

INHIBITOR KOROSI DARI DAUN POHON KAPUK DENGAN EFEKTIFITAS PERLINDUNGAN YANG BAIK PADA LINGKUNGAN ASAM

CORROSION INHIBITOR FROM KAPOK TREE LEAVES WITH GOOD PROTECTIVE EFFECTIVENESS IN ACIDIC ENVIRONMENTS

Syarif Hidayatullah¹⁾, Suteja¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia
email: syarift008@gmail.com*

Received:

23 Agustus
2025

Accepted:

28 September
2025

Published:

28 September
2025

Abstract

*The pickling process in an acidic environment often presents significant environmental challenges, primarily due to the use of synthetic organic compounds as corrosion inhibitors to protect the surface of carbon steel. To minimize environmental impact and reduce the corrosion rate, the development of natural material-based corrosion inhibitors is crucial. In this study, the leaf extract of the kapok tree (*Ceiba pentandra*) was evaluated as a corrosion inhibitor for carbon steel in 1 M HCl solution. The performance of the inhibitor was characterized using Tafel polarization and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) tests with varying extract concentrations. The research results show that kapok leaf extract forms a compact and homogeneous protective layer on the metal surface, thereby significantly reducing the corrosion rate. At an optimum concentration of 3000 mg/L, the protection efficiency reaches 80,29%. EIS tests show a drastic increase in polarization resistance values, indicating the formation of an effective inhibitor film. This study proves that kapok tree leaf extract has great potential as an environmentally friendly corrosion inhibitor in acidic environments and offers a sustainable alternative to the use of synthetic inhibitors in industrial applications.*

Keywords: Inhibitor, Steel, Natural Extract, Kapok Leaves, Corrosion

Abstrak

Proses pickling dalam lingkungan asam sering menimbulkan tantangan lingkungan yang signifikan terutama akibat penggunaan senyawa organik sintetis sebagai inhibitor korosi untuk melindungi permukaan baja karbon. Untuk meminimalkan dampak lingkungan dan mengurangi laju korosi, pengembangan inhibitor korosi berbasis bahan alami menjadi penting. Dalam penelitian ini, ekstrak daun pohon kapuk (*Ceiba pentandra*) dievaluasi sebagai inhibitor korosi pada baja karbon dalam larutan HCl 1 M. Karakterisasi kinerja inhibitor dilakukan melalui uji polarisasi Tafel dan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) dengan variasi konsentrasi ekstrak. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa ekstrak daun kapuk membentuk lapisan pelindung yang kompak dan homogen pada permukaan logam sehingga secara signifikan menurunkan laju korosi. Pada konsentrasi optimum 3000 mg/L, efisiensi perlindungan mencapai 80,29 %. Uji EIS menunjukkan peningkatan drastis nilai resistansi polarisasi menandakan terbentuknya film inhibitor yang efektif. Studi ini membuktikan bahwa ekstrak daun pohon kapuk memiliki potensi besar sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan pada lingkungan asam serta menawarkan alternatif berkelanjutan bagi penggunaan inhibitor sintetis dalam aplikasi industri.

Kata Kunci: Inhibitor, Baja, Ekstrak Alam, Daun Kapuk, Korosi

DOI: 10.20527/jtam_rotary.v7i2.16569

How to cite: Hidayatullah, S., & Suteja., "Inhibitor Korosi Dari Daun Pohon Kapuk Dengan Efektifitas Perlindungan Yang Baik Pada Lingkungan Asam". *JTAM ROTARY*, 7(2), 219-228, 2025.

PENDAHULUAN

Korosi logam menjadi salah satu tantangan utama dalam berbagai bidang industri terutama pada industri pengolahan logam, kimia, petrokimia serta perminyakan dan gas (Makhlouf *et al.*, 2018). Proses korosi menyebabkan kerusakan material, menurunkan kekuatan mekanik serta meningkatkan biaya perawatan dan penggantian peralatan. Kerugian ekonomi akibat korosi secara global diperkirakan mencapai triliunan dolar Amerika setiap tahunnya sehingga pengendalian korosi menjadi sangat vital untuk efisiensi operasional dan keberlanjutan industri (Jalab *et al.*, 2022). Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengatasi korosi khususnya dalam lingkungan asam seperti proses pickling dan descaling adalah dengan penambahan inhibitor korosi ke dalam sistem (Deyab, 2020). Inhibitor korosi berfungsi membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam sehingga meminimalkan kontak langsung antara logam dengan media korosif dan menurunkan laju reaksi korosi.



