

## Analisis evolusi hidrogen dan laju korosi pada inhibisi korosi ekstrak ampas tebu dengan *machine learning*

Femiana Gapsari, Putu Hadi Setyarini, Gilang Rausyanfikri dan Muhamad Irfan Saputra

Departemen Teknik Mesin FT UB

memi\_kencrut@ub.ac.id

### ABSTRACT

Organic inhibitors are proven to be able to reduce corrosion rate. The effectivity of organic inhibitors depends on how they are adsorbed onto metal surfaces and protect the surface. Inhibitors can restrain corrosion reactions, which include oxidation and reduction. The reduction reaction is signified by hydrogen evolution. The standard methods that are usually used for corrosion analysis are weight loss tests and potentiodynamic polarization (PP). Corrosion rate analysis that combines the two types of tests is required. Any physical change during the corrosion electrochemical process can be analyzed in real time. The efficiency of an inhibitor in restraining corrosion rate can be seen from how much the physical change in a metal. The change in H<sub>2</sub> bubbles can describe physical changes on the metal surface based on the corrosion inhibitor efficiency. The changes in texture and the H<sub>2</sub> characteristics on the metal surface during the polarization process are analyzed using machine learning, grey level co-occurrence matrix (GLCM), and classified using support vector machine (SVM). Both the electrochemical corrosion test and GLCM/SVM analysis confirmed that optimum inhibition was reached by employing an inhibitor concentration of sugarcane bagasse (EAT) of 2000 ppm with the efficiency of 99 % of corrosion steel in 1 M HCl.

**Keywords:** Corrosion, hydrogen bubble, inhibitor, machine learning

**Received** 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

### PENDAHULUAN

Dalam industri, baja karbon sering dilindungi oleh pelapis dan inhibitor korosi. Berbagai jenis inhibitor korosi dikembangkan untuk mengurangi korosi baja di industri. Inhibitor korosi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu inhibitor yang terbuat dari bahan anorganik dan organik [1]. Inhibitor organik yaitu inhibitor korosi yang berasal dari bahan alami yang tersedia di alam. inhibitor organik selain dapat menghambat laju korosi. Inhibitor alami memiliki sifat non-toksik, murah, mudah didapatkan dan dapat diperbaharui [2], [3].

Inhibitor organik terbukti mampu mengurangi laju korosi. efektivitas inhibitor organik tergantung bagaimana inhibitor diserap dan melindungi permukaan logam [4]. Seberapa besar adsorpsi dari inhibitor organik dikategorikan tipe campuran [4]. Dimana inhibitor dapat menghambat reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi reduksi ditandai dengan evolusi hidrogen [5]. Pengaruh inhibitor korosi ada reaksi evolusi hidrogen berhubungan dengan komposisi kima, konsentrasi dan struktur inhibitor. Inhibitor yang efektif harus menekan korosi dan evolusi hidrogen. Sumber hidrogen merupakan dekomposisi air dan reaksi air dengan logam [6].

Pengujian laju korosi dibedakan atas pengujian singkat (*short term*) dan pengujian jangka panjang (*long term*) [7]. Pengujian singkat yang biasa digunakan adalah Polarisasi Potensi-dinamik (PP) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Sedangkan pengujian lama yaitu metode pengurangan berat[8] dan pengumpulan gas hidrogen (*gas hydrogen collection*) [9]. Kedua pengujian banyak diaplikasikan dengan kekurangan dan kelebihan masing-masing [9]. Masalahnya, pada pengujian singkat tidak mencerminkan korosi jangka panjang. Begitu pula pada pengujian korosi jangka panjang membutuhkan durasi dan kondisi pengujian konstan seperti yang digunakan pada pengujian singkat. Laju korosi dan evolusi hidrogen tidak terlihat secara real time. Untuk itu, dibutuhkan metode tambahan menganalisa setiap perubahan fisik selama proses korosi.

