

Sifat Adsorptif dan Termodinamika Ekstrak Lignin dari Pelepah Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) untuk Korosi Baja Lunak dalam Medium HCl

Hilda Sartika, Suryati, Yeni Stiadi, Emriadi*
Laboratorium Foto/Elektrokimia, Jurusan Kimia,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 12 Juli 2024
Direvisi: 11 Agustus 2024
Diterima: 20 Oktober 2024

Kata kunci:

Adsorpsi isothermal
Baja lunak
Inhibisi korosi
Lignin
Nypa fruticans Wurmb

Keywords:

Isotherm adsorption
Mild steel
Inhibisi korosi
Lignin
Nypa fruticans Wurmb

Penulis Korespondensi:

Emriadi
Email: emriadi@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sifat adsorptif dan termodinamika ekstrak lignin dari pelepah nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) pada korosi baja lunak dalam medium asam klorida. Efek inhibisi ekstrak lignin dari pelepah Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) (LENF) terhadap korosi baja lunak dalam larutan HCl dipelajari dengan metode kehilangan berat dan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LENF merupakan inhibitor yang baik dalam 1,0 M HCl, dan efisiensi inhibisi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak dan suhu. Efek penghambatan diberikan oleh adsorpsi ekstrak pada permukaan baja, yang ditemukan sesuai dengan isotherm adsorpsi Langmuir. Parameter adsorpsi dan aktivasi seperti energi aktivasi (E_a), entalpi (ΔH), energi Gibbs bebas (ΔG), dan entropi (ΔS) dievaluasi pada proses korosi dan inhibisi.

*Research on the adsorptive and thermodynamic properties of lignin extract from Nipah fronds (*Nypa fruticans* Wurmb) for mild steel corrosion in hydrochloric acid medium has been conducted. The inhibition effect of lignin extract from Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) fronds (LENF) on the corrosion of mild steel in HCl solution was studied by weight loss and optical microscopy methods. The results show that LENF was a good inhibitor in 1.0 M HCl, and the inhibition efficiency increases with increasing concentration of the extract and temperature. Inhibitive effect was afforded by the adsorption of the extract on the steel surface, which was found to accord with Langmuir adsorption isotherm. Adsorption and activation parameters such as activation energy (E_a), enthalpy (ΔH), free Gibbs energy (ΔG), and entropy (ΔS) were evaluated on the corrosion and inhibition process. Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved.*

Copyright © 2024 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Baja lunak merupakan material paduan yang banyak digunakan dalam industri otomotif, industri pembuatan pipa, konstruksi, dan berbagai industri lainnya (El-Hashemy & Sallam, 2020). Akan tetapi, baja lunak mudah mengalami korosi ketika berada dalam lingkungan asam. Baja lunak terkorosi akibat terpapar media korosif seperti asam sulfat dan asam klorida yang biasa digunakan dalam proses pengawet asam dan pembersihan kerak. Lubang dan retakan yang terbentuk pada permukaan baja lunak ketika bersentuhan dengan asam dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan mesin. Asam klorida encer umumnya digunakan di dalam industri untuk proses pembersihan kerak pada lembaran logam, pipa ketel, dan pipa air pendingin (Stiadi et al., 2020).

Meskipun peristiwa korosi tidak dapat dihindari, namun laju korosinya dapat dikendalikan dengan beberapa metode. Penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu metode sederhana untuk mengendalikan laju korosi logam karena biaya operasionalnya yang murah dan lebih efisien (Stiadi et al., 2019). Sejumlah senyawa organik telah banyak digunakan sebagai inhibitor korosi karena memiliki pasangan elektron bebas dalam gugus polarnya, seperti atom O, N, P, dan S yang bersifat elektronegatif. Molekul organik ini dapat teradsorpsi pada permukaan logam melalui interaksi koordinatif sehingga serangan korosif dapat dikurangi. Akan tetapi, sebagian besar zat organik yang digunakan untuk tujuan ini sangat beracun dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, perlu dicari inhibitor korosi yang ramah lingkungan, efektif, dan tidak beracun (Gao et al., 2021; Wahyuni et al., 2022).