Gambar 1. Korosi Logam

Penggunaan larutan asam seperti asam klorida (HCl) dalam proses pembersihan permukaan logam sangat luas di industri baja dan logam ringan karena kemampuannya yang efektif dalam menghilangkan oksida dan kerak (Goyal *et al.*, 2018; Yildiz *et al.*, 2021). Namun, penggunaan asam yang agresif juga mempercepat laju korosi pada logam dasar sehingga diperlukan inhibitor korosi yang efisien untuk menjaga integritas material selama proses tersebut. Inhibitor korosi konvensional umumnya berbasis bahan organik atau anorganik sintetik seperti senyawa berbasis amina, fosfat, atau senyawa logam berat. Meskipun efektif, penggunaannya seringkali menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan seperti toksisitas, bioakumulasi, dan potensi polusi air serta tanah. Oleh karena itu, pencarian alternatif inhibitor korosi yang ramah lingkungan dan berbahan dasar alam menjadi fokus penelitian yang semakin berkembang dalam dekade terakhir (Verma *et al.*, 2021).



Gambar 2. Asam Klorida (HCl)

Inhibitor korosi berbasis bahan alami (green corrosion inhibitors) menawarkan sejumlah keunggulan diantaranya adalah ketersediaan melimpah, biodegradabilitas yang baik, minim toksisitas, dan potensi untuk diaplikasikan pada skala industri (Zomorodian & Behnood, 2023). Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas ekstrak tumbuhan

sebagai inhibitor korosi seperti ekstrak daun tembakau, kulit pisang, daun pepaya, dan biji jinten hitam yang mengandung senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, tanin, dan saponin (R. Holla *et al.*, 2024). Senyawa-senyawa ini memiliki gugus fungsional yang mampu berinteraksi dengan permukaan logam baik melalui adsorpsi fisik maupun kimia membentuk film pelindung yang dapat menghambat laju korosi. Namun, efektivitas inhibitor alami sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia ekstrak, konsentrasi serta kondisi lingkungan sehingga setiap potensi sumber hayati perlu dikaji secara spesifik (Dehghani *et al.*, 2024).

Pohon kapuk (*Ceiba pentandra*) merupakan salah satu tanaman tropis yang banyak ditemukan di Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Daun pohon kapuk diketahui kaya akan senyawa polifenol, flavonoid, dan tanin yang secara teoritis dan empiris berpotensi sebagai agen antioksidan sekaligus inhibitor korosi (Ardyn *et al.*, 2023). Banyak penelitian telah melaporkan bahwa ekstrak daun dari tumbuhan telah menunjukkan aktivitas penghambatan korosi pada lingkungan netral, asam, dan basa, namun kajian mendalam mengenai efektivitas daun kapuk sebagai inhibitor masih belum banyak terutama di lingkungan asam seperti larutan HCl yang sering diaplikasikan dalam industri. Studi ini menjadi penting mengingat kebutuhan industri akan bahan inhibitor yang tidak hanya efektif, namun juga ramah lingkungan dan mudah didapatkan secara lokal.



Gambar 3. Pohon Kapuk

Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas ekstrak daun kapuk sebagai inhibitor korosi terhadap baja karbon dalam larutan HCl 1 M. Pengujian dilakukan menggunakan metode elektrokimia yaitu polarisasi Tafel dan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) untuk memperoleh data kuantitatif mengenai laju korosi dan mekanisme perlindungan yang terbentuk di permukaan logam. Selain mengkaji efisiensi perlindungan berdasarkan konsentrasi ekstrak, penelitian ini juga menganalisis karakteristik film pelindung yang terbentuk serta membandingkan hasilnya dengan inhibitor sintetik berbasis organik yang telah banyak dilaporkan. Dengan demikian diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan green corrosion inhibitor berbasis sumber daya lokal yang aplikatif bagi industri dan berkelanjutan secara lingkungan.

METODE PENELITIAN

Persiapan Ekstrak Daun Kapuk

Daun kapuk segar dicuci, dikeringkan, dan digiling menjadi serbuk. Ekstraksi dilakukan menggunakan pelarut etanol 96% dengan metode maserasi selama 48 jam. Ekstrak dipisahkan dengan rotary evaporator hingga diperoleh residu kental.

Persiapan Spesimen dan Larutan Uji

Sampel baja karbon Q325 dipotong ukuran 3,5 cm × 1,0 cm × 0,5 cm digosok dengan amplas 1500 grit lalu dibersihkan ultrasonik menggunakan aseton dan etanol

kemudian dikeringkan dengan udara. Larutan uji berupa HCl 1 M disiapkan dan ekstrak daun kapuk ditambahkan dengan variasi konsentrasi (blank, 1000, 2000, dan 3000 mg/L).

