conducted three times. Corrosion testing was carried out using an electrochemical method with a potentiostat (CorrTest) to obtain I_{corr} and E_{corr} , which were converted into corrosion rate values. The results show that corrosion rates vary among different coolants. In aquades, the addition of Moringa oleifera extract increased the corrosion rate compared to the control, and the rate further increased with higher extract concentrations. This indicates that the extract is not effective as an inhibitor and tends to accelerate corrosion on grey cast iron FC200.

Keywords: corrosion inhibitor; corrosion rate; fc200 gray cast iron; moringa leaf extract; radiator coolant

1. Pendahuluan

Mesin kendaraan bermotor bekerja pada suhu tinggi akibat proses pembakaran di ruang silinder, sehingga memerlukan sistem pendingin untuk mencegah overheating yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan kerusakan komponen. Blok silinder sebagai komponen utama yang bersentuhan langsung dengan fluida pendingin rentan mengalami korosi, yang dapat menurunkan efektivitas perpindahan panas dan kinerja mesin.

Fluida pendingin yang digunakan bervariasi, mulai dari air hingga coolant berbasis etilen glikol yang mengandung inhibitor korosi. Namun, penggunaan air tanpa pengolahan masih sering ditemukan dan berpotensi meningkatkan korosi akibat kandungan ion klorida yang bersifat agresif dan mempercepat reaksi elektrokimia [1]. Kadar klorida air sumur dilaporkan sebesar 4,15 mg/L dan tetap berpotensi memicu korosi [2]. Di sisi lain, efektivitas coolant komersial berbeda-beda tergantung formulasinya.

Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan penambahan inhibitor, khususnya inhibitor organik berbasis bahan alami (*green inhibitor*) yang bersifat ramah lingkungan [1]. Ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera* L.) mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, tanin, alkaloid, dan saponin yang mampu beradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk lapisan pelindung [3].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor efektif menurunkan laju korosi pada berbagai material, seperti baja ST 37 dalam media air laut dengan efisiensi inhibisi 89,90% [3], baja galvalum dalam air hujan hingga 99% [4], serta pada sistem radiator motor meskipun terjadi penurunan efektivitas pada konsentrasi tinggi [5]. Namun, kajian pada besi cor kelabu FC200 dalam media aquades masih terbatas, padahal karakteristik korosi pada media dengan kandungan ion rendah dapat berbeda.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis air radiator dan penambahan ekstrak daun kelor terhadap laju korosi besi cor kelabu FC200 dalam media aquades.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Sebelum penelitian dilakukan, disiapkan peralatan dan bahan yang digunakan untuk menunjang seluruh proses penelitian. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas ukur, timbangan digital, pipet tetes, jangka sorong, kertas kasa, Potentiostat CorrTest Tipe CS300, *Grinding and Polishing Machine*, mikroskop makrografi, sendok, kompor, teflon, dan solder.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari Besi Cor Kelabu FC200, Bubuk Daun Kelor Murni 100% (*Moringa Oleifera* L.), media cairan pengujian, resin dan katalis, cetakan mounting, timah patri, amplas, kabel, autosol, dan alkohol 70%.

2.3 Pembuatan Ekstrak Daun Kelor

Proses ekstraksi bubuk daun kelor dilakukan menggunakan metode maserasi untuk memperoleh senyawa aktif yang berperan sebagai inhibitor korosi. Ekstraksi dilakukan secara hati-hati agar senyawa fitokimia seperti tanin, flavonoid, saponin, dan alkaloid dapat terekstraksi secara optimal dan tetap stabil hingga tahap pengujian laju korosi.

Sebanyak 90 gram bubuk daun kelor murni 100% ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian dimasukkan ke dalam wadah bersih yang kering dan bebas kontaminan. Selanjutnya, ditambahkan 900 mL alkohol 70% sehingga membentuk perbandingan bubuk dan pelarut 1:10. Campuran tersebut dibiarkan selama tiga hari untuk proses perendaman, dengan pengadukan sesekali setiap 12 jam agar senyawa aktif dapat larut secara maksimal dan tercampur merata.

Larutan hasil perendaman kemudian disaring menggunakan kertas kasa sebanyak 4 lapis untuk memisahkan partikel padat seperti serat daun dan ampas, sehingga diperoleh filtrat yang jernih dan homogen. Filtrat yang diperoleh dikumpulkan ke dalam gelas ukur bersih, kemudian dipindahkan ke wadah teflon berisi air untuk dipanaskan di atas kompor. Proses evaporasi dilakukan selama 2 hingga 3 jam hingga diperoleh ekstrak pekat tanpa pengaturan suhu khusus.

Ekstrak pekat yang dihasilkan selanjutnya dicampurkan ke dalam aquades sesuai variasi konsentrasi yang telah ditentukan. Campuran tersebut kemudian digunakan sebagai media pengujian laju korosi pada besi cor kelabu FC200, sehingga setiap sampel memiliki konsistensi senyawa aktif yang terkontrol dan siap dianalisis.

2.3 Preparasi Spesimen

Tahap ini bertujuan untuk menyiapkan spesimen Besi Cor Kelabu (FC200) agar sesuai dengan standar pengujian korosi. Spesimen yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi diameter 21,8 mm dan ketebalan 5 mm. Preparasi dilakukan melalui proses pengamplasan, pemolesan, serta pembersihan untuk memastikan permukaan spesimen dalam kondisi baik dan bebas dari kotoran yang dapat memengaruhi hasil pengujian.

Permukaan spesimen diamplas menggunakan kertas abrasif secara bertahap dengan tingkat kekasaran 240, 400, 600, dan 800 grit hingga diperoleh permukaan yang halus dan rata. Selanjutnya, spesimen dibersihkan menggunakan etanol 96% dengan bantuan kapas atau kain lembut untuk menghilangkan sisa partikel hasil pengamplasan. Setelah itu, kabel tembaga dipasang pada bagian belakang spesimen sebagai penghubung arus listrik, kemudian direkatkan menggunakan solder agar koneksi listrik stabil selama pengujian.

Proses *mounting* dilakukan dengan terlebih dahulu mengoleskan lapisan tipis *wax* pada permukaan cetakan dan kaca alas untuk mencegah resin melekat setelah mengeras, serta menempelkan plastisin pada sisi bawah cetakan guna mencegah kebocoran. Spesimen kemudian ditempatkan ke dalam cetakan pipa PVC berdiameter 28 mm dan tinggi 28 mm, selanjutnya dituangkan campuran resin dan katalis hingga menutupi bagian belakang spesimen serta sambungan

kabel. Setelah resin mengeras, spesimen dilepaskan dari cetakan dan permukaan uji dibersihkan hingga siap digunakan pada tahap pengujian elektrokimia.

2.4 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dalam penelitian ini dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan alat Potentiostat CorrTest Tipe CS300 yang terhubung dengan PC atau komputer yang telah terinstall aplikasi CS Studio 5. Peralatan yang digunakan meliputi platform pengujian laju korosi, gelas ukur 500 mL, serta sel tiga elektroda yang terdiri dari elektroda kerja (WE), elektroda acuan (RE), dan *counter electrode* (CE). Elektroda acuan yang digunakan adalah Ag-AgCl, sedangkan *counter electrode* (CE) berbahan platina. Bahan yang digunakan meliputi lima jenis coolant radiator komersial yaitu X-Ten, Prestone, JHV, Seiken, dan Master, serta aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor dan aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor pada variasi konsentrasi 15 mL, 20 mL, dan 25 mL.

Pengujian diawali dengan menyiapkan spesimen yang telah dipreparasi, kemudian menyiapkan media elektrolit berupa coolant radiator komersial, aquades murni, serta aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor. Selanjutnya dilakukan setting Potentiostat CorrTest Tipe CS300 dengan menghubungkannya ke PC yang telah terinstall aplikasi CS Studio 5. Elektroda acuan (RE) dan *counter electrode* (CE) dimasukkan ke dalam elektrolit uji, sedangkan spesimen yang telah di-mounting dan disolder dengan kabel *dihubungkan* sebagai elektroda kerja (WE).

Setelah instalasi selesai, PC dan alat Potentiostat CorrTest Tipe CS300 dinyalakan, kemudian software CS Studio 5 dibuka dengan memilih menu *Experiment – Stable Polarization – Potentiodynamic*. Parameter pengujian dimasukkan meliputi nilai berat ekuivalen spesimen uji, luas permukaan spesimen uji yang terbuka dari mounting, serta densitas spesimen uji. Selanjutnya, pengujian dijalankan dengan menekan tombol run hingga proses selesai secara otomatis.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis dengan membuka kembali file pengujian dan memilih grafik E vs Log I. Selanjutnya dilakukan data fitting untuk memperoleh nilai laju korosi (*corrosion rate*) secara otomatis.

