

ANALISIS PENGARUH JENIS AIR RADIATOR DAN PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN KELOR (*MORINGA OLIEFERA*) SEBAGAI INHIBITOR ALAMI TERHADAP LAJU KOROSI STAINLESS STEEL 304

*Farid Prasetyo¹, 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: farprsty@gmail.com

Abstrak

Sistem pendingin kendaraan beroperasi pada lingkungan yang korosif, sehingga menuntut penggunaan inhibitor untuk melindungi komponen berbahan *Stainless Steel 304* (SS 304). Penggunaan bahan kimia sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan mendorong perlunya transisi menuju green inhibitor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai inhibitor korosi organik pada SS 304 dan membandingkan kinerjanya secara komparatif dengan air radiator komersial. Pengujian korosi dilakukan melalui metode polarisasi potentiodynamik menggunakan variasi media uji berupa aquades, air radiator komersial, serta penambahan larutan ekstrak kelor pada konsentrasi 10% hingga 50%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak berbanding lurus dengan penurunan laju korosi. Laju korosi terendah dicapai pada konsentrasi 50% sebesar 0,000102 mmpy, turun secara signifikan dibandingkan media aquades murni tanpa inhibitor (0,000839 mmpy). Nilai ini juga terbukti setara dengan performa tiga jenis air radiator komersial yang diuji (0,0001–0,00011 mmpy). Analisis kurva Tafel membuktikan bahwa ekstrak daun kelor bertindak secara dominan sebagai inhibitor anodik, dengan efisiensi perlindungan maksimum mencapai 87,84%. Keberhasilan pembentukan lapisan pasif ini didukung oleh pengamatan mikrografi optik yang memperlihatkan absennya indikasi korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada permukaan material. Secara keseluruhan, ekstrak *Moringa oleifera* terbukti efektif dan prospektif untuk diaplikasikan sebagai alternatif pelindung korosi yang ramah lingkungan pada sistem pendingin otomotif.

Kata kunci: daun kelor; *green inhibitor*; laju korosi; sistem pendingin; *stainless steel 304*

Abstract

Vehicle cooling systems operate in highly corrosive environments, necessitating the use of inhibitors to protect *Stainless Steel 304* (SS 304) components. The potential environmental hazards associated with synthetic chemical inhibitors have driven the need to transition towards green inhibitors. This study aims to evaluate the effectiveness of *Moringa oleifera* leaf extract as an organic corrosion inhibitor for SS 304 and comparatively analyze its performance against commercial radiator coolants. Corrosion testing was conducted using the potentiodynamic polarization method in various test media, including distilled water, commercial coolants, and extract solutions at concentrations ranging from 10% to 50%. The results indicated that the corrosion rate decreased proportionally with the increase in extract concentration. The lowest corrosion rate of 0.000102 mmpy was achieved at a 50% concentration, representing a significant reduction compared to the baseline distilled water without inhibitors (0.000839 mmpy). This performance was found to be comparable to the three types of commercial coolants tested (0.0001–0.00011 mmpy). Tafel curve analysis demonstrated that the *Moringa oleifera* extract acts predominantly as an anodic inhibitor, yielding a maximum inhibition efficiency of 87.84%. The successful formation of a passive film was corroborated by optical micrography, which revealed the absence of pitting corrosion on the material surface. In conclusion, *Moringa oleifera* extract is highly effective and holds great promise as an eco-friendly alternative for corrosion protection in automotive cooling systems.

Keywords: corrosion rate; cooling system; green inhibitor; *moringa oleifera*; stainless steel 304

1. Pendahuluan

Sistem pendingin kendaraan beroperasi pada lingkungan yang sangat korosif, bersifat elektrolit, dan bersuhu tinggi, sehingga rentan terhadap degradasi material seperti korosi celah (*crevice*) dan *pitting* (Akrom, 2022). Untuk mengatasi kondisi operasi yang ekstrem ini, *stainless steel 304* (SS 304) sering diaplikasikan secara ekstensif pada komponen sirkulasi dan pompa air karena resistensi korosi dan stabilitas mekaniknya yang optimal ([1]; [2]). Meskipun SS 304 memberikan perlindungan struktural yang baik, fluktuasi termal dan paparan aditif pendingin secara terus-menerus tetap memicu risiko korosi seiring berjalannya waktu pengoperasian.