Inhibitor organik yang digunakan dalam penelitian ini dari ekstrak ampas tebu (EAT). Ekstrak ini digunakan sebagai inhibitor karena kaya antioksidan dan atom N, O, P, S serta atom-atom yang mempunyai pasangan elektron bebas [10]. Efisiensi inhibisi dari inhibitor dianalisa secara bersamaan antara perubahan fisik dan elektrokimia Efisiensi inhibisi dilihat berdasarkan perubahan warna permukaan dan *tafel plot* [11]

Posisi visual dan pencitraan gelembung  $H_2$  selama proses polarisasi dapat diperoleh bersama dengan pengumpulan data elektrokimia [12]. Gambar perubahan evolusi hidrogen dapat memberikan gambaran mengenai perubahan fisik permukaan logam berdasarkan efisiensi inhibisi korosi. Namun, sangat sulit untuk mengukur besar, karakter dan posisi munculnya gelembung gas  $H_2$  terutama pada arus korosi yang rendah [8]. Untuk itu diperlukan suatu metode untuk menganalisis pola dan ciri dari gelembung  $H_2$  yang terjadi pada logam tanpa dan dengan inhibitor. Salah satu metode mengklasifikasikan dengan *image processing* yaitu menggunakan *machine learning*. pengujian korosi secara *real time*. GLCM merupakan teknik analisis citra digital berdasarkan penciri tekstur, dalam hal ini adalah karakter gelembung  $H_2$  pada permukaan logam dalam larutan dengan dan tanpa inhibitor

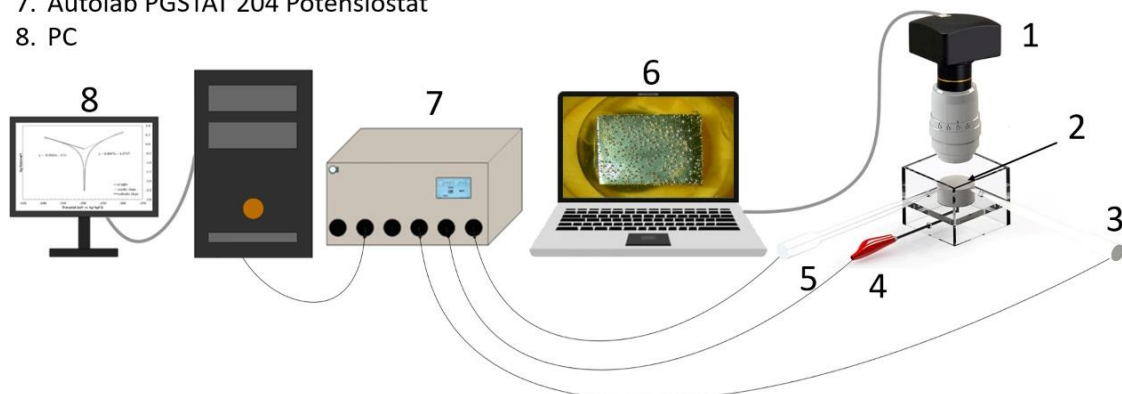
Pada penelitian ini dilakukan pengujian efektifitas inhibitor EAT dalam menekan laju korosi dan evolusi hidrogen serta perubahan fisik secara bersamaan. Inhibitor ditambahkan dalam larutan korosi sehingga perilaku korosi baja karbon dapat terlihat perubahannya dengan menggunakan *machine learning* [13].

## METODE DAN BAHAN

Inhibitor yang digunakan dalam penelitian ini adalah inhibitor dari EAT. EAT dianalisa dengan *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR). Logam yang digunakan adalah baja AISI 1020.