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon Q325 (Wang et al., 2019)

Fe	C %	Cr %	Cu %	Mn %	Mo %	Ni %	P %	S %	Si %	V %
Bal.	0,167	0,019	0,004	0,284	0,001	0,004	0,021	0,010	0,162	0,001

Pengujian Elektrokimia

Pengujian elektrokimia dilakukan menggunakan sistem tiga elektroda: elektroda kerja (baja karbon), elektroda pembanding (3 M KCl), dan elektroda pembantu (platina) (Gapsari *et al.*, 2022). Sampel direndam dalam larutan selama 30 menit sebelum pengukuran. Kurva polarisasi Tafel diukur dengan sweep rate 10 mV/s dalam rentang potensial -0,8 hingga 0 V. EIS dilakukan pada frekuensi 10^{-1} hingga 10 Hz dengan amplitudo 0,005 V. Data difit menggunakan model setara rangkaian R(QR). Untuk mendapatkan efisiensi ditampilkan pada persamaan di bawah ini (Hidayatullah *et al.*, 2024; Syarif Hidayatullah *et al.*, 2025):

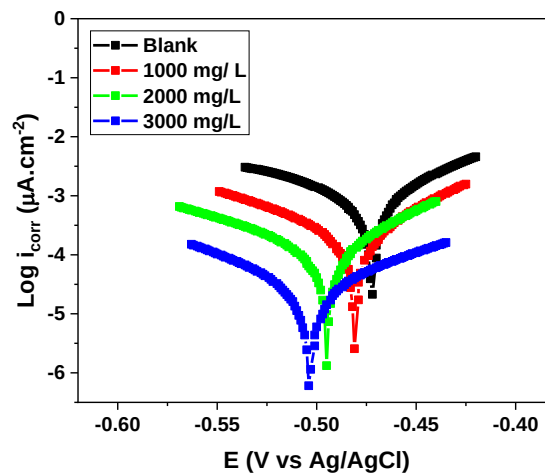
$$IE(\%) = \frac{I_{corr}^0 \times I_{corr}'}{I_{corr}^0} \times 100 \quad (1)$$

$$IE(\%) = \frac{R_p - R_p^0}{R_p} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potentiodynamic Polarization (PDP)

Kinerja penghambatan korosi ekstrak daun kapuk pada baja karbon dalam 1 M HCl diselidiki secara sistematis menggunakan teknik polarisasi potensiodinamik. Kurva polarisasi Tafel (lihat Gambar 4) menunjukkan pergeseran yang signifikan dalam nilai kerapatan arus seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak daun kapuk, menyoroti potensi ekstrak tersebut sebagai inhibitor korosi alami.



Gambar 4. Kurva Tafel PDP

Tanpa adanya inhibitor, sampel baja karbon menunjukkan kerapatan arus korosi (I_{corr}) sebesar $30,38 \times 10^{-4}$ (A/cm²) yang mengindikasikan proses korosi yang cepat dalam media asam (Zheng *et al.*, 2023). Setelah penambahan ekstrak daun kapuk pada konsentrasi bertahap (1000, 2000, dan 3000 mg/L) penurunan signifikan pada I_{corr} diamati, dengan nilai tercatat masing-masing $12,50 \times 10^{-4}$, $9,18 \times 10^{-4}$, dan $5,98 \times 10^{-4}$ (A/cm²) (lihat Tabel 2). Pengurangan kepadatan arus korosi yang signifikan ini berkorelasi langsung

dengan kemampuan ekstrak untuk meredam baik pelarutan anodik besi maupun reaksi evolusi hidrogen katodik (Li *et al.*, 2025).

Efisiensi inhibisi (IE%) dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2). Pada konsentrasi tertinggi yang diuji (3000 mg/L), efisiensi inhibisi mencapai hingga 80,29% yang menunjukkan bahwa ekstrak daun kapuk membentuk penghalang pelindung yang efektif pada permukaan logam. Efisiensi ini sebanding dengan efisiensi yang dilaporkan untuk inhibitor berbasis tumbuhan lainnya.

Nilai potensial korosi (E_{corr}) bergeser minimal dari $-0,47$ V (larutan blanko) menjadi $-0,51$ V (3000 mg/L), menunjukkan bahwa inhibitor bertindak sebagai inhibitor tipe campuran terutama memengaruhi proses anodik dan katodik. Temuan ini diperkuat oleh fakta bahwa pergeseran E_{corr} kurang dari 0,85 V, ambang batas yang umum digunakan untuk membedakan antara mekanisme inhibisi tipe anodik, katodik, dan campuran (Dehghani *et al.*, 2019).