Sebagai langkah preventif, penambahan inhibitor korosi sintetis seperti kromat, nitrit, dan fosfat umum digunakan dan terbukti efektif. Akan tetapi, penggunaan inhibitor kimia dalam jangka panjang dapat memicu penurunan keandalan sistem pendingin serta menimbulkan pencemaran lingkungan karena sifat toksisitasnya yang sulit terurai secara alami [3]. Oleh karena itu, diperlukan transisi menuju pemanfaatan *green inhibitor* berbahan dasar organik nabati yang mampu membentuk lapisan pelindung pasif pada permukaan logam untuk menekan laju korosi dengan cara yang lebih ramah lingkungan [4].

Beberapa studi sebelumnya telah membuktikan efektivitas ekstrak bahan alam sebagai inhibitor korosi pada komponen otomotif. Seperti ekstrak daun jambu biji (*Psidium guajava*) terbukti mampu menurunkan laju korosi tembaga pada inti radiator hingga 72% [5]. Sebagai alternatif yang sangat prospektif, daun kelor (*Moringa oleifera*) memiliki kandungan senyawa bioaktif tinggi seperti flavonoid, polifenol, dan tanin yang berfungsi sangat baik sebagai antioksidan pembentuk lapisan pelindung logam [6]. Penelitian ekstrak daun kelor sebelumnya telah terbukti secara signifikan menurunkan laju korosi pada baja galvalum dengan efisiensi mencapai 91%–99% dalam media air hujan [7].

Meskipun potensinya terbukti besar, evaluasi mendalam mengenai pengaruh inhibitor alami dari ekstrak daun kelor terhadap laju korosi SS 304 yang secara spesifik diaplikasikan pada lingkungan sistem pendingin radiator belum banyak dieksplorasi. Berdasarkan rumpang penelitian (*research gap*) tersebut, studi ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas ekstrak *Moringa oleifera* sebagai *green inhibitor* pada SS 304 dan membandingkan kinerjanya secara komparatif dengan air radiator komersial. Melalui pengujian korosi elektrokimia dengan variasi media pendingin, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi perlindungan komponen otomotif yang efektif dalam menghambat korosi sekaligus mendukung keberlanjutan kelestarian lingkungan.

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan *Stainless Steel* 304 (SS 304) yang komposisinya diverifikasi menggunakan *Optical Emission Spectrometer* (OES). Ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai *green inhibitor* disintesis melalui maserasi dengan pelarut alkohol 96% dan dievaporasi hingga menghasilkan ekstrak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Hasil Ekstrak Daun Kelor

Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan instrumen Potensiostat CorrTest Tipe CS300 pada media uji aquades, air radiator komersial, dan variasi konsentrasi ekstrak kelor 10 % hingga 50%. Sebelum diuji, spesimen di-*mounting* dengan resin untuk mencegah korosi celah, kemudian diampelas (*grit* 240–1200) dan dipoles. Analisis kerusakan permukaan pasca-pengujian diobservasi menggunakan mikroskop optik metalografi.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil Pengujian Korosi

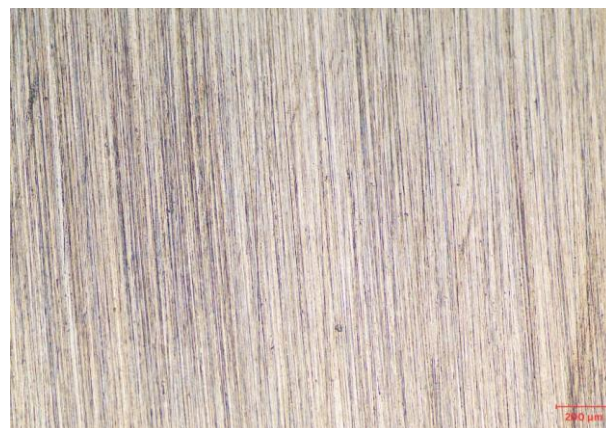
Variasi Elektrolit	Percobaan Pengujian			Rata-rata (mmpy)
	I (mmpy)	II (mmpy)	III (mmpy)	
Aquades (base)	0,00152	0,000543	0,000454	0,000839
Aquades + 10 % Ekstrak Kelor	0,00039	0,000387	0,000386	0,000388
Aquades + 20 % Ekstrak Kelor	0,000147	0,000206	0,000153	0,000169
Aquades + 30 % Ekstrak Kelor	0,000126	0,000157	0,000145	0,000143
Aquades + 40 % Ekstrak Kelor	0,000141	0,000107	0,00011	0,000119
Aquades + 50 % Ekstrak Kelor	0,000077	0,000122	0,000107	0,000102
Air Radiator Komersial 1	0,000112	0,000089	0,000099	0,0001
Air Radiator Komersial 2	0,000124	0,0001	0,000105	0,00011
Air Radiator Komersial 3	0,000094	0,000103	0,000103	0,0001