Pengujian korosi dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan potensiostat dan mikroskop metalurgi. Skema pengujian Electrochemical real-time data acquisition device. Mikroskop metalurgi yang digunakan yaitu Askania *Stereomikroskop Teknik SMT 4* dengan lensa *Am Scope MU1403*. Peralatan elektrokimianya yaitu *autolab PGSTAT 204N*. Metode 3 elektroda digunakan dengan spesimen logam sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl (3M KCl) sebagai elektroda referensi dan platina sebagai elektroda penghitung. Pengujian dilakukan pada variasi inhibitor 0-6000 ppm dalam larutan 1M HCl. Pengujian dilakukan pada variasi inhibitor 0-6000 ppm dalam larutan 1M HCl. Data yang digunakan untuk FTIR yaitu data dengan laju korosi terendah. Sebelum pengujian, sistem distabilkan selama 30 menit hingga *open circuit potential* (OCP) dicatat. Uji potensiodinamik polarisasi (PP) diukur pada  $\pm 100$  mV dari  $E_{\text{corr}}$  pada *scan rate* 1 mV/s.

1. Optical Microscope (1.6 x magnification)
2. Specimen (ASTM A36)
3. Auxiliary Electrode (Pt)
4. Working Electrode (Steel)
5. Reference Electrode (Ag/AgCl KCL 3M)
6. Laptop
7. Autolab PGSTAT 204 Potensiostat
8. PC



Gambar 1. Pengambilan data gambar

Metode *Machine Learning* yang digunakan adalah dengan *Gray Level Co-occurrence matrix* (GLCM), Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa gambar dari 7 (tujuh) dataset berbeda yaitu permukaan logam dalam larutan 1M HCl

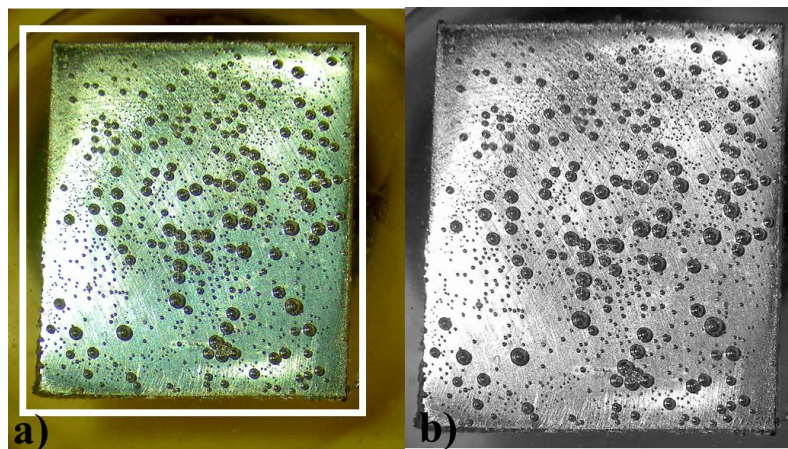
(blanko), 1000ppm, 2000ppm, 3000ppm, 4000ppm, 5000ppm, 6000ppm. Objek dari penelitian ini adalah gambar yang disimpan dalam bentuk jpg. Citra yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 3003 citra yang terdiri

dari 75% data latih dan 25% citra data uji. Komputer untuk menganalisa ASUS GA401QC CPU : Ryzen 7 5800HS, GPU : RTX 3050, RAM : 24GB.

Pada penelitian ini, perancangan sistem ditujukan untuk mendeteksi permukaan logam dengan gelembung  $H_2$  menggunakan metode ekstraksi fitur GLCM. Implementasi dari ekstraksi fitur GLCM dengan *Support Vector Machine* (SVM). Metode GLCM akan menghasilkan fitur sejumlah 24 (6 fitur x 4 derajat) yang akan disimpan dalam format csv untuk mempermudah ketika dataset ingin diuji kembali menggunakan beberapa metode klasifikasi.

Selanjutnya, data fitur GLCM tersebut akan digunakan sebagai input dari klasifikasi SVM yang menggunakan jenis kernel linear. Output dari klasifikasi SVM akan menjadi output sistem yaitu berupa 7 kelas permukaan logam yang ditambah larutan 0, 1000ppm, 2000ppm, 3000ppm, 4000ppm, 5000ppm, 6000ppm ppm inhibitor.