Tabel 2. Parameter kurva tafel dari inhibitor

C	β_a (V/dec)	β_c (V/dec)	E_{corr} (V)	i_{corr} (A/cm ²)x10 ⁻⁴	R_p	IE (%)
blank	0,14	0,11	-0,47	30,38	8,80	-
1000	0,15	0,10	-0,48	12,50	20,84	58,85
2000	0,17	0,13	-0,49	9,18	34,84	69,78
3000	0,18	0,13	-0,51	5,98	54,75	80,29

Lereng Tafel anodik dan katodik (β_a dan β_c) juga memberikan wawasan tentang mekanisme inhibisi. Pada konsentrasi yang lebih rendah, kemiringan ini tetap relatif tidak berubah menunjukkan bahwa inhibitor tidak secara signifikan mengubah mekanisme reaksi elektroda. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi penurunan yang lebih jelas pada kemiringan Tafel anodik tercatat, menunjukkan dampak yang lebih besar pada proses pelarutan logam. Kemiringan katodik hanya berubah sedikit menunjukkan bahwa meskipun inhibitor mengurangi evolusi hidrogen tindakan utamanya adalah pada disolusi besi anodik, sejalan dengan perilaku inhibitor berbasis tumbuhan lainnya (Dehghani *et al.*, 2019).

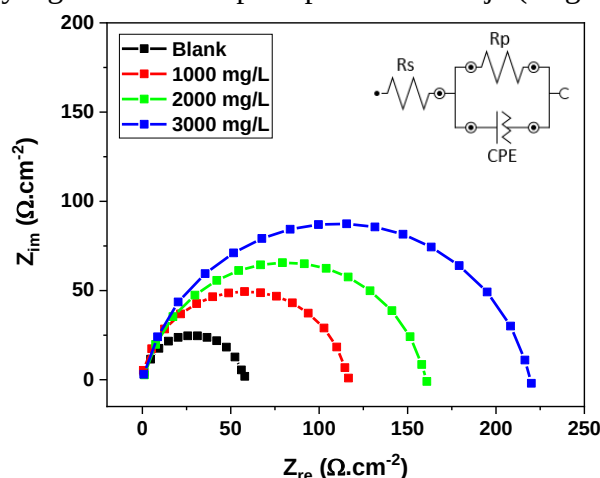
Resistansi polarisasi (R_p) dihitung menggunakan persamaan Stern-Geary (Feliu *et al.*, 1989), meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan konsentrasi inhibitor. Nilai tertinggi R_p diamati pada 3000 mg/L yang selanjutnya mengkonfirmasi peningkatan perlindungan yang diberikan oleh ekstrak daun kapuk. Tren ini konsisten dengan penurunan laju korosi karena resistansi polarisasi yang lebih tinggi secara langsung berarti proses korosi yang lebih lambat. Observasi semacam itu memperkuat keandalan teknik elektrokimia dalam mengevaluasi kinerja penghambatan korosi

Secara grafis, kurva polarisasi Tafel (lihat Gambar 1) menunjukkan pengurangan sistematis dalam kerapatan arus dengan peningkatan konsentrasi ekstrak dan perilaku Tafel yang khas tetap terjaga, menunjukkan bahwa, inhibitor bekerja terutama dengan memblokir situs korosi aktif dari pada mengubah mekanisme korosi dasar (Ma *et al.*, 2022).

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Teknik EIS digunakan untuk lebih menjelaskan perilaku protektif ekstrak daun kapuk. Plot Nyquist (lihat Gambar 5) untuk sampel baja karbon dalam 1 M HCl baik dengan maupun tanpa inhibitor menunjukkan lingkaran kapasitif setengah lingkaran yang diameternya meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi ekstrak. Peningkatan ini

menandakan peningkatan resistansi transfer muatan (R_p) yang membuktikan pembentukan lapisan penghalang yang lebih efisien pada permukaan baja (Negi *et al.*, 2024).