2.5 Pengujian Makrogafi

Pengujian makrogafi dilakukan menggunakan mikroskop makrogafi dengan perbesaran 15x untuk mengamati kondisi permukaan spesimen sebelum dan sesudah pengujian laju korosi. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan morfologi permukaan akibat proses korosi. Sebelum pengujian, peralatan dan material sampel uji dibersihkan untuk memastikan tidak terdapat kotoran yang dapat memengaruhi hasil pengamatan. Selanjutnya, mikroskop dinyalakan beserta lampu pencahayaan, kemudian komputer dihidupkan dan software mikroskop dijalankan. Sampel uji diletakkan pada tempat spesimen, kemudian dilakukan pengaturan perbesaran lensa sebesar 15x.

Pencahayaan mikroskop diatur dengan memutar knop yang terdapat pada bagian tengah mikroskop, kemudian jarak antara lensa dan spesimen disesuaikan menggunakan control focusing hingga diperoleh titik fokus yang optimal. Setelah posisi dan fokus sesuai, dilakukan pengambilan gambar dengan menekan menu shot pada software yang digunakan, kemudian hasil pengamatan disimpan untuk analisis lebih lanjut. Selain itu, pengamatan dilakukan secara teliti pada setiap permukaan spesimen untuk melihat adanya perubahan warna, timbulnya produk korosi, maupun kerusakan permukaan lain yang muncul setelah pengujian laju korosi dilakukan. Dokumentasi hasil pengamatan kemudian digunakan sebagai data pendukung dalam menganalisis pengaruh media pengujian terhadap karakteristik permukaan material.

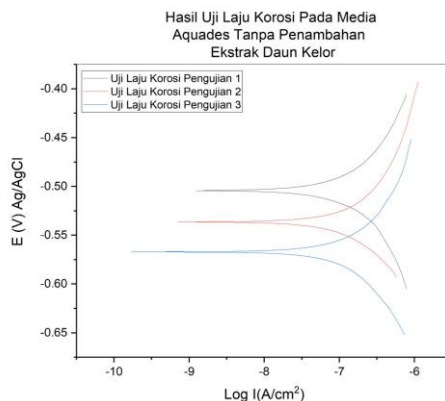
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Laju Korosi

Pada penelitian ini dilakukan pengujian laju korosi pada material besi cor kelabu FC200 menggunakan metode pengujian elektrokimia dengan alat potensiostat corrttest. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya laju korosi yang terjadi pada spesimen ketika berada dalam berbagai media cairan, yaitu coolant radiator komersial dengan beberapa merek yang berbeda, aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, serta aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor dengan variasi konsentrasi tertentu. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk memperoleh data yang lebih akurat dan meningkatkan keandalan hasil pengujian. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui perbandingan laju korosi pada masing-masing media serta untuk melihat pengaruh penambahan ekstrak daun kelor terhadap laju korosi pada besi cor kelabu FC200. Untuk hasil pengujian laju korosi dari masing-masing media pengujian adalah sebagai berikut:

3.1.1 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Tanpa Penambahan Ekstrak Daun Kelor

Pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 1 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media aquades tanpa ekstrak daun kelor.



Gambar 1. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Tanpa Penambahan Ekstrak Daun Kelor

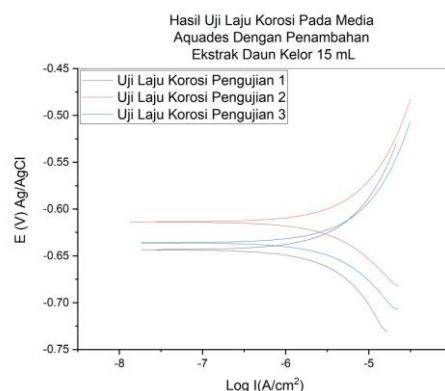
Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, diperoleh kurva polarisasi yang menunjukkan nilai potensial korosi (E_{corr}) sebesar $-0,5041$ V dan rapat arus korosi (I_{corr}) sebesar $1,0966 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,0966 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,00201208$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang relatif kecil menunjukkan bahwa reaksi korosi yang terjadi pada besi cor kelabu FC200 dalam media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor berlangsung relatif rendah pada kondisi pengujian ini.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,53638$ V dan I_{corr} sebesar $9,9148 \times 10^{-7}$ A/cm² atau setara dengan $0,99148 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0018198$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses korosi yang terjadi pada spesimen besi cor kelabu dalam media aquades berlangsung dengan tingkat korosi yang rendah pada kondisi pengujian ini.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,567$ V dan I_{corr} sebesar $2,5314 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $2,5314 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0046467$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa pada pengujian ini proses korosi yang terjadi pada spesimen besi cor kelabu dalam media aquades berlangsung lebih tinggi.

3.1.2 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekkstrak Daun Kelor 15 mL

Pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 15 mL, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 2 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 15 mL.



Gambar 2. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekkstrak Daun Kelor 15 mL

Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 15 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,61367$ V dan I_{corr} sebesar $1,0988 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $10,988 \mu\text{A/cm}^2$.

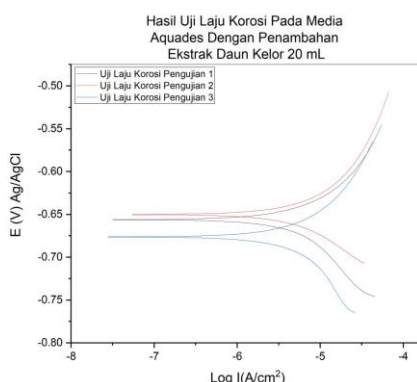
Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar 0,020168 mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang relatif besar menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor pada kondisi pengujian ini berlangsung cukup tinggi sehingga menghasilkan laju korosi yang lebih besar.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 15 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,58231$ V dan I_{corr} sebesar $1,0988 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan 10,988 μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar 0,020168 mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang relatif besar menunjukkan bahwa reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor pada pengujian ini berlangsung cukup aktif sehingga menghasilkan laju korosi yang relatif tinggi.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 15 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,63584$ V dan I_{corr} sebesar $1,3752 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan 13,752 μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar 0,025241 mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa pada pengujian ini proses reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor berlangsung lebih aktif sehingga menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi.

3.1.3 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekkstrak Daun Kelor 20 mL

Pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 20 mL, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 3 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 20 mL.



Gambar 3. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekkstrak Daun Kelor 20 mL

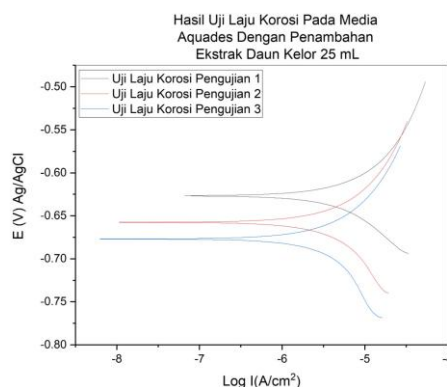
Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor sebanyak 20 mL menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,65604$ V dan I_{corr} sebesar $1,7 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan 17 μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar 0,031203 mm/yr. Nilai rapat arus korosi tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian ini terjadi proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 20 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,65005$ V dan I_{corr} sebesar $2,0962 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan 20,962 μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar 0,038475 mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih kecil dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen cenderung menurun sehingga laju korosi yang terjadi pada media tersebut lebih rendah.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 20 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,67619$ V dan I_{corr} sebesar $3,7417 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan 37,417 μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar 0,068678 mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen meningkat sehingga laju korosi yang terjadi pada media tersebut menjadi lebih tinggi.

3.1.4 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekkstrak Daun Kelor 25 mL

Pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 25 mL, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 4 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 25 mL.



Gambar 4. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekkstrak Daun Kelor 25 mL

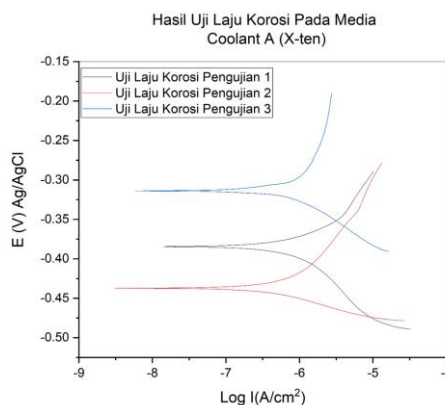
Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 25 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,62666$ V dan I_{corr} sebesar $2,552 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $25,52 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,04684$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi tersebut menunjukkan bahwa masih terjadi proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen. Semakin besar nilai rapat arus korosi (I_{corr}), maka kecenderungan laju korosi yang terjadi juga akan meningkat karena proses oksidasi logam pada permukaan material berlangsung dalam media pengujian.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 25 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,65746$ V dan I_{corr} sebesar $3,4011 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $34,011 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,062426$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih besar menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen semakin meningkat sehingga laju korosi yang terjadi pada media pengujian tersebut juga menjadi lebih tinggi.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media aquades dengan penambahan 25 mL ekstrak daun kelor menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,67675$ V dan I_{corr} sebesar $1,8303 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $18,303 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,033411$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih kecil dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen lebih rendah sehingga laju korosi yang terjadi pada media pengujian tersebut juga lebih kecil.