Kamera digunakan sebagai sensor yang terhubung dengan potensiostat yang merekam gambar. Langkah awal yaitu preprocessing yaitu dengan menentukan Region of interest (ROI), proses selanjutnya mengkonvert gambar berwarna *grayscale*, seperti yang ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. (a) Tangkapan gambar dengan *Region of Interest* (ROI), (b) Konversi ROI ke *grayscale*

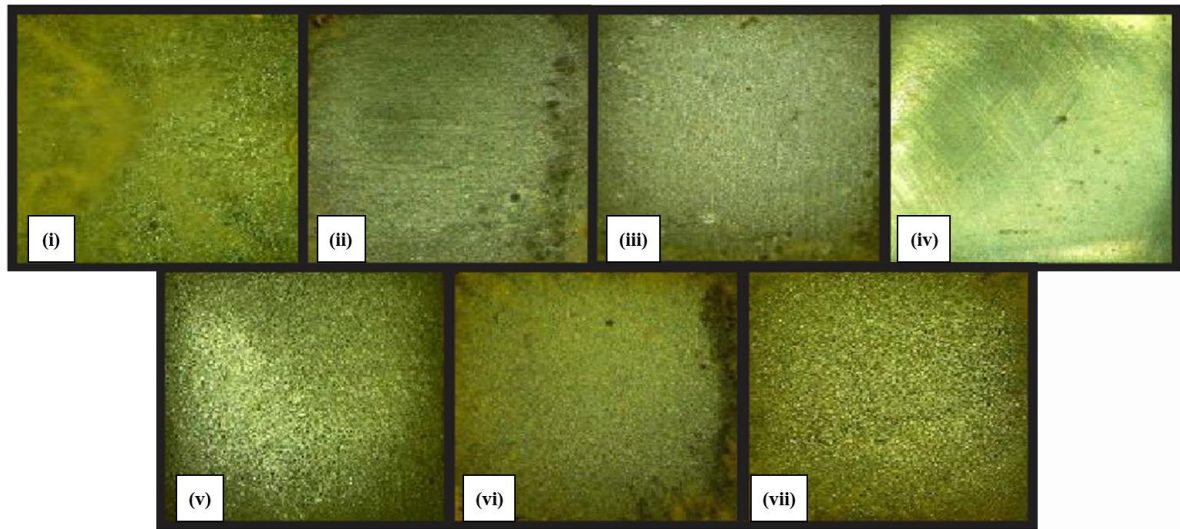
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 gelembung  $H_2$  saat pengujian PP terlihat pada gambar 4 pada titik  $E_{corr}$  dan  $i_{corr}$ . Terlihat gelembung pada saat penambahan inhibitor EAT lebih sedikit dibandingkan variasi lainnya. Spesimen dalam larutan tanpa inhibitor (blanko) terlihat gelembung lebih banyak dan besar-besar.

Berdasarkan gambar 5a data yang tersimpan pada tabel plot dari Pengujian PP. Tabel plot menunjukkan saat bagian katodik dari suatu siklus PP ditandai dengan evolusi hidrogen yang meningkat intensitasnya mendekati titik bawah, menunjukkan reaksi parsial katodik dari elektrolisis air, dan menurun saat potensial  $E_{corr}$  dan  $i_{corr}$ . Selanjutnya gelembung (bubbles) semakin menurun dan terhenti pada akhir dari pengujian PP (tabel plot). Video optic dengan

rekaman perubahan image per detiknya dikaitkan dengan karakter fitur dari gelembung yang berbeda-beda dengan penambahan inhibitor EAT. Perbedaan karakter fitur image dari gelembung yg terjadi menunjukkan karakter gelembung berdasarkan besarnya inhibitor yang ditambahkan dalam 1M HCl. Keseluruhan model ditunjukkan berdasarkan GLCM dengan metode SVM.