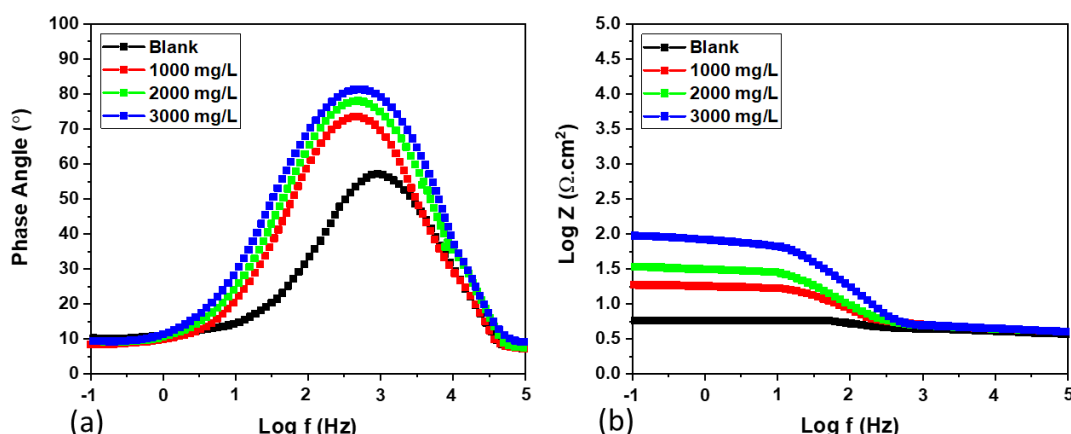
Gambar 5. Kurva nyquist EIS

Pada kondisi kosong, nilai R_p adalah $57,93 \Omega \cdot \text{cm}^2$. Dengan penambahan ekstrak pada konsentrasi 1000, 2000, dan 3000 mg/L, nilai R_p meningkat menjadi 116,57, 160,93, dan $216,41 \Omega \cdot \text{cm}^2$, secara berurutan (lihat Tabel 3). Peningkatan dramatis dalam R_p ini disertai dengan penurunan nilai CPE (elemen fase konstan) yang nyata. Nilai eksponen (N) yang mendekati satu pada konsentrasi yang lebih tinggi, menunjukkan pembentukan lapisan kapasitif yang hampir ideal seperti yang diharapkan untuk lapisan inhibitor yang seragam dan padat (Singh *et al.*, 2020).

Tabel 3. Parameter uji EIS untuk inhibitor

C	CPE ($\mu\text{F} \cdot \text{cm}^2$)	R_p ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	N	IE (%)
Blank	120,70	57,93	0,97	0,95	-
1000	100,23	116,57	0,53	0,99	50,86
2000	94,80	160,93	1,17	0,99	64,37
3000	76,27	216,41	0,83	0,99	73,61

Plot Nyquist (lihat Gambar 5) menunjukkan bahwa keberadaan ekstrak tidak hanya meningkatkan diameter setengah lingkaran tetapi juga mengindikasikan modifikasi pada sifat antarmuka dan pengurangan transfer muatan di antarmuka elektroda/larutan. Peningkatan nilai R_p yang signifikan dan penurunan nilai CPE yang sesuai pada konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi jelas menunjukkan kemampuan ekstrak untuk membentuk lapisan padat dan lengket yang menghambat akses ion klorida agresif ke permukaan logam (Negi *et al.*, 2024).



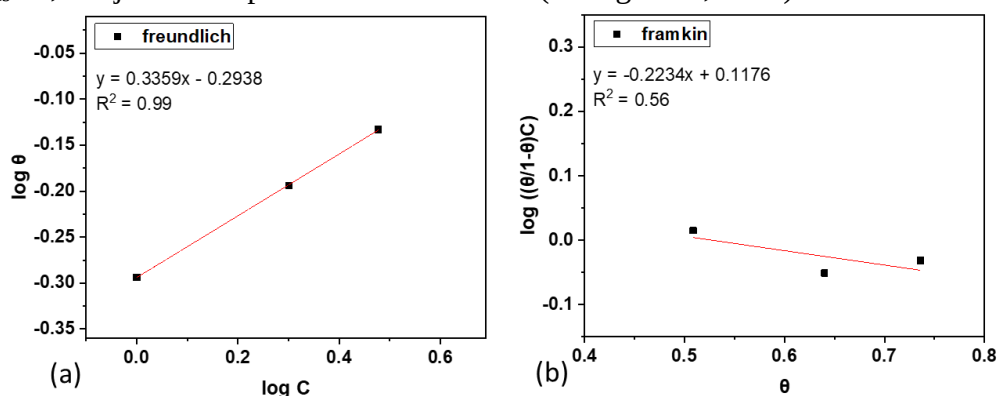
Gambar 6. Kurva (a) Fase Dan (b) Bode Modulus

Plot Bode modulus dan fase (lihat Gambar 6) lebih lanjut menguatkan temuan ini. Peningkatan impedansi pada frekuensi rendah dan konstanta waktu tunggal yang diamati pada plot sudut fase mengkonfirmasi pembentukan lapisan inhibitor yang homogen yang bertindak sebagai penghalang yang sangat efektif terhadap korosi. Pergeseran sudut fase maksimum ke nilai yang lebih tinggi seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak inhibitor juga menunjukkan peningkatan perilaku kapasitif dan pengurangan ketidak homogenan permukaan (Mobtaker *et al.*, 2022).