Berdasarkan data pada Tabel 1, pengujian menggunakan media aquades murni (base) menghasilkan rata-rata laju korosi tertinggi pada spesimen uji, yaitu sebesar 0,000839 mmpy. Penambahan ekstrak daun kelor menunjukkan tren penurunan rata-rata laju korosi seiring dengan peningkatan konsentrasi yang diberikan. Pada penambahan 10% ekstrak, laju korosi tercatat turun menjadi 0,000388 mmpy. Nilai rata-rata laju korosi ini terus mengalami penurunan secara berturut-turut pada variasi konsentrasi 20% (0,000169 mmpy), 30% (0,000143 mmpy), dan 40% (0,000119 mmpy), hingga mencatatkan angka terendah pada konsentrasi 50% dengan laju korosi sebesar 0,000102 mmpy. Di sisi lain, hasil pengujian menggunakan tiga jenis variasi air radiator komersial menghasilkan rata-rata laju korosi pada rentang 0,0001 mmpy hingga 0,00011 mmpy.

Hasil pengujian tersebut sesuai dengan hasil pengamatan visual permukaan spesimen setelah direndam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



(a)

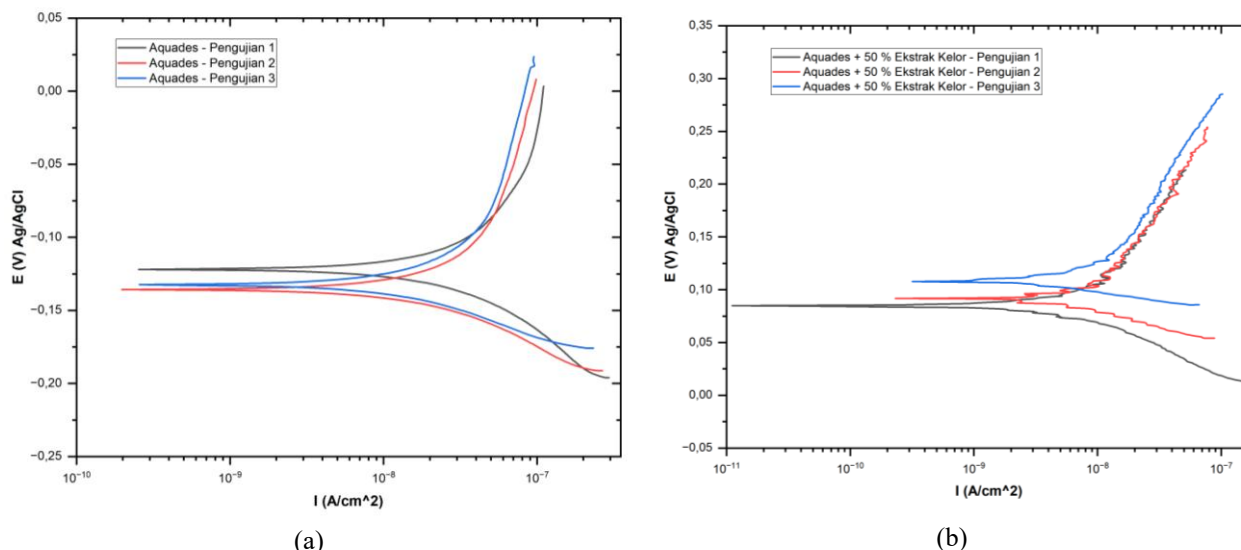


(b)

Gambar 3. Visualisasi Permukaan Spesimen Setelah Perendaman (a) Media Aquades; (b) Media Aquades + 50 % Ekstrak Kelor

Gambar 3 menunjukkan perbandingan kondisi fisik antara spesimen dengan laju korosi tertinggi dan terendah. Pada spesimen yang direndam dalam media aquades (Gambar 3a), terlihat jelas adanya bercak-bercak atau noda gelap yang tersebar di permukaan material. Pembentukan noda gelap ini merupakan indikasi awal terjadinya korosi sumuran (*pitting corrosion*) [8][9], di mana media korosif mulai merusak lapisan pasif logam secara lokal. Sebaliknya, spesimen yang direndam dengan penambahan ekstrak kelor 50% (Gambar 3b) memiliki permukaan yang jauh lebih bersih dan homogen. Garis-garis alur polesan awal pada logam masih tampak sangat jelas tanpa adanya indikasi noda gelap maupun cacat permukaan.