Salah satu inhibitor korosi organik yang ramah lingkungan adalah senyawa lignin. Lignin merupakan biopolimer aromatik polihidroksil dengan jaringan 3D yang kompleks. Lignin memiliki cincin benzena dalam molekul penyusunnya sehingga memiliki hidrofobitas dan kekakuan yang kuat (Su et al., 2022).

Ekstrak lignin dari tumbuhan telah dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi seperti bunga matahari dengan efisiensi inhibisi sebesar 78,8% dan jerami gandum dengan efisiensi sebesar 81,1% (Alaneme & Olusegun, 2012; Yahya et al., 2019). Pelepeh nipah mengandung lignin sebanyak 19,85% sehingga berpotensi sebagai inhibitor korosi (Akpakpan et al., 2011). Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh ekstrak lignin dari pelepeh nipah sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium asam klorida. Laju korosi dan efisiensi inhibisi dihitung menggunakan metode penurunan berat. Morfologi permukaan baja dengan dan tanpa adanya LENF dilihat dengan mikroskop optik.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam perancangan ini meliputi alat-alat gelas, ayakan 80 mesh, amplas besi, jangka sorong, neraca analitik (Ohaus CP 214), oven, termometer, mikroskop optik (Olympus GX71), waterbath (Innotech BJP X RockFord), dan gerinda. Bahan yang digunakan meliputi pelepeh nipah, baja lunak (AISI 1020), akuades (H_2O), aseton (C_3H_6O), asam klorida (HCl) (Smart lab) p.a, asam sulfat (H_2SO_4) (Smart lab) p.a, kertas saring, dan natrium hidroksida (NaOH) (Merck).

2.2 Preparasi Spesimen Baja

Spesimen baja disiapkan dengan ukuran 3 x 2 cm dengan ketebalan 1 mm. Permukaan baja kemudian dibersihkan dan dihaluskan, lalu dibilas dengan akuades. Baja dibilas dengan aseton untuk menghilangkan lemak yang menempel pada permukaan baja. Baja dikeringkan pada suhu 60°C. Setelah kering, baja ditimbang, hasil penimbangannya dinyatakan dengan massa awal (m_i), dan disimpan dalam desikator.

2.3 Proses Ekstraksi Lignin dari Pelepeh Nipah

Pelepeh nipah dikeringanginkan hingga mencapai berat konstan (± 30 hari). 250 g bubuk pelepeh nipah hasil penggilingan ditimbang dan ditempatkan dalam beaker glass 2 L kemudian ditambah dengan 2 L NaOH 15%. Campuran dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam dan diaduk. Campuran yang telah dipanaskan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Campuran disaring dan dipisahkan filtratnya. Filtrat hasil penyaringan diasamkan menggunakan larutan H_2SO_4 40% hingga pH ± 2 dan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk (lignin) disaring kemudian dibilas dan dikeringkan dengan suhu 60°C selama 4 jam dan didapatkan endapan lignin dalam bentuk bubuk.

2.4 Pembuatan medium korosif dengan adanya LENF

Pembuatan larutan medium korosif dengan adanya penambahan LENF dilakukan dengan cara menimbang 5 g LENF kemudian diencerkan kedalam labu ukur dengan akuades 100 mL sampai tanda batas labu ukur sehingga didapatkan konsentrasi larutan induk LENF 50 g/L. Larutan induk LENF divariasikan konsentrasinya 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 g/L dan ditambahkan dengan larutan HCl 5 M sebanyak 10 mL. Larutan dengan variasi konsentrasi LENF ditambahkan dengan akuades hingga volume 50 mL.