Efisiensi inhibisi EIS (IE%) meningkat sejalan dengan hasil Tafel, mencapai hingga 73,61 % pada konsentrasi 3000 mg/L dan mengkonfirmasi kemampuan pelindung yang tinggi dari ekstrak daun kapuk sebagai inhibitor korosi. Model rangkaian ekuivalen yang digunakan untuk mencocokkan data eksperimen (terdiri dari R_s , R_p , dan CPE) secara efektif mensimulasikan sistem korosi dan memvalidasi keandalan hasil yang diperoleh.

Adsorpsi Ishotermal

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4, model isoterm adsorpsi sering digunakan untuk menunjukkan bagaimana molekul inhibitor ekstrak labu kuning teradsorpsi. Hasil EIS digunakan untuk mempelajari proses adsorpsi permukaan. Secara umum, persamaan tersebut sangat akurat jika koefisien korelasi linier (R^2) semakin dekat dengan 1. Berdasarkan nilai R^2 dari dua model, kita dapat mengetahui bahwa model adsorpsi isotermal Freundlich mengikuti proses adsorpsi inhibitor korosi dengan nilai R^2 terbesar. Inhibitor ekstrak daun kapuk memiliki sifat adsorpsi campuran yaitu chemisorpsi (kimia) dan fisisorpsi (fisik), seperti yang ditunjukkan oleh nilai K_{ads} 1967,88 L.mol⁻¹ dan nilai ΔG_{ads} 28,73 kJ/mol dari persamaan Freundlich (Zhang *et al.*, 2020).



Gambar 7. Kurva adsorpsi ishotermal (a) freundlich dan (b) framkin

Mekanisme Inhibisi dan Perlindungan Permukaan

Kinerja penghambatan unggul dari ekstrak daun kapuk dapat dikaitkan dengan adsorpsi komponen fitokimianya seperti fenolik, flavonoid, saponin, dan tanin ke permukaan baja. Senyawa-senyawa ini mengandung gugus fungsi polar seperti $-OH$, $-COOH$ dan sistem terkonjugasi yang memiliki kecenderungan kuat untuk berinteraksi dengan permukaan logam baik melalui adsorpsi fisik maupun adsorpsi kimia (Ardyn *et al.*, 2023; R. Holla *et al.*, 2024).

Peningkatan efisiensi inhibisi yang diamati seiring dengan konsentrasi ekstrak ditambah dengan nilai N yang stabil dan pembentukan konstanta waktu tunggal dalam EIS, menunjukkan bahwa proses inhibisi mengikuti isoterm adsorpsi Freundlich. Ini menunjukkan cakupan lapisan tunggal permukaan baja oleh molekul inhibitor memberikan penghalang yang padat dan tidak dapat ditembus terhadap spesies korosif (Negi *et al.*, 2024). Perilaku ini sejalan dengan temuan untuk inhibitor berbasis bio lainnya, termasuk yang berasal ekstrak tumbuhan lainnya.

Lapisan pelindung yang dibentuk oleh ekstrak daun kapuk berfungsi untuk memblokir situs korosi aktif sehingga menekan baik disolusi anodik besi maupun reaksi evolusi hidrogen katodik (Avdeev *et al.*, 2024). Hasil dari pengukuran Tafel dan EIS saling memperkuat, mengonfirmasi mekanisme inhibisi tipe campuran yang didominasi oleh sifat anodik. Nilai resistansi polarisasi yang diperoleh dari kedua metode tersebut sangat mirip, menunjukkan keandalan teknik evaluasi elektrokimia.

Selanjutnya, pembentukan lapisan pelindung yang stabil dibuktikan oleh pengurangan arus korosi yang drastis, peningkatan resistansi polarisasi, dan perbaikan perilaku kapasitif antarmuka logam/elektrolit. Efek sinergis dari berbagai fitokimia yang terdapat dalam ekstrak daun kapuk memastikan bahwa film tetap stabil dan efektif bahkan pada konsentrasi yang relatif rendah, menjadikannya kandidat yang sangat menjanjikan untuk aplikasi industri.