Bukti visual mengenai tingkat degradasi permukaan tersebut sejalan dengan perilaku kinetika korosi secara elektrokimia yang terjadi pada material. Untuk menganalisis lebih lanjut fenomena pelarutan anodik pada media aquades serta efektivitas pembentukan lapisan pasif oleh inhibitor, perbandingan kurva polarisasi Tafel antara spesimen dengan laju korosi tertinggi (aquades) dan terendah (ekstrak 50%) disajikan pada Gambar 4 berikut.

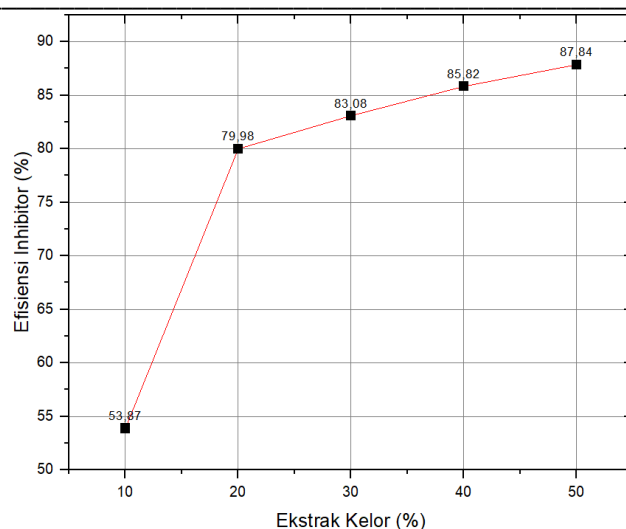


Gambar 4. Diagram Tafel (a) Media Aquades; (b) Media Aquades + 50 % Ekstrak Kelor

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan kurva polarisasi Tafel antara spesimen yang diuji pada media aquades (Gambar 4a) dan media dengan penambahan 50% ekstrak daun kelor (Gambar 4b). Berdasarkan grafik tersebut, terlihat jelas adanya pergeseran letak kurva pada sumbu X yang merepresentasikan nilai rapat arus ($\log I$). Kurva spesimen pada media aquades (Gambar 3a) berada di area rapat arus yang lebih tinggi, mengindikasikan kinetika pelarutan logam yang berlangsung secara cepat dan aktif. Sebaliknya, saat ditambahkan ekstrak kelor 50% (Gambar 4b), seluruh kurva polarisasi secara signifikan bergeser ke arah kiri menuju nilai rapat arus yang jauh lebih rendah. Pergeseran ke arah rapat arus yang lebih kecil ini membuktikan secara elektrokimia bahwa senyawa dalam ekstrak daun kelor berhasil menekan laju perpindahan elektron [10], sehingga sejalan dengan perolehan nilai laju korosi terendah pada perhitungan sebelumnya.

Selain pergeseran rapat arus, grafik polarisasi juga memperlihatkan perubahan perilaku pada nilai potensial korosi (E_{corr}) di sumbu Y. Kurva spesimen dengan penambahan ekstrak 50% mengalami pergeseran posisi ke arah potensial yang jauh lebih positif (ke atas) jika dibandingkan dengan posisi kurva pada media aquades murni. Berdasarkan prinsip elektrokimia, pergeseran E_{corr} ke arah yang lebih positif atau mulia (*noble direction*) ini mengindikasikan bahwa ekstrak daun kelor bekerja secara dominan sebagai inhibitor tipe anodik [11][12]. Senyawa metabolit sekunder pada ekstrak bekerja efektif dengan cara teradsorpsi ke situs aktif anodik di permukaan *Stainless Steel 304*, membentuk lapisan film pasif yang rapat, dan secara langsung menghambat reaksi oksidasi atau pelarutan logam tersebut [13][6].

Performa ekstrak daun kelor dalam membentuk lapisan pasif dan menghambat reaksi korosi tersebut dapat dinyatakan dalam persentase efisiensi inhibisi, dimana penambahan ekstrak 50% menunjukkan efisiensi inhibisi sebesar 87,84 %. Grafik hubungan antara penambahan konsentrasi ekstrak daun kelor dengan tingkat efisiensi inhibisi yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Efisiensi Inhibisi Penambahan Ekstrak Daun Kelor

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terbukti efektif sebagai *green inhibitor* untuk material *Stainless Steel* 304. Peningkatan konsentrasi ekstrak secara konsisten mampu menurunkan laju korosi terendah sebesar 0,000102 mmpy pada konsentrasi 50%, dengan persentase efisiensi perlindungan maksimum mencapai 87,84%. Analisis elektrokimia dan visual mengonfirmasi bahwa ekstrak ini bekerja dominan sebagai inhibitor anodik yang sukses membentuk lapisan pasif guna mencegah inisiasi korosi sumuran (*pitting corrosion*).