2.5 Penentuan laju korosi berdasarkan metode kehilangan berat

Penentuan laju korosi berdasarkan metode kehilangan berat dengan adanya pengaruh suhu dilakukan dengan cara merendam baja dalam 50 mL larutan medium korosif HCl 1 M dengan berbagai konsentrasi LENF dan dengan variasi suhu 30, 40, 50, dan 60 °C menggunakan *waterbath*. Baja tersebut direndam selama 7 jam. Produk korosi dibersihkan, dicuci, dan dikeringkan. Setelah kering baja ditimbang dan hasil penimbangan dinyatakan sebagai berat akhir (m_2). Kehilangan berat digunakan untuk menghitung laju korosi dan efisiensi inhibisi LENF. Laju korosi dan efisiensi inhibisi dihitung dari Persamaan 1 dan 2.

$$v_{corr} = \frac{\Delta m}{t \times A} \quad (1)$$

$$EI = \frac{v_{corr(blank)} - v_{corr(inh)}}{v_{corr(blank)}} \times 100\% \quad (2)$$

dimana V_{corr} , Δm , t , A , EI , $v_{corr(blank)}$, dan $v_{corr(inh)}$ masing-masing adalah laju korosi, perubahan berat, waktu perendaman, luas baja, efisiensi inhibisi, laju korosi tanpa adanya, dan dengan adanya LENF.

2.6 Analisis mikroskop optik

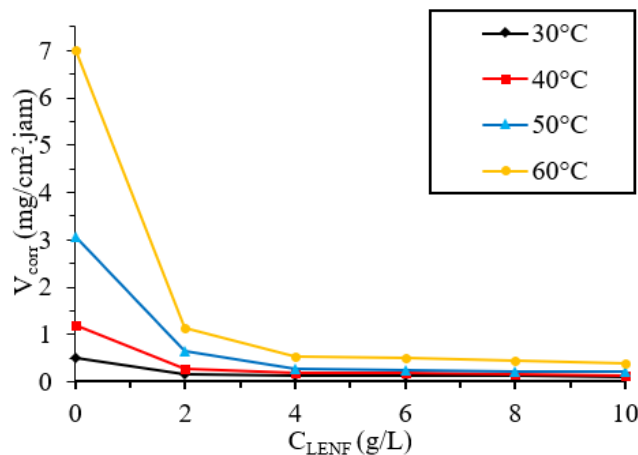
Analisis mikroskop optik dilakukan pada baja yang direndam selama 6 hari dalam medium korosif HCl 1 M tanpa dan dengan adanya LENF 10 g/L, baja kemudian dikeringkan dan dilakukan analisis permukaan dengan mikroskop optik. Analisis juga dilakukan untuk baja tanpa perendaman.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis dengan metode kehilangan berat

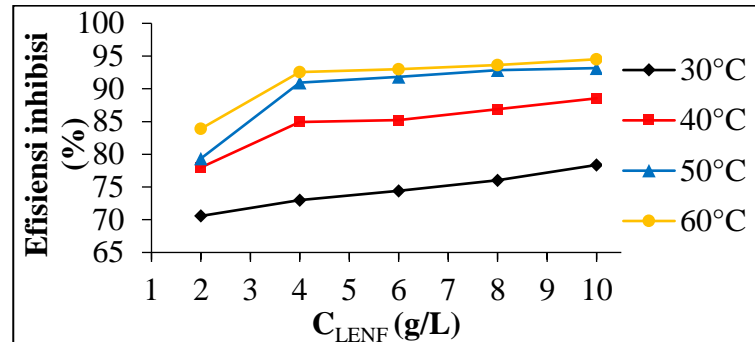
3.1.1 Pengaruh konsentrasi LENF terhadap laju korosi dan efisiensi inhibisi

Gambar 1 menunjukkan bahwa laju korosi menurun dengan peningkatan konsentrasi LENF dan naiknya suhu. Peningkatan suhu menyebabkan energi kinetik partikel ion agresif meningkat, yang meningkatkan tumbukan antar partikel dan mempercepat laju korosi, sehingga lebih banyak karat terbentuk pada permukaan baja (Stiadi et al., 2020).



Gambar 1 Pengaruh konsentrasi LENF terhadap laju korosi baja dalam larutan HCl 1 M dengan variasi suhu

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa nilai efisiensi inhibisi korosi semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor yang ditambahkan. Hal ini disebabkan oleh semakin besar permukaan baja yang tertutup dengan LENF sehingga dapat melindungi serangan ion agresif pada permukaan baja dan mengurangi laju korosi baja pada medium HCl (Emriadi et al., 2021; Hossain et al., 2021).