Ekstrak daun kapuk, yang diketahui memiliki senyawa polifenol dan flavonoid, dapat membentuk lapisan yang bersifat antikorosif dengan menutupi permukaan material dan mengikat ion logam, sehingga mencegah oksidasi lebih lanjut. Lamanya perlindungan bergantung pada faktor-faktor eksternal, seperti kondisi lingkungan (kelembaban, suhu, dan paparan bahan kimia tertentu), serta ketahanan lapisan terhadap pelapukan atau pengelupasan (Wan *et al.*, 2022). Pada umumnya, lapisan pelindung yang lebih tebal dan memiliki ikatan yang kuat dengan permukaan substrat akan bertahan lebih lama dalam melindungi material dari korosi.

KESIMPULAN

Secara ringkas, ekstrak daun pohon kapuk telah berhasil dievaluasi sebagai inhibitor korosi alami untuk baja karbon dalam larutan HCl 1 M. Pengujian elektrokimia menggunakan metode polarisasi Tafel dan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun kapuk secara signifikan menurunkan laju korosi serta meningkatkan resistansi polarisasi permukaan logam. Pada konsentrasi optimum 3000 mg/L, efisiensi perlindungan mencapai 80,29 % ditandai dengan terbentuknya lapisan pelindung yang kompak dan homogen pada permukaan baja karbon. Hasil EIS menunjukkan kenaikan nilai impedansi secara signifikan seiring peningkatan konsentrasi ekstrak, mengindikasikan pembentukan film inhibitor yang efektif. Temuan ini mengonfirmasi bahwa daun pohon kapuk berpotensi besar sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti inhibitor sintetis dalam aplikasi industri yang melibatkan lingkungan asam.

REFERENSI

- Ardyn, K., Andayani, S., & Suprastyani, H. (2023). PENGGUNAAN EKSTRAK KASAR DAUN KAPUK RANDU (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) UNTUK MENGHAMBAT BAKTERI *Pseudomonas fluorescens* SECARA IN VITRO. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 7(3). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2023.007.03.1>
- Avdeev, Y. G., Nenasheva, T. A., Luchkin, A. Y., Marshakov, A. I., & Kuznetsov, Y. I. (2024). Effect of Organic Corrosion Inhibitors on the Kinetics of the Cathodic Hydrogen Evolution Reaction on Steel in a Sulfuric Acid Solution. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 18(1), 111–124. <https://doi.org/10.1134/S1990793124010044>
- Dehghani, A., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2019). Green Eucalyptus leaf extract: A potent source of bio-active corrosion inhibitors for mild steel. *Bioelectrochemistry*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.107339>
- Dehghani, A., Ghahremani, P., Mostafatabar, A. H., & Ramezanzadeh, B. (2024). Plant extracts: Probable alternatives for traditional inhibitors for controlling alloys corrosion against acidic media—A review. In *Biomass Conversion and Biorefinery* (Vol. 14, Issue 6, pp. 7467–7486). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02893-4>
- Deyab, M. A. (2020). Understanding the anti-corrosion mechanism and performance of ionic liquids in desalination, petroleum, pickling, de-scaling, and acid cleaning applications. In *Journal of Molecular Liquids* (Vol. 309). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113107>
- Feliu, S., González, J. A., Andrade, M. C., & Feliu, V. (1989). Determining polarization resistance in reinforced concrete slabs. *Corrosion Science*, 29(1), 105–113. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-938X\(89\)90083-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-938X(89)90083-8)
- Gapsari, F., Hidayatullah, S., Hadi Setyarini, P., Madurani, K. A., & Hermawan, H. (2022). Effectiveness of a fish scales-derived chitosan coating for corrosion protection of carbon steel. *Egyptian Journal of Petroleum*, 31(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2022.02.001>
- Goyal, M., Kumar, S., Bahadur, I., Verma, C., & Ebenso, E. E. (2018). Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions: A review. In *Journal of Molecular Liquids* (Vol. 256, pp. 565–573). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.045>
- Hidayatullah, S., Sulaiman, A. M., & Iftitah, E. N. (2024). Durio Zibethinus Extract Performance as Corrosion Inhibitor in Simulated Seawater. *Mechanics Exploration and Material Innovation*, 1(1), 27–34. <https://doi.org/10.21776/ub.memi.2024.001.01.4>
- Jalab, R., Saad, M. A., Sliem, M. H., Abdullah, A. M., & Hussein, I. A. (2022). An Eco-Friendly Quaternary Ammonium Salt as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in 5 M HCl Solution: Theoretical and Experimental Investigation. *Molecules*, 27(19). <https://doi.org/10.3390/molecules27196414>
- Li, Y., Chen, Y., Wang, C., Li, Y., & Wu, Y. (2025). Exploring the potential of plant extracts as corrosion inhibitors: A comprehensive review. In *Progress in Organic Coatings* (Vol. 198). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108915>
- Ma, I. A. W., Ammar, S., Kumar, S. S. A., Ramesh, K., & Ramesh, S. (2022). A concise review on corrosion inhibitors: types, mechanisms and electrochemical evaluation studies. In *Journal of Coatings Technology and Research* (Vol. 19, Issue 1, pp. 241–268). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11998-021-00547-0>