3.1.5 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant A (X-Ten)

Pada media coolant A, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 5 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media coolant A.



Gambar 5. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant A (X-Ten)

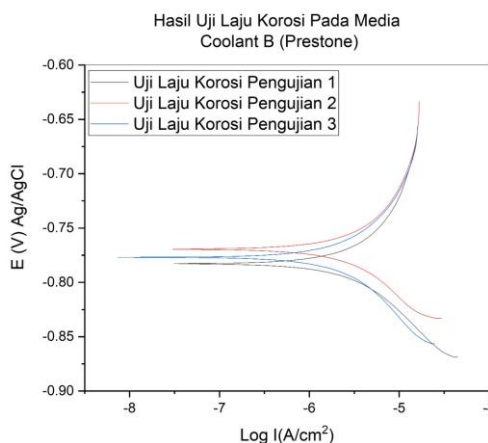
Berdasarkan grafik hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant A menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,38449$ V dan I_{corr} sebesar $1,9539 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,9539 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0035862$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media coolant A berlangsung dengan intensitas rendah, sehingga laju korosi yang terjadi tergolong rendah pada kondisi pengujian ini.

Berdasarkan grafik hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant A menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,43719$ V dan I_{corr} sebesar $9,9285 \times 10^{-7}$ A/cm² atau setara dengan $0,99285 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0018223$ mm/yr. Nilai laju korosi pada pengujian ini menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan pengujian sebelumnya, sehingga menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian ini proses reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media coolant A berlangsung lebih kecil.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant A menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,31374$ V dan I_{corr} sebesar $2,798 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $2,798 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0051356$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih kecil dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen menurun sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant A relatif lebih rendah.

3.1.6 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant B (Prestone)

Pada media coolant B, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 6 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media coolant B.



Gambar 6. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant B (Prestone)

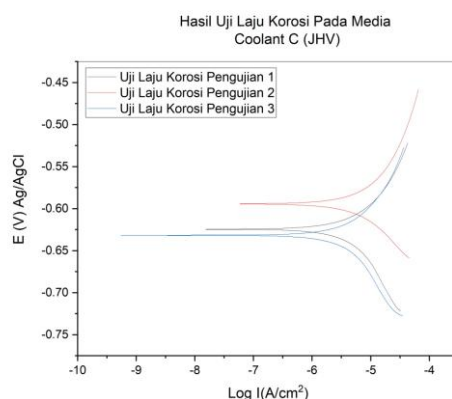
Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant B menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,78289$ V dan I_{corr} sebesar $9,3488 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $9,3488 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,017159$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi tersebut menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia masih berlangsung pada permukaan spesimen, sehingga menyebabkan terjadinya korosi pada material dalam media coolant B selama proses pengujian.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant B menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,76945$ V dan I_{corr} sebesar $2,5837 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $25,837 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,047422$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen meningkat sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant B juga menjadi lebih tinggi.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant B menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,7769$ V dan I_{corr} sebesar $1,2524 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $12,524 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,022986$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih kecil dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen menurun sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant B juga menjadi lebih rendah.

3.1.7 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant C (JHV)

Pada media coolant C, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 7 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media coolant C.



Gambar 7. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant C (JHV)

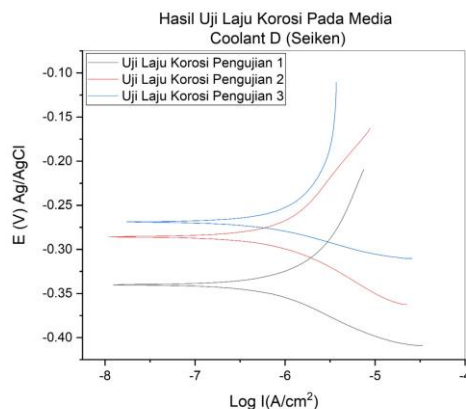
Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant C menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,62448$ V dan I_{corr} sebesar $1,4042 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $14,042$ μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,025773$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi tersebut menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen masih berlangsung sehingga menyebabkan terjadinya korosi pada material dalam media coolant C selama proses pengujian.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant C menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,59435$ V dan I_{corr} sebesar $1,8405 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $18,405$ μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,033781$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen meningkat sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant C juga menjadi lebih tinggi.

Berdasarkan kurva pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant C menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,63179$ V dan I_{corr} sebesar $1,2232 \times 10^{-5}$ A/cm² atau setara dengan $12,232$ μ A/cm². Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,022452$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih kecil dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen menurun sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant C juga menjadi lebih rendah.

3.1.8 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant D (Seiken)

Pada media coolant D, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 8 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media coolant D.



Gambar 8. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant D (Seiken)

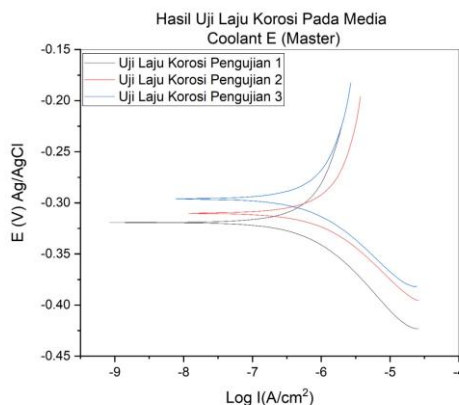
Berdasarkan kurva hasil pengujian ke-1 laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant D menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,34018$ V dan I_{corr} sebesar $1,7069 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,7069 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0031328$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen berlangsung dengan intensitas rendah sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant D tergolong rendah pada kondisi pengujian ini.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant D menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,28571$ V dan I_{corr} sebesar $1,2044 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,2044 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0022105$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang lebih kecil dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen menurun sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant D juga menjadi lebih rendah.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant D menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,26888$ V dan I_{corr} sebesar $1,8492 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,8492 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0033942$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang sedikit lebih besar dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen meningkat sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant D juga menjadi sedikit lebih tinggi.

3.1.9 Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant E (Master)

Pada media coolant E, berikut merupakan hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga. Gambar 9 menampilkan kurva polarisasi hasil pengujian pertama, pengujian kedua, dan pengujian ketiga pada media coolant E.



Gambar 9. Kurva Polarisasi Hasil Uji Laju Korosi Pada Media Coolant E (Master)

Berdasarkan kurva hasil pengujian pertama laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant E menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,31926$ V dan I_{corr} sebesar $9,9712 \times 10^{-7}$ A/cm² atau setara dengan $0,99712 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0018302$ mm/yr. Nilai rapat arus korosi yang sangat kecil menunjukkan bahwa proses reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen berlangsung dengan intensitas yang rendah sehingga laju korosi yang terjadi pada media coolant E tergolong rendah pada kondisi pengujian ini.

Berdasarkan kurva hasil pengujian kedua laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant E menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,31014$ V dan I_{corr} sebesar $1,8516 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,8516 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0033986$ mm/yr. Nilai laju korosi pada pengujian ini menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan pengujian sebelumnya, sehingga menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian ini proses reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media coolant E berlangsung lebih besar.

Berdasarkan kurva hasil pengujian ketiga laju korosi besi cor kelabu FC200 pada media coolant E menggunakan metode elektrokimia dengan alat potensiostat (CorrTest), diperoleh nilai E_{corr} sebesar $-0,29609$ V dan I_{corr} sebesar $1,2058 \times 10^{-6}$ A/cm² atau setara dengan $1,2058 \mu\text{A/cm}^2$. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh laju korosi sebesar $0,0022131$ mm/yr. Nilai laju korosi pada pengujian ini menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan pengujian sebelumnya, sehingga menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian ini proses reaksi elektrokimia yang terjadi pada permukaan spesimen besi cor kelabu dalam media coolant E berlangsung lebih kecil.

3.2 Hasil Pengujian Makrogafi

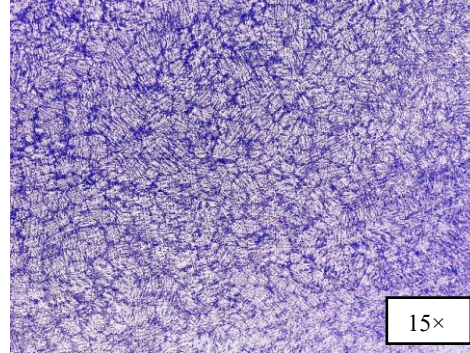
Pengamatan makrografi sebelum pengujian menunjukkan ciri khas besi cor kelabu, yaitu warna patahan kelabu gelap dan permukaan kasar akibat grafit serpih sebagaimana dijelaskan pada penelitian sebelumnya [6]. Setelah

pengujian korosi, muncul perubahan warna dan ketidakseragaman permukaan yang menandakan terbentuknya produk korosi, sesuai dengan ciri-ciri yang telah dilaporkan [7]. Berikut ditampilkan hasil makrografi sebelum dan sesudah pengujian pada masing-masing.