Gambar 2 Pengaruh konsentrasi inhibitor LENF terhadap efisiensi inhibisi laju korosi baja dalam larutan HCl 1 M pada variasi suhu

3.1.2 Isoterm Adsorpsi dan Parameter Termodinamika

Informasi mengenai interaksi inhibitor pada permukaan logam dapat ditentukan melalui isoterm adsorpsi (Wan et al., 2022). Beberapa isoterm adsorpsi Langmuir, Temkin, dan Freundlich digunakan untuk menyesuaikan dengan data eksperimen (Sajid & Kiran, 2018; Shahmoradi et al., 2020). Tabel 1 memperlihatkan nilai koefisien determinasi dari beberapa isoterm adsorpsi yang diuji.

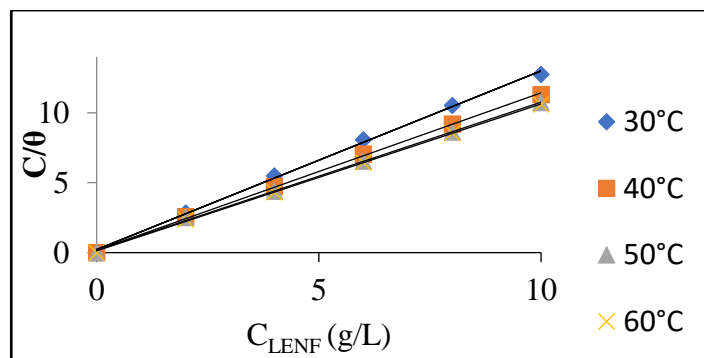
Tabel 1 Nilai koefisien determinasi (R^2) pada berbagai isoterm adsorpsi LENF

Suhu (K)	Koefisien determinasi (R^2)		
	Langmuir	Freundlich	Temkin
303	0,999	0,988	0,945
313	0,999	0,993	0,933
323	0,998	0,992	0,837
333	0,999	0,996	0,838

Isoterm adsorpsi Langmuir dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (3)$$

dimana C_{inh} adalah konsentrasi inhibitor, K_{ads} konstanta kesetimbangan adsorpsi, dan θ adalah derajat permukaan dan dinyatakan dengan rasio (IE% / 100). Gambar 3 menunjukkan garis lurus C/θ versus C untuk inhibitor pada variasi konsentrasi LENF dengan koefisien determinasi (R^2) yang hampir sama dengan 1. Hal ini menegaskan bahwa inhibitor tersebut mematuhi isoterm adsorpsi Langmuir pada media HCl 1,0 M. Hal ini menunjukkan bahwa LENF yang teradsorpsi secara monolayer dan membentuk lapisan homogen antarmuka logam (El-Hashemy & Sallam, 2020).



Gambar 3 Grafik isoterm adsorpsi Langmuir inhibisi korosi baja dalam medium HCl 1 M dengan adanya LENF

Entalpi adsorpsi standar (ΔH_{ads}) dihitung berdasarkan Persamaan Van't Hoff.

$$\frac{d \ln K_{ads}}{dT} = \frac{\Delta H_{ads}}{RT} \quad (4)$$

dimana R adalah konstanta gas, T adalah suhu. Persamaan 4 dapat dibuat dalam bentuk Persamaan 5.

$$\ln K_{ads} = \frac{\Delta H_{ads}}{RT} + D \quad (5)$$

dimana D adalah konstanta integrasi. Nilai positif dari ΔH_{ads} mencerminkan perilaku endotermik dari adsorpsi inhibitor pada baja lunak. Tabel 2 menunjukkan nilai konstanta adsorpsi (K_{ads}) yang berhubungan dengan kemampuan adsorpsi LENF pada permukaan baja. Nilai K_{ads} meningkat dengan kenaikan suhu yang menandakan bahwa kekuatan pengikatan adsorpsi inhibitor pada permukaan baja meningkat dengan kenaikan suhu (Gapsari et al., 2022).