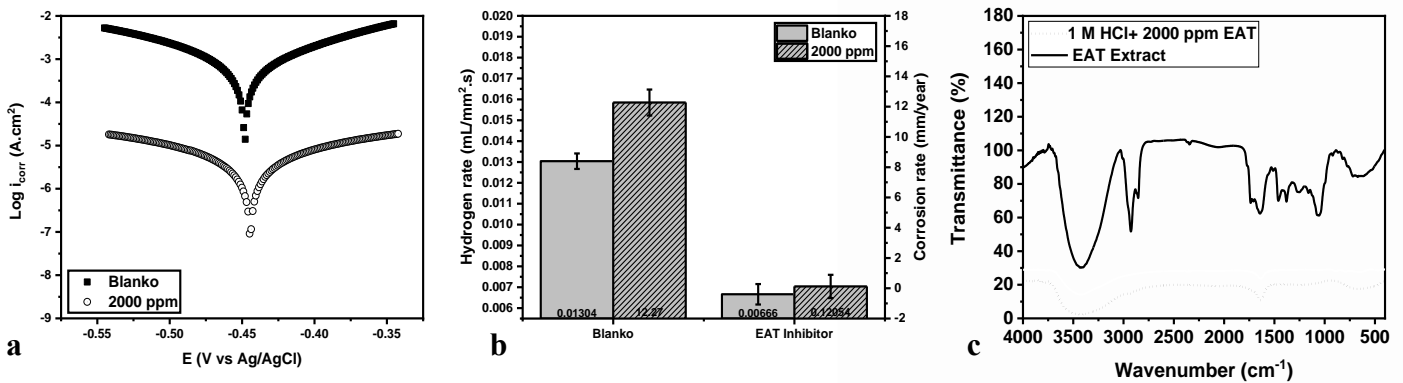
Adanya EAT sebagai inhibitor terlihat menurunkan arus anodik dan katodik pada gambar 5a. Laju korosi sebesar 0.13 mm/year pada penambahan 2000 ppm EAT dengan efisiensi sebesar 99%. Adsorpsi inhibitor EAT pada permukaan baja mengurangi evolusi hidrogen (reaksi katodik), sehingga gelembung terlihat lebih sedikit. Hal ini juga terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. pada saat  $E_{corr}$  dan  $i_{corr}$ , a) blanko, b)1000ppm, c)2000ppm, c) 3000ppm, d), 4000 ppm, e)5000 ppm, f) 6000 ppm.

Penambahan jumlah inhibitor EAT diatur dan diadsorpsi pada baja permukaan. Dengan demikian, penambahan inhibitor menghasilkan

korosi yang lebih lebih renah dibandingkan larutan tanpa inhibitor. Begitupula yg terjadi pada evolusi hidrogen. IE yang tinggi menghasilkan evolusi hidrogen yang rendah [12], [14], [15]



Gambar 5 a) Tafel plot, b) Laju hidrogen, c) Spektra FTIR tanpa dan dengan inhibitor

Tabel 1 Parameter korosi dari *tafel plot*

Variasi	$\beta_a$ (V/dec)	$-\beta_c$ (V/dec)	$E_{corr}$ (V)	$i_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mm/year)	IE%
Blanko	0.13	0.15	-0.46	$1.05 \times 10^{-3}$	12.28	0
2000 ppm	0.25	0.26	-0.45	$1.03 \times 10^{-5}$	0.13	99

Tabel 2 Rata-rata F1 score dan SVM

GLCM	SVM Kernel Function	F1 Score							
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	Blanko	Akurasi
d=5	<i>Linier Kernel</i>	0.92	0.88	0.88	0.94	0.82	0.84	0.88	0.88
	<i>Polynomial Kernel</i>	0.55	0	0.05	0.79	0.59	0.45	0.65	0.49
	<i>RBF Kernel</i>	0.65	0.56	0.71	0.87	0.62	0.21	0.62	0.63