3.2.1 Hasil Uji Makrografi Pada Media Aquades Tanpa Penambahan Ekstrak Daun Kelor

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:

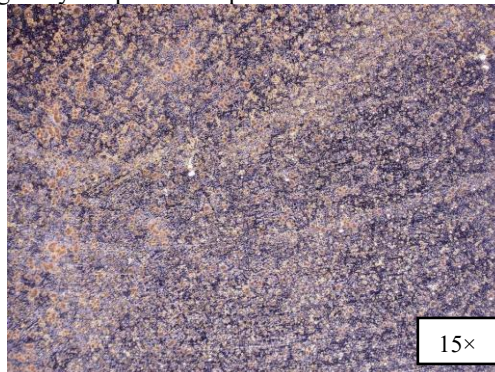


Gambar 10. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Tanpa Ekstrak Daun Kelor

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum dilakukannya uji laju korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, permukaan spesimen masih terlihat relatif seragam dan bersih. Secara visual belum terlihat adanya indikasi produk korosi seperti perubahan warna, bercak karat, maupun terbentuknya pit atau lubang pada permukaan material. Struktur permukaan material masih menunjukkan pola khas dari besi cor kelabu dengan distribusi grafit yang tersebar pada matriks logam. Kondisi ini menunjukkan bahwa spesimen masih berada dalam keadaan awal yang belum mengalami reaksi oksidasi dengan lingkungan. Hasil pengujian makrografi ini digunakan sebagai kondisi awal atau pembandingan untuk melihat perubahan morfologi permukaan material setelah dilakukan pengujian korosi pada media yang telah ditentukan.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sesudah uji laju korosi pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 11 berikut:



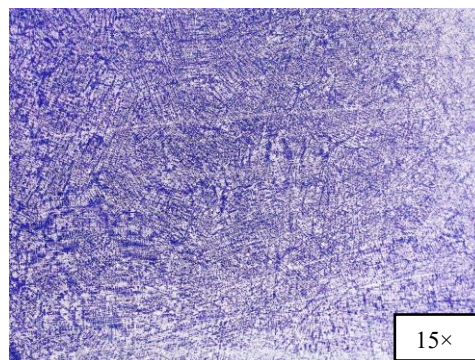
Gambar 11. Makrografi Permukaan Spesimen Sesudah Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Tanpa Ekstrak Daun Kelor

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan uji laju korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor, terlihat adanya perubahan yang cukup jelas pada permukaan material dibandingkan dengan kondisi sebelum pengujian. Permukaan spesimen menunjukkan munculnya bercak-bercak berwarna coklat kemerahan yang merupakan indikasi terbentuknya produk korosi. Bercak tersebut tersebar hampir di seluruh permukaan spesimen dan menunjukkan terjadinya proses oksidasi pada material selama proses perendaman. Selain itu, permukaan material juga tampak lebih kasar dan tidak homogen dibandingkan kondisi awal.

3.2.2 Hasil Uji Makrografi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekstrak Daun Kelor 15 mL

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 15 mL, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 12 berikut:

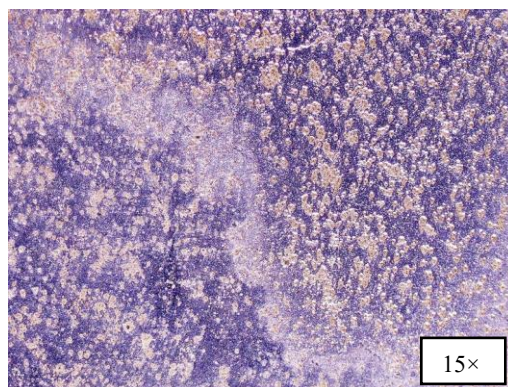


Gambar 12. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Ekstrak Daun Kelor 15 mL

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum uji laju korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor sebanyak 15 mL, permukaan spesimen masih terlihat relatif bersih dan homogen. Tidak terlihat adanya indikasi terbentuknya produk korosi seperti bercak karat, perubahan warna yang signifikan, maupun adanya pit pada permukaan material. Permukaan spesimen masih menunjukkan tekstur khas dari material besi cor kelabu dengan pola grafit yang tersebar pada matriks logam. Selain itu, permukaan material tampak masih halus dengan pola pengamplasan yang masih terlihat merata. Kondisi ini menunjukkan bahwa spesimen masih berada pada keadaan awal sebelum terjadinya proses reaksi korosi selama pengujian perendaman. Hasil pengujian makrografi ini selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk membandingkan perubahan kondisi permukaan material setelah dilakukan pengujian korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sesudah uji laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 15 mL, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 13 berikut:



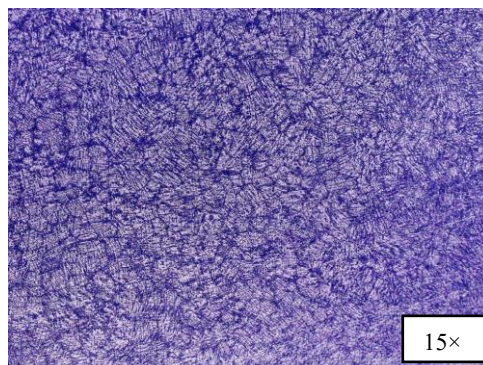
Gambar 13. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Ekstrak Daun Kelor 15 mL

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan pengujian korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor sebanyak 15 mL, terlihat adanya perubahan pada permukaan material dibandingkan dengan kondisi sebelum pengujian. Pada permukaan spesimen mulai tampak munculnya bercak-bercak berwarna coklat yang menunjukkan terbentuknya produk korosi. Bercak tersebut tersebar pada beberapa bagian permukaan material, meskipun penyebarannya masih terlihat lebih terbatas dan tidak terlalu merata. Selain itu, permukaan spesimen tampak mengalami peningkatan kekasaran akibat terbentuknya lapisan hasil oksidasi pada permukaan logam.

3.2.3 Hasil Uji Makrografi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekstrak Daun Kelor 20 mL

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 20 mL, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 14 berikut:

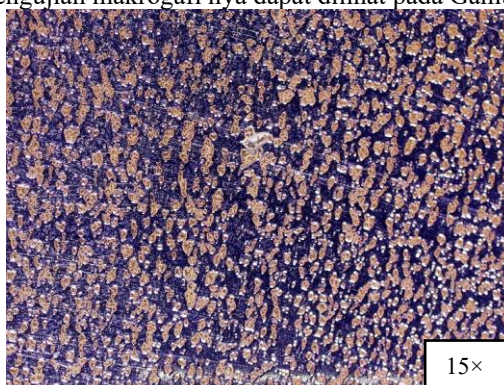


Gambar 14. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Ekstrak Daun Kelor 20 mL

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum uji laju korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor sebanyak 20 mL, permukaan spesimen terlihat masih relatif homogen dan tidak menunjukkan adanya indikasi terbentuknya produk korosi. Secara visual, permukaan material masih tampak bersih tanpa adanya bercak karat, perubahan warna yang signifikan, maupun terbentuknya pit pada permukaan spesimen. Selain itu, pola struktur khas dari besi cor kelabu masih dapat diamati dengan jelas, yang menunjukkan distribusi grafit pada matriks logam. Permukaan spesimen juga masih memperlihatkan pola pengampelasan yang merata sehingga menandakan bahwa material masih berada dalam kondisi awal sebelum mengalami proses korosi. Hasil pengujian makrografi ini digunakan sebagai kondisi acuan untuk membandingkan perubahan yang terjadi pada permukaan spesimen setelah dilakukan pengujian korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor sebanyak 20 mL.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 20 mL, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 15 berikut:



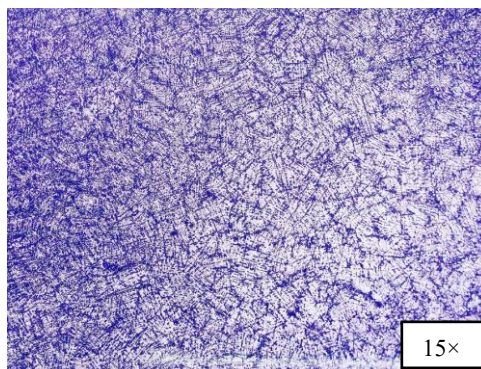
Gambar 15. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Ekstrak Daun Kelor 20 mL

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan pengujian korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor sebanyak 20 mL, terlihat adanya perubahan pada permukaan spesimen dibandingkan dengan kondisi sebelum pengujian. Pada permukaan material tampak terbentuk bercak-bercak berwarna coklat yang merupakan indikasi terbentuknya produk korosi akibat proses oksidasi selama pengujian berlangsung. Bercak korosi tersebut terlihat tersebar pada permukaan spesimen, namun penyebarannya masih relatif tidak merata dan cenderung berbentuk titik-titik kecil. Permukaan material juga tampak mengalami peningkatan kekasaran akibat terbentuknya lapisan hasil korosi.