Energi bebas standar adsorpsi (ΔG_{ads}^0) dapat dihitung dari nilai K_{ads} yang diperoleh dengan menggunakan Persamaan 6.

$$\Delta G_{ads} = RT \ln(C_{H2O} K_{ads}) \quad (6)$$

Nilai energi bebas Gibbs (ΔG_{ads}) diperoleh sebesar -21,20 kJ/mol sampai -24,79 kJ/mol, yang menunjukkan bahwa adsorpsi adalah campuran fisorpsi dan kemisorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi ikatan koordinasi antara pasangan elektron bebas dari molekul inhibitor dan orbital d kosong pada Fe dalam baja. Dari kedua parameter ΔG_{ads} dan ΔH_{ads} , entropi adsorpsi standar (ΔS_{ads}) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 7 (Emriadi et al., 2016).

$$\Delta S_{ads} = \frac{\Delta H_{ads} - \Delta G_{ads}}{T} \quad (7)$$

Nilai energi bebas Gibbs (ΔG_{ads}) negatif menunjukkan bahwa adsorpsi senyawa dalam LENF pada permukaan baja terjadi secara spontan dan membentuk lapisan adsorpsi yang stabil. Entropi adsorpsi (ΔS_{ads}) bernilai positif, yang mengindikasikan adanya proses substitusi yang berkaitan dengan peningkatan entropi pelarut (Stiadi et al., 2020).

Tabel 2 Parameter termodinamika untuk adsorpsi LENF pada permukaan baja dalam larutan HCl 1 M pada berbagai suhu berdasarkan hasil isoterm adsorpsi Langmuir

Suhu (°C)	K_{ads}	ΔG_{ads}^0 (kJ/mol)	ΔH_{ads}^0 (kJ/mol)	ΔS_{ads}^0 (J/mol.K)
30	4,52	-21,20		
40	5,62	-22,46	13,69	115,14
50	5,70	-23,22		
60	7,77	-24,79		

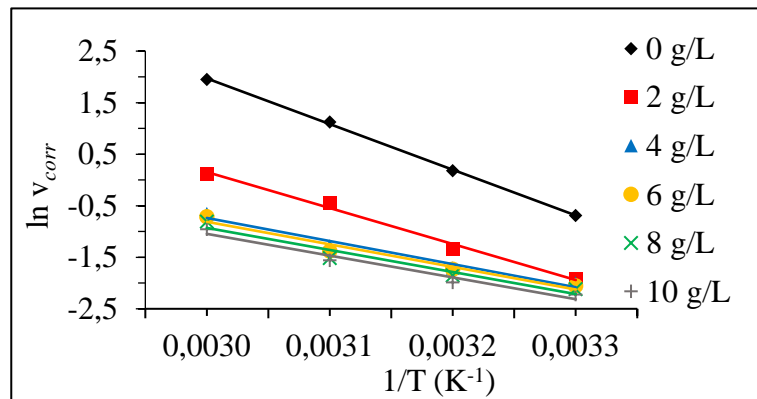
3.1.3 Parameter Kinetika Korosi

Energi aktivasi untuk korosi baja lunak dengan adanya dan tidak adanya LENF ditentukan dari plot Persamaan Arrhenius menurut Persamaan 8.

$$\ln V_{corr} = \ln A - \frac{Ea}{RT} \quad (8)$$

dimana Ea adalah energi aktivasi dan A adalah faktor frekuensi. Plot Arrhenius dari $\ln V_{corr}$ vs $1/T$ untuk inhibisi korosi baja dalam medium 1,0 M HCl pada berbagai konsentrasi inhibitor LENF ditunjukkan pada Gambar 4. Data pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa energi aktivasi (Ea) korosi baja lunak dengan adanya penambahan LENF lebih rendah dibandingkan tanpa penambahan LENF. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme yang terjadi adalah kemisorpsi (Emriadi et al., 2021). Berdasarkan tabel dapat dilihat bahwa nilai entalpi aktivasi (ΔH^*) bernilai positif yang menandakan proses korosi baja lunak dalam medium HCl 1 M bersifat endoterm. Nilai entropi aktivasi (ΔS^*) yang didapatkan bernilai negatif. Hal ini mengindikasikan bahwa kompleks teraktivasi dalam tahap penentu laju korosi lebih membentuk asosiasi

dibandingkan disosiasi yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan ketidakteraturan dari reaktan ke kompleks teraktivasi (Stiadi et al., 2020).