5. Daftar Pustaka

- [1] J. Zhong *et al.*, "High Hardness, Excellent Hydrophobicity, and Favorable Corrosion Resistance of Plasma-Sprayed FeCrMoSi Amorphous Coatings on 304 Stainless Steel," *Molecules*, vol. 28, no. 18, Sep. 2023, doi: 10.3390/molecules28186718.
- [2] M. Sinha and R. K. Tyagi, "Strength and corrosion analysis in alloy steel and E-glass composite wear ring in automotive engine cooling water pump," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 1474–1478. doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.054.
- [3] I. O. Sadiq, Y. Aliyu, A. E. Jatau, A. I. Marvelous, and S. M. Anaisi, "Enhancing Durability and Adhesion of Moringa Oleifera as Green Corrosion Inhibitor on Mild Steel using Lignin-Based Polymer from Coconut Shell," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 4, 2024, doi: 10.46792/fuoyej.v9i4.23.
- [4] A.S. Fouda, A.M. Ahmed, S.M. El-Darier, and I.M. Ibrahim, "Moringa oleifera as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solution," *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, Dec. 2020, doi: 10.17675/2305-6894-2020-9-4-27.
- [5] M. A. Muhlisin and B. Yunitasari, "Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium guajava) Terhadap Laju Korosi Material Tembaga 141 PENGARUH KONSENTRASI EKSTRAK DAUN JAMBU BIJI (PSIDIUM GUAJAVA) TERHADAP LAJU KOROSI MATERIAL TEMBAGA PADA INTI RADIATOR MOBIL," *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, vol. 12, pp. 141–146, 2024.
- [6] R. T. Vashi, "Moringa oleifera as an Eco-friendly Corrosion Inhibitor for Protection of Metals and Alloys-A Review," *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 2025, no. 6, pp. 1008–1028, 2025, [Online]. Available: <http://www.jmaterenvironsci.com>
- [7] M. Yusuf, S. Risqi Adikaning Rani Jurusan Fisika, F. Sains dan Teknologi, U. Alauddin Makassar, and J. Sultan Alauddin No, "UJI LAJU KOROSI DENGAN MENGGUNAKAN INHIBITOR DAUN KELOR UNTUK BESI HOLLOW (BAJA GALVALUM) DALAM MEDIUM AIR HUJAN," *Journal Online Of Physics*, vol. 8, no. 3, pp. 87–92, Aug. 2023.
- [8] F. Bikić, D. Kasapović, F. Bikić, and D. Kasapović, "Investigation of general corrosion of austenitic stainless steel types 304 L and 317 L, especially from the aspect of their chemical composition," *Zastita Materijala*, vol. 66, no. 3, pp. 611–617, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2022.104467>.
- [9] M. Wasim and M. B. Djukic, "External corrosion of oil and gas pipelines: A review of failure mechanisms and predictive preventions," Apr. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jngse.2022.104467.
- [10] A. F. Hamood *et al.*, "Weight loss, electrochemical measurements and DFT studies on corrosion inhibition by 7-mercapto-4-methylcoumarin," *Results in Engineering*, vol. 23, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102677.
- [11] M. Allaoui, O. Rahim, A. Lounes, L. Dokkar, and K. Djabou, "ECO-FRIENDLY INHIBITORS BY MORINGA OLEIFERA LEAVES EXTRACT ON THE CORROSION OF CARBON STEEL IN 1M HYDROCHLORIC

-
- ACID,” *Journal Marocain de Chimie Hétérocyclique Moroccan Journal of Heterocyclic Chemistry J. Mar. Chim. Heterocycl*, vol. 19, no. 2, 2020.
- [12] C. Nyby *et al.*, “Electrochemical metrics for corrosion resistant alloys,” *Sci. Data*, vol. 8, no. 1, p. 58, Feb. 2021, doi: 10.1038/s41597-021-00840-y.
- [13] H. Perumalsamy *et al.*, “A comprehensive review on Moringa oleifera nanoparticles: importance of polyphenols in nanoparticle synthesis, nanoparticle efficacy and their applications,” Dec. 01, 2024, *BioMed Central Ltd*. doi: 10.1186/s12951-024-02332-8.