3.2.4 Hasil Uji Makrografi Pada Media Aquades Dengan Penambahan Ekstrak Daun Kelor 25 mL

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 25 mL, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 16 berikut:

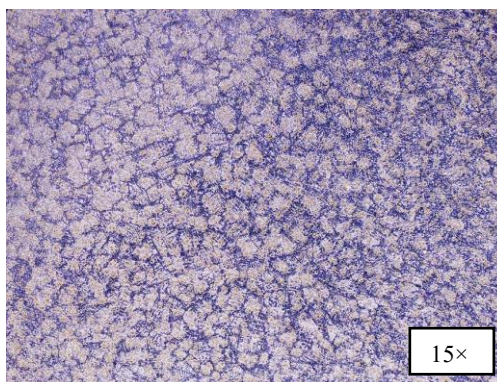


Gambar 16. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Ekstrak Daun Kelor 25 mL

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum uji laju korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor sebanyak 25 mL, permukaan spesimen masih terlihat spesimen homogen dan bersih. Secara visual tidak tampak adanya indikasi terbentuknya produk korosi seperti bercak karat, perubahan warna, maupun pit pada permukaan material. Struktur khas dari besi cor kelabu masih dapat diamati dengan cukup jelas, yang ditunjukkan oleh distribusi grafit pada matriks logam. Selain itu, pola bekas pengamplasan pada permukaan spesimen masih terlihat merata yang menandakan bahwa material berada dalam kondisi awal sebelum mengalami proses korosi. Hasil pengujian makrografi ini digunakan sebagai kondisi acuan untuk membandingkan perubahan yang terjadi pada permukaan spesimen setelah dilakukan pengujian korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor sebanyak 25 mL.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 25 mL, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 17 berikut:



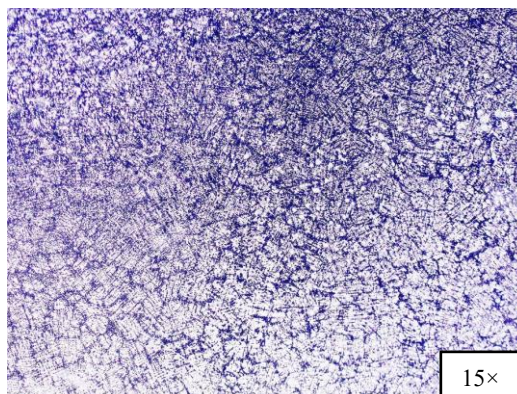
Gambar 17. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Aquades Dengan Ekstrak Daun Kelor 25 mL

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan uji laju korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media aquades yang ditambahkan ekstrak daun kelor sebanyak 25 mL, terlihat adanya perubahan pada permukaan material dibandingkan dengan kondisi sebelum pengujian. Pada permukaan spesimen tampak munculnya bercak-bercak berwarna coklat yang menunjukkan terbentuknya produk korosi akibat proses oksidasi selama pengujian berlangsung. Bercak korosi tersebut terlihat menyebar pada beberapa bagian permukaan material dengan ukuran yang relatif kecil dan cenderung berbentuk titik-titik. Selain itu, permukaan spesimen tampak mengalami peningkatan kekasaran yang disebabkan oleh terbentuknya lapisan hasil korosi pada permukaan logam.

3.2.5 Hasil Uji Makrografi Pada Media Coolant A (X-Ten)

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media coolant A, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 18 berikut:

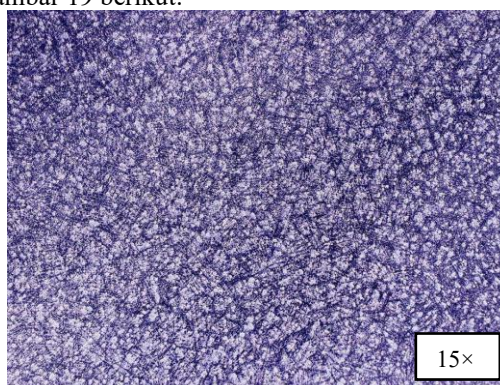


Gambar 18. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Coolant A

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media coolant A, permukaan spesimen masih menunjukkan kondisi yang homogen dan bersih. Tekstur permukaan memperlihatkan pola goresan pengamplasan yang merata, tanpa adanya indikasi produk korosi seperti bercak oksida, perubahan warna, atau pit. Distribusi grafit khas besi cor kelabu masih dapat diamati secara makro, ditandai dengan pola area terang-gelap yang seragam pada matriks logam. Tidak tampak adanya kerusakan permukaan maupun pembentukan layer korosi. Kondisi ini menunjukkan bahwa spesimen berada dalam keadaan awal yang stabil dan belum mengalami reaksi dengan media korosif. Hasil pengamatan ini digunakan sebagai acuan untuk membandingkan perubahan morfologi setelah terpapar coolant A selama pengujian.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media coolant A, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 19 berikut:



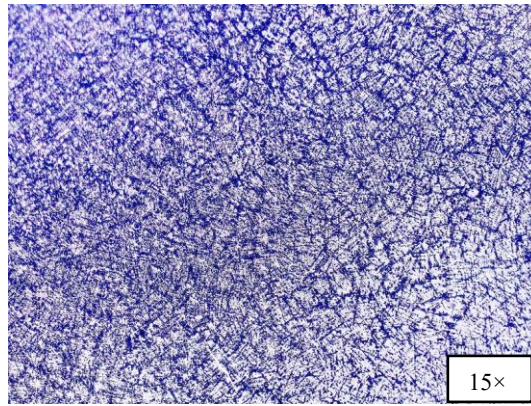
Gambar 19. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Coolant A

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 menggunakan media coolant A, terlihat adanya perubahan visual pada permukaan spesimen dibandingkan kondisi awal. Permukaan tampak mengalami sedikit penggelapan dan menunjukkan bercak-bercak halus yang lebih rapat dan menyebar, yang mengindikasikan adanya pembentukan produk korosi dalam tingkat ringan. Pola pengamplasan masih terlihat, namun mulai tertutupi oleh perubahan warna yang berasal dari proses korosi. Tidak ditemukan pit besar atau kerusakan dalam (*deep attack*), namun ketidakhomogenan permukaan meningkat dibandingkan kondisi awal. Hal ini menunjukkan bahwa proses korosi memang terjadi, meskipun tidak bersifat agresif. Struktur grafit pada matriks logam masih dapat diamati, tetapi tampil lebih samar karena sebagian permukaan tertutupi oleh lapisan tipis produk korosi.

3.2.6 Hasil Uji Makrografi Pada Media Coolant B (Prestone)

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media coolant B, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 20 berikut:



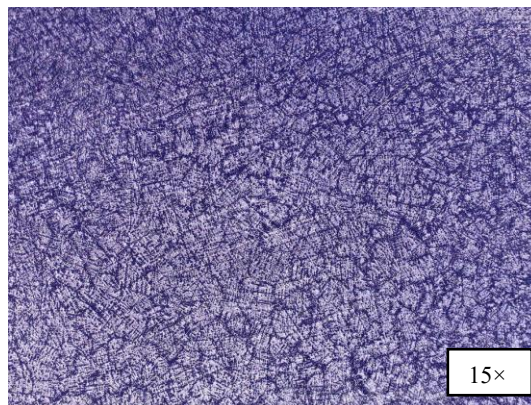
Gambar 20. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Coolant B

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media coolant B, permukaan spesimen terlihat berada dalam kondisi homogen tanpa adanya indikasi awal terbentuknya korosi. Tekstur permukaan menunjukkan pola goresan hasil pengamplasan yang masih tampak jelas dan merata, menandakan bahwa spesimen masih dalam kondisi awal yang bersih.

Secara visual, tidak tampak bercak oksida, perubahan warna, ataupun pit pada permukaan material. Struktur makro khas besi cor kelabu, seperti pola gelap-terang yang mewakili distribusi grafit serpihan pada matriks logam, masih dapat diamati dengan baik. Permukaan juga tidak menunjukkan adanya degradasi atau ketidakraturan yang mengarah pada proses korosi.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media coolant B, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 21 berikut:



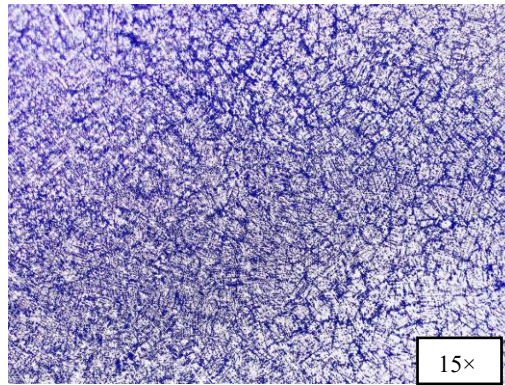
Gambar 21. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Coolant B

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media coolant B, terlihat adanya perubahan visual pada permukaan spesimen jika dibandingkan dengan kondisi sebelum pengujian. Permukaan tampak mengalami sedikit penghalusan dan menunjukkan distribusi bercak-bercak halus yang tampak lebih padat, menandakan adanya pembentukan lapisan produk korosi tipis. Meskipun pola pengamplasan masih terlihat, sebagian area tampak lebih menyatu dan tidak sehomogen kondisi awal. Hal ini mengindikasikan bahwa proses korosi telah terjadi, namun berlangsung dalam tingkat yang relatif rendah. Tidak ditemukan pit besar atau kerusakan lokal yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa serangan korosi belum bersifat agresif.