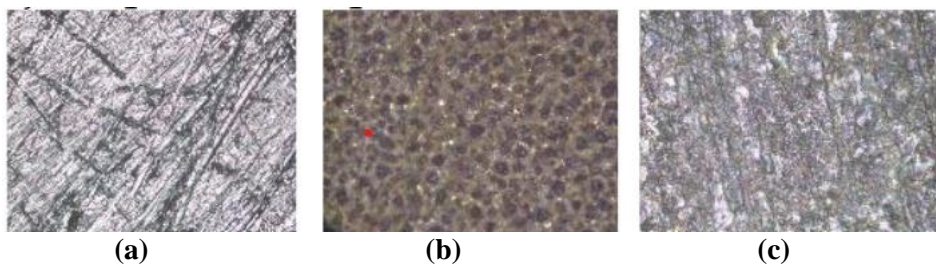
Gambar 4 Grafik Arrhenius $1/T$ (K^{-1}) vs $\ln V_{corr}$ untuk korosi baja dalam HCl 1 M tanpa dan adanya penambahan inhibitor LNF

Tabel 3 Nilai energi aktivasi (E_a), nilai entalpi aktivasi (ΔH^*), dan entropi aktivasi (ΔS^*) dengan dan tanpa penambahan variasi inhibitor LNF

Ekstrak (g/L)	E_a (kJ/mol)	ΔH^* (kJ/mol)	ΔS^* (J/mol.K)
0	74,30	71,66	-14,45
2	58,55	55,91	-76,82
4	37,39	34,75	-147,72
6	36,55	33,91	-150,85
8	35,65	33,01	-154,56
10	35,23	32,59	-156,15

3.2 Hasil Pengamatan Morfologi Mikroskop Optik

Perubahan morfologi permukaan baja dapat diamati dengan analisis mikroskop optik sebelum dan sesudah penambahan LNF yang direndam selama 6 hari. Hasil pengamatan dari mikroskop optik terhadap permukaan baja dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Foto optik permukaan baja (a) baja tanpa perlakuan, (b) baja yang telah direndam dalam larutan HCl 1 M, (c) baja yang telah direndam dalam larutan HCl 1 M + LNF 10 g/L

Hasil pengamatan permukaan baja menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 20x dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 (a) terlihat bahwa permukaan baja belum mengalami korosi, yang terlihat garis-garis halus setelah pengamplasan. Gambar 5 (b) menunjukkan permukaan baja yang tidak rata dan rusak karena terjadinya korosi. Kemudian, Gambar 5 (c) menunjukkan bahwa permukaan baja yang direndam dalam medium korosif dengan penambahan LNF masih terdapat karat, namun jumlahnya lebih sedikit daripada permukaan baja tanpa penambahan LNF. Analisis mikroskop optik menunjukkan bahwa ekstrak lignin dari pelelepah nipah dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi dan mengurangi terbentuknya karat pada permukaan baja (Wan et al., 2022).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan LNF sebagai inhibitor dapat menurunkan laju korosi dan meningkatkan efisiensi. Laju korosi menurun dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor dan naiknya suhu. Adsorpsi LNF pada permukaan baja mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir. Nilai