- Makhlouf, A. S. H., Herrera, V., & Muñoz, E. (2018). Chapter 6 - Corrosion and protection of the metallic structures in the petroleum industry due to corrosion and the techniques for protection. In A. S. H. Makhlouf & M. Aliofkhazraei (Eds.), *Handbook of Materials Failure Analysis* (pp. 107–122). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101928-3.00006-9>
- Mobtaker, H., Azadi, M., & Rassouli, M. (2022). The corrosion inhibition of carbon steel in 1 M HCl solution by Oestrus ovis larvae extract as a new bio-inhibitor. *Heliyon*, 8(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12297>
- Negi, R., Thakur, S., Singh, R., Kaur, V., & Singh, K. (2024). Double-layer protection of stainless steel by using triethylammonium-3-silatranylpropyldithiocarbamate as a corrosion inhibitor: Experimental and computational studies. *Journal of Molecular Structure*, 1309. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138166>
- R. Holla, B., Mahesh, R., Manjunath, H. R., & Anjanapura, V. R. (2024). Plant extracts as green corrosion inhibitors for different kinds of steel: A review. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 14). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33748>
- Singh, A., Ansari, K. R., Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Lgaz, H., & Chung, I. M. (2020). Comprehensive investigation of steel corrosion inhibition at macro/micro level by ecofriendly green corrosion inhibitor in 15% HCl medium. *Journal of Colloid and Interface Science*, 560, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.10.040>
- Syarif Hidayatullah, Nasmi Herlina Sari, Maharsa Pradityatama, & Suteja. (2025). Efektifitas Perlindungan Korosi Aluminium Menggunakan Inhibitor Ekstrak Labu Kuning : Studi Elektrokimia dan Permukaan. *Jurnal Mesin Nusantara*, 8(1), 97–108. <https://doi.org/10.29407/jmn.v8i1.24651>
- Verma, C., Ebenso, E. E., Quraishi, M. A., & Hussain, C. M. (2021). Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: Design, performance and industrial scale applications. In *Materials Advances* (Vol. 2, Issue 12, pp. 3806–3850). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d0ma00681e>
- Wang, H., Wang, K., Wang, W., Huang, L., Peng, P., & Yu, H. (2019). Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welded type 304 austenitic stainless steel to Q235 low carbon steel. *Materials Characterization*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.109803>
- Wan, S., Zhang, T., Chen, H., Liao, B., & Guo, X. (2022). Kapok leaves extract and synergistic iodide as novel effective corrosion inhibitors for Q235 carbon steel in H2SO4 medium. *Industrial Crops and Products*, 178, 114649.
- Yildiz, Y., Karadag, R., & Cengiz, I. (2021). Comparison of Spectrophotometric Methods for Determination of Iron in Acid Cleaning, and Passivating Stainless Steel Solution by UV-VIS, ICP/MS, and FAAS. *Science Journal of Analytical Chemistry*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.11648/j.sjac.20210902.11>
- Zhang, X., Li, W., Yu, G., Zuo, X., Luo, W., Zhang, J., Tan, B., Fu, A., & Zhang, S. (2020). Evaluation of Idesia polycarpa Maxim fruits extract as a natural green corrosion inhibitor for copper in 0.5 M sulfuric acid solution. *Journal of Molecular Liquids*, 318. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114080>
- Zheng, H., Zhang, B., Wang, X., Lu, Y., Li, F., & Li, C. (2023). Improved corrosion resistance of carbon steel in soft water with dendritic-polymer corrosion inhibitors. *Chemical Engineering Journal*, 452. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139043>
- Zomorodian, A., & Behnood, A. (2023). Review of Corrosion Inhibitors in Reinforced Concrete: Conventional and Green Materials. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings13051170>