3.2.7 Hasil Uji Makrografi Pada Media Coolant C (JHV)

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media coolant C, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 22 berikut:

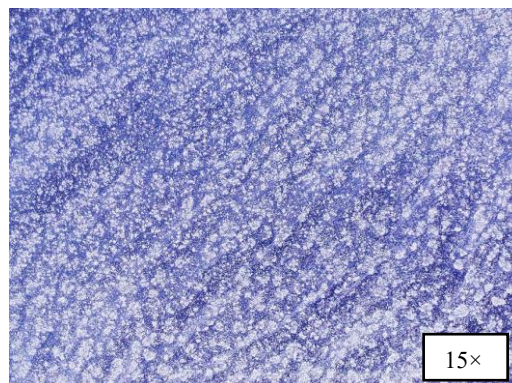


Gambar 22. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Coolant C

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media coolant C, permukaan spesimen tampak berada dalam kondisi awal yang homogen serta tidak menunjukkan tanda-tanda korosi. Pola goresan dari proses pengamplasan terlihat jelas dan merata pada seluruh permukaan, menandakan bahwa spesimen masih bersih dan belum mengalami reaksi dengan media apa pun. Secara visual, tidak ditemukan bercak oksida, perubahan warna, pit, ataupun area yang mengalami degradasi. Struktur makro khas besi cor kelabu berupa distribusi grafit serpihan dalam matriks logam masih dapat diamati dengan baik, terlihat dari pola terang-gelap yang seragam. Permukaan yang bersih dan pola tekstur yang teratur ini menunjukkan bahwa spesimen berada dalam kondisi standar dan siap digunakan sebagai acuan untuk membandingkan perubahan yang terjadi setelah pengujian korosi menggunakan coolant C.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media coolant C, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 23 berikut:



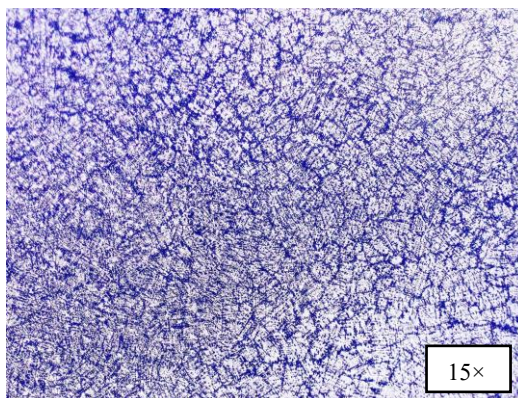
Gambar 23. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Coolant C

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media coolant C, terlihat adanya perubahan visual yang cukup signifikan pada permukaan spesimen dibandingkan dengan kondisi sebelum pengujian. Permukaan menunjukkan munculnya bercak-bercak terang yang tersebar padat dan merata, menandakan terbentuknya produk korosi. Tekstur permukaan tampak tidak lagi homogen, dengan pola goresan pengamplasan yang mulai tertutupi oleh lapisan korosi. Perubahan warna yang mengarah pada tampilan lebih terang dan berbintik menunjukkan bahwa reaksi korosi berlangsung lebih intensif selama pengujian menggunakan coolant C.

3.2.8 Hasil Uji Makrografi Pada Media Coolant D (Seiken)

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media coolant D, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 24 berikut:

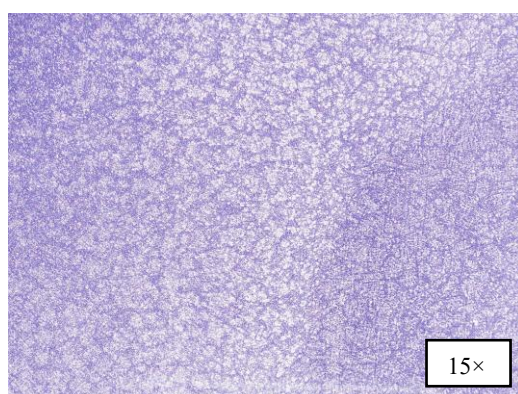


Gambar 24. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Coolant D

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum dilakukan uji korosi pada spesimen besi cor kelabu FC200 dengan media coolant D, terlihat bahwa permukaan spesimen masih berada dalam kondisi awal yang homogen dan bersih. Pola goresan hasil pengamplasan tampak jelas dan merata di seluruh permukaan, menunjukkan bahwa spesimen belum mengalami interaksi kimia maupun reaksi korosi sebelumnya. Secara visual tidak ditemukan adanya perubahan warna, bercak korosi, pit, maupun indikasi terbentuknya oksida pada permukaan material. Struktur makro khas besi cor kelabu, berupa distribusi grafit serpihan dalam matriks logam, masih dapat diamati dengan cukup jelas. Tekstur permukaan juga masih menunjukkan ciri khas material yang belum terpapar media uji.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media coolant D, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 25 berikut:



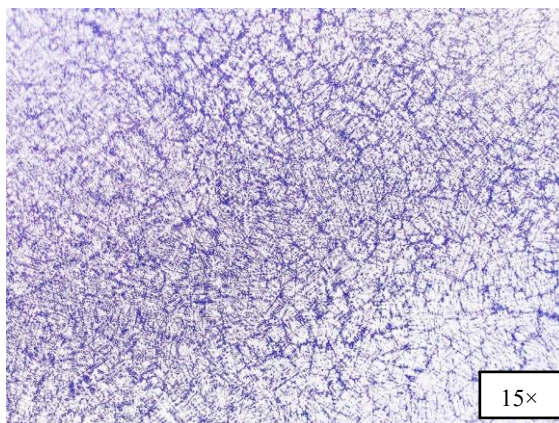
Gambar 25. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Coolant D

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah spesimen besi cor kelabu FC200 direndam dalam coolant D, terlihat bahwa permukaan material mengalami perubahan warna dan tekstur bila dibandingkan dengan kondisi awal. Permukaan tampak tertutup oleh lapisan baru yang tersebar merata, mengindikasikan terbentuknya produk korosi atau endapan sisa reaksi dari interaksi antara logam dan media coolant. Tekstur permukaan tampak lebih kasar dan tidak sehalus kondisi sebelum pengujian. Hal ini menunjukkan adanya perubahan makro yang dapat disebabkan oleh proses oksidasi atau pengendapan kimia dari coolant D selama periode perendaman. Beberapa area memperlihatkan kilau butiran yang lebih intens, yang menandakan kemungkinan terjadinya reaksi permukaan yang menyebabkan pembentukan lapisan korosi tipis.

3.2.9 Hasil Uji Makrografi Pada Media Coolant E (Master)

1. Sebelum (*Before*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi sebelum uji laju korosi pada media coolant E, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 26 berikut:

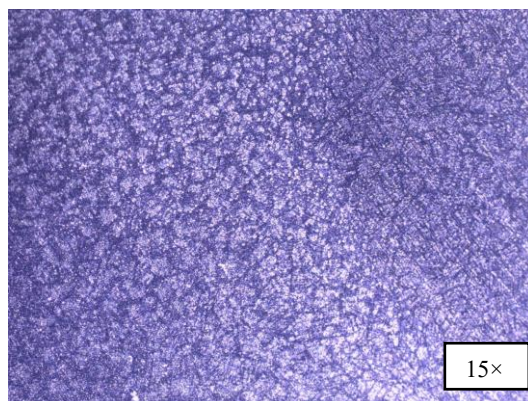


Gambar 26. Makrografi Permukaan Spesimen Sebelum Uji Laju Korosi Pada Media Coolant E

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, sebelum dilakukan perendaman pada media coolant D, permukaan spesimen besi cor kelabu FC200 terlihat berada dalam kondisi awal yang bersih dan homogen. Pola struktur makro berupa distribusi grafit serpihan (*flake graphite*) tampak jelas dan merata di seluruh permukaan. Tekstur permukaan masih menunjukkan karakteristik asli material setelah proses pengamplasan dan persiapan spesimen. Tidak terlihat adanya perubahan warna, bercak oksida, korosi umum, ataupun pit. Permukaan juga tampak memiliki kilau seragam, menandakan bahwa material belum mengalami reaksi kimia dengan media apa pun. Secara keseluruhan, kondisi ini menunjukkan bahwa spesimen berada dalam keadaan standar dan stabil sebelum dilakukan uji korosi, sehingga hasil sebelum–sesudah dapat dibandingkan secara jelas.