negatif dari energi bebas adsorpsi (ΔG_{ads}) menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat spontan. Kehadiran LENF menurunkan energi aktivasi (E_a) dari proses korosi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas atas dukungan biaya melalui hibah penelitian dasar dengan nomor kontrak: 08/UN.16.03.D/PP/FMIPA/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Akpakpan, A. E., Akpabio, U. D., Ogunsile, B. O., & Eduok, U. M. (2011). Influence of cooking variables on the soda and soda-ethanol pulping of nypa fruticans petioles. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 1202–1208.
- Alaneme, K. K., & Olusegun, S. J. (2012). Corrosion inhibition performance of lignin extract of sun flower (*Tithonia diversifolia*) on medium carbon low alloy steel immersed in H₂SO₄ solution. *Leonardo Journal of Sciences*, 20(11).
- El-Hashemy, M. A., & Sallam, A. (2020). The inhibitive action of *Calendula officinalis* flower heads extract for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 13509–13523. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.078>
- Emriadi, Santoni, A., & Stiadi, Y. (2016). Adsorptive and thermodynamic properties of methanol extract of *Toona sinensis* leaves for the corrosion of mild steel in HCl medium. *Der Pharma Chemica*, 8(18), 266–273.
- Emriadi, Untari, P., & Efdi, M. (2021). Leave extract of *syzygium malaccense* as green inhibitor of mild steel in acidic medium. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 569–577. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1415836>
- Gao, C., Zhao, X., Fatehi, P., Dong, X., Liu, K., Chen, S., Wang, S., & Kong, F. (2021). Lignin copolymers as corrosion inhibitor for carbon steel. *Industrial Crops and Products*, 168(November 2020), 113585. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113585>
- Gapsari, F., Setyarini, P. H., Kurniawan, F., Ahnaf, A., Anwar, M. S., & Zuryati, U. K. (2022). Corrosion inhibition of weldment by *Nephelium lappaceum* peel extract in 3.5% NaCl solution. *South African Journal of Chemical Engineering*, 41(June), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.06.006>
- Hossain, N., Chowdhury, M. A., Iqbal, A. K. M. P., Islam, M. S., Sheikh Omar, N. Y., & Saifullah, A. Z. A. (2021). *Paederia foetida* leaves extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(October), 100191. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100191>
- Sajid, H. U., & Kiran, R. (2018). Influence of corrosion and surface roughness on wettability of ASTM A36 steels. *Journal of Constructional Steel Research*, 144(January), 310–326. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.01.023>
- Shahmoradi, A. R., Taleb Bahmanbigloo, N., Javidparvar, A. A., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. (2020). Studying the adsorption/inhibition impact of the cellulose and lignin compounds extracted from agricultural waste on the mild steel corrosion in HCl solution. *Journal of Molecular Liquids*, 304, 112751. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112751>
- Stiadi, Y., Arief, S., Aziz, H., Efdi, M., & Emriadi, E. (2019). Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami Dalam Medium Asam Klorida: Review. *Jurnal Riset Kimia*, 10(1), 51–65. <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i2.321>
- Stiadi, Y., Efdi, M., Aziz, H., & Emriadi. (2020). *Gleichenia linearis* burm. Leaf extract as corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid medium. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 9(4), 1498–1515. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-4-20>
- Su, J., Liu, M., Lin, L., Pu, X., Ge, C., Zhang, T., & Liu, G. (2022). Sulfonated lignin modified with silane coupling agent as biodegradable shale inhibitor in water-based drilling fluid. *Journal of Petroleum Science and Engineering*.

- Wahyuni, S., Suryati, & Emriadi. (2022). Ekstrak Daun Kecapi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Dalam Medium Asam Klorida. *Katalisator*, 7(1), 41–51.
- Wan, S., Wei, H., Quan, R., Luo, Z., Wang, H., Liao, B., & Guo, X. (2022). Soybean extract firstly used as a green corrosion inhibitor with high efficacy and yield for carbon steel in acidic medium. *Industrial Crops and Products*, 187(PA), 115354. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115354>
- Yahya, S., Othman, N. K., & Ismail, M. C. (2019). Corrosion inhibition of steel in multiple flow loop under 3.5% NaCl in the presence of rice straw extracts, lignin and ethylene glycol. *Engineering Failure Analysis*, 100(January), 365–380. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.036>