Besarnya evolusi hidrogen bersesuaian dengan terjadinya gelembung H<sub>2</sub> yang terekam selama pengujian. Karakter ekstraksi fitur gelembung gelembung H<sub>2</sub> dianalisa dengan metode GLCM. Hal ini juga sesuai dengan hasil laju hidrogen dari prose koros yang terlihat pada gambar 5b. Setelah perendaman 5 hari, terlihat Munculnya serapan pada 620 dan 485 cm<sup>-1</sup> muncul karena adanya vibrasi ikatan logam-oksigen (*hematite*). Kedua difraktogram spesiman memperlihatkan pola yang mirip. Pita absorpsi terlihat pada bilangan gelombang yang menunjukkan gugus fungsi C=O dan O-H pada EAT yang identik dengan gugus fungsi inhibitor organik [16], [17]. Sebelum dan setelah penambahan EAT tidak terdapat perubahan ikatan kimia, sehingga disimpulkan bahwa inhibisi terjadi bukan karena adanya perubahan profil permukaan logam, tetapi karena terjadi perubahan kondisi larutan[18]. Dimungkinkan dengan penambahan EAT terjadi penurunan keasaman sehingga daya korosi larutan berkurang [19]. Tabel 2 menunjukkan hasil klasifikasi dari metode SVM terdiri atas linier, polynomial dan RBF Kernel. Hasil klasifikasi SVM menunjukkan klasifikasi dengan kecocokan terbaik yaitu dengan setting parameter kernel linier. Akurasi terbaik ditunjukkan pada linier kernel dengan rata-rata 0.88.

Model karakter dari fitur hidrogen dimodelkan dengan algoritma GLCM, untuk memastikan kesesuaian karakter fitur gelembung disetiap klasifikasi penambahan inhibitor. Nilai-nilai IE% melacak tren yang sesuai dengan yang diperoleh dari evolusi hidrogen (gelembung) tetapi dengan nilai yang berbeda terkait dengan berbagai teknik. Performansi dari model GLCM dengan fungsi kernel linier didapatkan dengan prediksi model pada data set pada berbagai variasi jumlah inhibitor. Berdasarkan tabel 2 terlihat bahwa prediksi sudah sangat sesuai. Metode SVM yang digunakan tepat dalam mendeteksi perubahan image gelembung H<sub>2</sub> dengan penambahan inhibitor EAT pada larutan 1 M HCl. Dengan menggunakan model ini, memungkinkan untuk membedakan perubahan gelembung H<sub>2</sub> dengan penambahan inhibitor yang akan mempengaruhi dan mengontrol laju korosi.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini selain dilakukan pengujian korosi dengan elektrokimia juga computer vision untuk menganalisa gelembung pada pengujian korosi. Efisiensi inhibitor didapat dengan penambahan 2000 ppm EAT sebesar 99%. Hasil analisa GLCM dengan metode SVM menunjukkan bahwa model yang dibuat sesuai dengan perubahan gelembung H<sub>2</sub> yang terjadi dengan penambahan inhibitor. Akurasi dari model yang dibuat adalah 88% menggunakan SVM dengan fungsi kernel linier dengan GLCM parameters d=5. Pemilihan parameter GLCM dengan data *setting* yang digunakan menunjukkan model yang didesain memiliki akurasi tertinggi. Penelitian lanjutan direkomendasikan menggunakan fitur *image* dengan perbedaan warna pada gelembung H<sub>2</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. B. Raja and M. G. Sethuraman, "Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review," vol. 62, pp. 113–116, 2008, doi: 10.1016/j.matlet.2007.04.079.
- [2] F. Gapsari, R. Soenoko, A. Suprpto, and W. Suprpto, "Bee Wax Propolis Extract as Eco-Friendly Corrosion Inhibitors for 304SS in Sulfuric Acid," *Int. J. Corros.*, 2015, doi: 10.1155/2015/567202.
- [3] V. S. Sastri, "Adsorption in Corrosion Inhibition," in *Green Corrosion Inhibitors*, 2011. doi: 10.1002/9781118015438.ch3.
- [4] F. Gapsari *et al.*, "Nephelium lappaceum extract as an organic inhibitor to control the corrosion of carbon steel weldment in the acidic environment," *Sustain.*, vol. 13, no. 21, Nov. 2021, doi: 10.3390/su132112135.
- [5] J. P. Popic and D. M. Draz, "Corrosion rates and negative difference effects for Al and some Al alloys," *J. Appl.*