2. Setelah (*After*)

Berikut adalah hasil pengujian makrografi setelah uji laju korosi pada media coolant E, untuk hasil pengujian makrografi nya dapat dilihat pada Gambar 27 berikut:



Gambar 27. Makrografi Permukaan Spesimen Setelah Uji Laju Korosi Pada Media Coolant E

Berdasarkan hasil pengujian makrografi tersebut, setelah dilakukan perendaman pada media coolant E, permukaan spesimen menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dibandingkan kondisi sebelum uji. Tekstur permukaan tampak lebih kasar dan granular, menandakan terjadinya reaksi korosi pada lapisan permukaan material. Warna permukaan terlihat lebih terang dan tidak sehomogen kondisi awal, yang mengindikasikan adanya pembentukan lapisan oksida atau produk korosi tipis yang menutupi sebagian pola grafit.

Secara keseluruhan, kondisi ini menunjukkan bahwa spesimen mengalami penurunan homogenitas permukaan setelah direndam coolant E, sehingga dapat disimpulkan bahwa coolant E memberikan efek korosif terhadap material.

3.3 Rekapitulasi Hasil Pengukuran Laju Korosi Pada Berbagai Media Pengujian

Setelah dilakukan pengujian laju korosi, rekapitulasi hasil pengukuran laju korosi dari setiap media pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Laju Korosi Dari Setiap Media Pengujian

No.	Media Pengujian	Pengujian Ke-1 (mm/yr)	Pengujian Ke-2 (mm/yr)	Pengujian Ke-3 (mm/yr)	Rata-Rata (mm/yr)
1.	Aquades Tanpa Ekstrak Kelor	0,00201	0,00182	0,00465	0,00283
2.	Aquades + Ekstrak Kelor 15 mL	0,03156	0,02017	0,02524	0,02566
3.	Aquades + Ekstrak Kelor 20 mL	0,03120	0,03848	0,06868	0,04612
4.	Aquades + Ekstrak Kelor 25 mL	0,04684	0,06243	0,03341	0,04756
5.	Coolant A	0,00359	0,00182	0,00514	0,00351
6.	Coolant B	0,01716	0,04742	0,02299	0,02919
7.	Coolant C	0,02577	0,03378	0,02245	0,02734
8.	Coolant D	0,00313	0,00221	0,00339	0,00291
9.	Coolant E	0,00183	0,00340	0,00221	0,00248

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 25 mL menunjukkan laju korosi tertinggi dengan nilai rata-rata sekitar 0,04756 mm/yr. Pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 20 mL juga memiliki nilai yang cukup tinggi, meskipun berada di bawah konsentrasi 25 mL. Sementara itu, pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 15 mL menunjukkan nilai laju korosi pada tingkat menengah dan tetap lebih besar dibandingkan aquades tanpa kelor serta beberapa variasi coolant.

Sebaliknya, pada media aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor memiliki laju korosi paling rendah pada kelompok aquades, yaitu sekitar 0,00283 mm/yr. Pada kelompok coolant, sebagian besar variasi menunjukkan nilai laju korosi yang relatif kecil. Coolant A, Coolant D, dan Coolant E berada pada rentang sekitar 0,002–0,003 mm/yr, sehingga termasuk kategori rendah.

Namun demikian, Coolant B dan Coolant C memiliki nilai laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan coolant lainnya dan bahkan lebih besar daripada nilai pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor 15 mL. Hal ini menunjukkan bahwa performa inhibisi Coolant B dan Coolant C kurang optimal bila dibandingkan dengan variasi coolant lainnya.

Secara keseluruhan, Tabel 1 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun kelor cenderung meningkatkan laju korosi. Di sisi lain, sebagian besar coolant komersial memberikan perlindungan korosi yang lebih baik dibandingkan aquades maupun aquades dengan ekstrak kelor, dengan pengecualian pada Coolant B dan Coolant C yang menunjukkan performa inhibisi lebih rendah.

3.3.1 Analisis Hasil Pengukuran Laju Korosi pada Berbagai Jenis Coolant Radiator

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap jenis media coolant radiator memberikan nilai laju korosi yang berbeda pada material besi cor kelabu FC200. Perbedaan ini dapat terlihat dari hasil pengujian sebanyak tiga kali untuk setiap jenis coolant, dimana terdapat variasi nilai laju korosi sesuai karakteristik masing-masing media pendingin.

Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh rata-rata laju korosi untuk coolant A sebesar 0,00351 mm/yr, coolant B sebesar 0,02919 mm/yr, coolant C sebesar 0,02734 mm/yr, coolant D sebesar 0,00291 mm/yr, dan coolant E sebesar 0,00248 mm/yr. Berdasarkan nilai tersebut, dapat diketahui bahwa coolant E menghasilkan laju korosi paling rendah, sedangkan coolant B memiliki laju korosi paling tinggi pada pengujian ini. Variasi nilai tersebut menunjukkan bahwa masing-masing coolant memiliki kemampuan proteksi korosi yang berbeda terhadap material FC200.

Nilai laju korosi yang lebih rendah pada beberapa coolant dapat disebabkan oleh adanya kandungan zat aditif seperti *corrosion inhibitor*, *antifreeze agent*, serta *stabilizer* yang mampu membentuk *protective film* pada permukaan logam. Lapisan ini berfungsi mencegah terjadinya reaksi elektrokimia antara logam dan medium korosif, sehingga laju korosi dapat ditekan. Sebaliknya, coolant yang memiliki nilai laju korosi lebih tinggi kemungkinan mempunyai inhibitor yang kurang efektif atau komposisi kimia yang tidak optimal dalam melindungi permukaan besi cor kelabu FC200 pada kondisi pengujian ini.

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa media pendingin memberikan pengaruh berbeda terhadap laju korosi material logam akibat perbedaan komposisi kimia dan formulasi aditif [8]. Perbedaan karakteristik masing-masing coolant terbukti berperan penting dalam menentukan besar kecilnya laju korosi.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian dan dukungan dari penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa jenis coolant radiator berpengaruh signifikan terhadap laju korosi besi cor kelabu FC200. Coolant dengan formulasi inhibitor yang lebih baik mampu menghasilkan laju korosi yang lebih rendah, sedangkan coolant dengan komposisi aditif yang kurang optimal menunjukkan performa perlindungan yang lebih lemah.

3.3.2 Analisis Pengaruh Penambahan Ekstrak Daun Kelor pada Media Aquades

Selain pengujian menggunakan berbagai jenis coolant radiator komersial, penelitian ini juga melakukan pengujian pada media aquades dengan penambahan ekstrak daun kelor dengan beberapa variasi konsentrasi. Aquades tanpa penambahan ekstrak daun kelor digunakan sebagai media pembanding untuk mengetahui pengaruh penambahan ekstrak terhadap laju korosi material. Penggunaan media pembanding ini bertujuan untuk memberikan gambaran dasar mengenai perilaku korosi material tanpa adanya pengaruh senyawa tambahan, sehingga perubahan laju korosi yang terjadi setelah penambahan ekstrak dapat diamati dan dianalisis dengan lebih jelas. Dengan adanya pembanding tersebut, pengaruh ekstrak daun kelor terhadap karakteristik korosi pada material dapat dievaluasi secara lebih objektif berdasarkan data hasil pengujian yang diperoleh.

Hasil pengujian pada media aquades dengan variasi penambahan ekstrak daun kelor menunjukkan bahwa ekstrak tidak memberikan efek inhibisi terhadap laju korosi pada material besi cor kelabu FC200. Berdasarkan data pada Tabel 1, aquades tanpa ekstrak menghasilkan laju korosi sebesar 0,00283 mm/yr, sedangkan penambahan ekstrak 15 mL, 20 mL, dan 25 mL justru meningkatkan laju korosi menjadi berturut-turut 0,02566 mm/yr, 0,04612 mm/yr, dan 0,04756 mm/yr. Peningkatan nilai laju korosi tersebut menunjukkan bahwa penambahan ekstrak ke dalam media pengujian memberikan perubahan terhadap kondisi elektrokimia larutan yang berinteraksi langsung dengan permukaan logam. Dari hasil yang diperoleh, terlihat bahwa semakin besar konsentrasi ekstrak yang ditambahkan, maka kecenderungan laju korosi juga mengalami peningkatan. Pola kenaikan laju korosi akibat penambahan ekstrak ini juga pernah dilaporkan pada penelitian sebelumnya [5].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor hanya efektif menurunkan laju korosi pada konsentrasi tertentu, namun pada konsentrasi yang lebih tinggi laju korosi kembali meningkat [5]. Hasil tersebut mengonfirmasi bahwa keberadaan ekstrak daun kelor tidak selalu memberikan efek inhibisi, dan pada kondisi tertentu justru dapat mempercepat proses korosi. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas inhibitor alami sangat dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi yang digunakan serta kemampuan senyawa aktif untuk berinteraksi dengan permukaan logam selama proses pengujian berlangsung. Fenomena ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti ketidakstabilan senyawa organik dalam larutan, mekanisme adsorpsi inhibitor yang tidak optimal, atau meningkatnya konduktivitas elektrolit akibat penambahan senyawa organik. Kondisi tersebut dapat menyebabkan senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak tidak mampu membentuk lapisan protektif yang homogen dan stabil pada permukaan material, sehingga fungsi inhibitor tidak berjalan secara maksimal.

Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa efektivitas inhibitor sangat dipengaruhi oleh parameter seperti konsentrasi inhibitor, pH dan kandungan media korosif, suhu, serta waktu perendaman [9]. Parameter-parameter tersebut memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan senyawa inhibitor dalam membentuk lapisan adsorpsi pada permukaan logam yang mampu menghambat reaksi korosi. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, tidak terbentuknya lapisan pelindung yang stabil dari senyawa aktif seperti tanin, flavonoid, dan fenolik pada permukaan FC200 diduga menyebabkan mekanisme adsorpsi inhibitor tidak berjalan optimal. Akibatnya, keberadaan ekstrak justru meningkatkan aktivitas elektrokimia dan konduktivitas larutan, sehingga laju korosi meningkat pada seluruh konsentrasi. Hasil ini menunjukkan bahwa pada sistem pengujian yang digunakan, ekstrak daun kelor belum mampu memberikan perlindungan yang efektif terhadap material besi cor kelabu FC200, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap metode ekstraksi, variasi konsentrasi, maupun kondisi media pengujian agar potensi ekstrak sebagai inhibitor alami dapat dianalisis secara lebih mendalam.

3.3.3 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Kelor terhadap Laju Korosi

Pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun kelor terhadap laju korosi dapat diamati dari perubahan nilai rata-rata laju korosi pada media aquades dengan penambahan ekstrak sebesar 15 mL, 20 mL, dan 25 mL. Berdasarkan Tabel 1, peningkatan konsentrasi ekstrak menunjukkan kecenderungan peningkatan laju korosi pada besi cor kelabu FC200. Pada konsentrasi 15 mL diperoleh laju korosi sebesar 0,02566 mm/yr, kemudian meningkat menjadi 0,04612 mm/yr pada konsentrasi 20 mL, dan kembali meningkat menjadi 0,04756 mm/yr pada konsentrasi 25 mL. Data tersebut menunjukkan adanya hubungan antara penambahan konsentrasi ekstrak dengan perubahan perilaku korosi pada material yang diuji. Dari hasil pengujian yang diperoleh, terlihat bahwa setiap penambahan volume ekstrak ke dalam media pengujian memberikan respons yang berbeda terhadap permukaan logam, khususnya terhadap nilai laju korosi yang dihasilkan selama proses pengujian berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian ini ekstrak daun kelor tidak menunjukkan efek inhibisi, bahkan cenderung meningkatkan laju korosi.

Fenomena tersebut dapat disebabkan oleh meningkatnya jumlah senyawa organik terlarut dalam media yang dapat memperbesar aktivitas elektrokimia, terutama jika senyawa aktif seperti tanin, flavonoid, saponin, dan fenolik tidak mampu beradsorpsi secara optimal untuk membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak yang ditambahkan, maka jumlah senyawa aktif yang berada dalam larutan juga semakin besar,

namun keberadaan senyawa tersebut belum tentu memberikan perlindungan terhadap material apabila interaksi yang terjadi dengan permukaan logam tidak berlangsung secara efektif. Ketidakmampuan senyawa-senyawa tersebut membentuk film protektif dapat menyebabkan ekstrak berperan sebagai katalis reaksi korosi daripada sebagai penghambatnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan senyawa inhibitor alami tidak selalu menghasilkan penurunan laju korosi apabila mekanisme adsorpsi dan pembentukan lapisan pelindung tidak terjadi secara optimal pada permukaan material.

Temuan ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun kelor dapat menurunkan laju korosi [4], serta penelitian lain yang juga menemukan pola penurunan laju korosi dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor [10]. Hasil yang berbeda tersebut menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak daun kelor sebagai inhibitor alami masih sangat bergantung pada kondisi pengujian yang diterapkan pada masing-masing penelitian. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas ekstrak daun kelor sebagai inhibitor sangat dipengaruhi oleh jenis material, kondisi media korosif, pH, dan mekanisme adsorpsi senyawa organik pada permukaan logam. Selain itu, struktur mikro material, komposisi kimia logam, serta kestabilan senyawa aktif dalam larutan juga dapat memberikan pengaruh terhadap kemampuan ekstrak dalam menghambat reaksi korosi.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa variasi konsentrasi ekstrak daun kelor memberikan pengaruh terhadap laju korosi, namun pengaruh tersebut berupa peningkatan laju korosi seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan ekstrak dalam jumlah yang lebih tinggi belum mampu menghasilkan efek perlindungan terhadap permukaan besi cor kelabu FC200 pada kondisi pengujian yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor tidak efektif sebagai inhibitor pada sistem pengujian menggunakan besi cor kelabu FC200 dalam media aquades, serta efektivitasnya sangat bergantung pada karakteristik material dan lingkungan korosif yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai konsentrasi optimum, metode ekstraksi, serta kondisi lingkungan pengujian agar potensi ekstrak daun kelor sebagai inhibitor alami dapat dievaluasi secara lebih mendalam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis coolant radiator komersial memberikan pengaruh terhadap laju korosi besi cor kelabu FC200. Nilai laju korosi rata-rata yang diperoleh menunjukkan variasi pada setiap coolant, dimana coolant E memiliki laju korosi terendah sebesar 0,00248 mm/yr, sedangkan coolant B tertinggi sebesar 0,02919 mm/yr. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan formulasi dan kandungan aditif pada coolant memengaruhi kemampuan proteksi terhadap korosi.
2. Pengujian pada media aquades menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun kelor tidak memberikan efek inhibisi, melainkan meningkatkan laju korosi. Aquades tanpa ekstrak menghasilkan laju korosi sebesar 0,00283 mm/yr, sedangkan penambahan ekstrak 15 mL, 20 mL, dan 25 mL meningkatkan laju korosi menjadi 0,02566 mm/yr, 0,04612 mm/yr, dan 0,04756 mm/yr.
3. Variasi konsentrasi ekstrak daun kelor menunjukkan kecenderungan peningkatan laju korosi seiring bertambahnya konsentrasi. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah senyawa organik tidak membentuk lapisan pelindung yang efektif, tetapi justru meningkatkan aktivitas elektrokimia pada permukaan logam.
4. Nilai laju korosi pada aquades tanpa ekstrak lebih rendah dibandingkan beberapa coolant radiator komersial, seperti coolant B dan coolant C, yang menunjukkan bahwa tingkat korosivitas media dipengaruhi oleh komposisi kimia dan kandungan ion atau senyawa aktif dalam media tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] Yanuar, Ardi Prasetya, Herman Pratikno, dan Harmin Sulistiyaning Titah. 2016. Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5, No. 2: G-297–G-299.
- [2] Mustofa, F.L., Husna, I., Safitri, D.N.L., 2022. Analisis Kandungan Mineral Dalam Air Sumur, Air Minum Botol Kemasan dan Air Isi Ulang di Kecamatan Kemiling Bandar Lampung. *Mahesa: Malahayati Health Student Journal* 2(1), 171–177.
- [3] Zuhairi, R., Kosjoko, K., Mufarida, N.A., 2025. Pengaruh Variasi Ekstrak Daun Kelor, Daun Sembukan, Daun Kapuk Terhadap Laju Korosi Baja ST 37. *JURITEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer* 5(3), 430–439.
- [4] Yusuf, M., Rahmaniah, R., Rani, S.R.A., 2023. Uji Laju Korosi dengan Menggunakan Inhibitor Daun Kelor untuk Besi Hollow (Baja Galvalum) dalam Medium Air Hujan. *JoP* 8(3), 87–92.
- [5] Chandra, M.T., 2025. Analisis Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera* L.) sebagai Inhibitor Laju Korosi pada Radiator Motor. Skripsi. Universitas Tidar.

- [6] Umardani, Yusuf, dan Tony Rizal Nurferdian. 2009. Pengaruh Penambahan Kandungan Silikon pada Besi Cor Kelabu dengan Metode Fluiditas Strip Mould terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Rotasi*, Vol. 11, No. 3, Juli 2009: 5–10.
- [7] Mulyono, W., Sangian, H., Sudjadi, U., 2022. Studi tentang sifat korosi dan kekerasan dari material baut dan mur lokal. *Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM)* 1(1), 109–115.
- [8] Tarigan, S.A.R.S., 2020. Pengaruh coolant terhadap efektivitas pendinginan dan laju korosi material kuningan. Universitas Islam Riau.
- [9] Prayitno, D., 2022. Peninjauan: Profil corrosion green inhibitor berbahan alam Indonesia. *Metrik Serial Humaniora dan Sains* 3(1).
- [10] Zanata, R., 2019. Pengaruh variasi konsentrasi dan temperatur ekstrak daun kelor sebagai inhibitor organik pada baja API 5L grade B dalam larutan HCl. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.