- Electrochem.*, vol. 29, no. May 1997, 1999.
- [6] L. De Silva Muñoz, A. Bergel, D. Féron, and R. Basséguy, "Hydrogen production by electrolysis of a phosphate solution on a stainless steel cathode," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 16, 2010, doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.05.101.
- [7] A. D. King, N. Birbilis, and J. R. Scully, "Accurate electrochemical measurement of magnesium corrosion rates; A combined impedance, mass-loss and hydrogen collection study," *Electrochim. Acta*, vol. 121, 2014, doi: 10.1016/j.electacta.2013.12.124.
- [8] H. M. Wong *et al.*, "A biodegradable polymer-based coating to control the performance of magnesium alloy orthopaedic implants," *Biomaterials*, vol. 31, no. 8, 2010, doi: 10.1016/j.biomaterials.2009.11.111.
- [9] N. T. Kirkland, N. Birbilis, and M. P. Staiger, "Assessing the corrosion of biodegradable magnesium implants: A critical review of current methodologies and their limitations," *Acta Biomaterialia*, vol. 8, no. 3, 2012. doi: 10.1016/j.actbio.2011.11.014.
- [10] M. A. Ameer and A. M. Fekry, "Corrosion inhibition of mild steel by natural product compound," *Prog. Org. Coatings*, 2011, doi: 10.1016/j.porgcoat.2011.04.001.
- [11] F. Gapsari *et al.*, "Analysis of corrosion inhibition of *Kleinhovia hospita* plant extract aided by quantification of hydrogen evolution using a GLCM/SVM method," *Int. J. Hydrogen Energy*, no. xxxx, pp. 1–14, 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.01.067.
- [12] N. F. Atta, A. M. Fekry, and H. M. Hassaneen, "Corrosion inhibition, hydrogen evolution and antibacterial properties of newly synthesized organic inhibitors on 316L stainless steel alloy in acid medium," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 11, 2011, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.02.134.
- [13] S. A. Abdulgafar, O. S. Omar, and K. M. Yousif, "Improving The Efficiency Of Polycrystalline Solar Panel Via Water Immersion Method," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. (An ISO Certif. Organ.)*, vol. 3297, no. 1, 2007.
- [14] M. Abd El-Fattah, A. M. A. Hasan, M. Keshawy, A. M. El Saeed, and O. M. Aboelenien, "Nanocrystalline cellulose as an eco-friendly reinforcing additive to polyurethane coating for augmented anticorrosive behavior," *Carbohydr. Polym.*, vol. 183, 2018, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.12.084.
- [15] A. M. Fekry and M. A. Ameer, "Electrochemical investigation on the corrosion and hydrogen evolution rate of mild steel in sulphuric acid solution," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 17, pp. 11207–11215, 2011, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.05.149.
- [16] M. H. Hussin and M. J. Kassim, "The corrosion inhibition and adsorption behavior of *Uncaria gambir* extract on mild steel in 1 M HCl," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 125, no. 3, 2011, doi: 10.1016/j.matchemphys.2010.10.032.
- [17] H. Gerengi and H. I. Sahin, "Schinopsis *lorentzii* extract as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl solution," in *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2012, vol. 51, no. 2. doi: 10.1021/ie201776q.
- [18] S. Echihi *et al.*, "Corrosion inhibition of copper by pyrazole pyrimidine derivative in synthetic seawater: Experimental and theoretical studies," in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 37. doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.264.
- [19] I. B. Obot, A. Meroufel, I. B. Onyeachu, A. Alenazi, and A. A. Sorour, "Corrosion inhibitors for acid cleaning of desalination heat exchangers: Progress, challenges and future perspectives," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 296, 2019. doi: 10.1016/j.molliq.2019.111760.