

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Pelapisan Antikorosi berbasis LDPE dari Limbah Kantong Plastik melalui Metode Catalytic Liquefaction

Dwi Miftha Kurnia^{1*}, Randy Yusuf Kurniawan², Muhammad Rifqi Dwi Septian³, Rikki Martin Nababan⁴, Pradena Bhesari Fitrah Laharto⁵, Umami Kulsum Hidayati⁶

^{1*, 2, 3, 4}Prodi Rekayasa Minyak dan Gas, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

⁵Sekolah Dasar Negeri (SDN) Pengkol Tambakrejo, Bojo Negero, Jawa Timur

⁶Prodi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Surabaya, Jawa Timur

ARTICLE INFO

Keywords:

Catalytic Liquefaction, LDPE, corrosion inhibitor, weight loss, EIS

ABSTRACT

This study explores the utilization of low-density polyethylene (LDPE) derived from plastic bag waste as a corrosion inhibitor for iron. The LDPE was converted into liquid form through catalytic liquefaction using $ZnCl_2$ catalyst at $300^\circ C$ for 30 minutes. The resulting product was characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy to identify functional groups. Corrosion inhibition performance was evaluated using weight loss and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) methods in NaCl (3% and 5%) and HCl (3% and 5%) media. The results show that LDPE significantly reduces corrosion rate, with the highest inhibition efficiency of 76.84% in 5% NaCl at 5 g concentration. EIS analysis indicates an increase in total impedance from 5.29Ω to 8.21Ω , confirming the formation of a protective barrier layer. The adsorption behavior follows the Langmuir isotherm model. These findings highlight the potential of plastic waste as a sustainable and effective corrosion inhibitor.

Pendahuluan

Indonesia menghadapi masalah serius terkait limbah plastik dengan jumlah produksi mencapai 26.500 ton per hari. Plastik memerlukan waktu 20 hingga 80 tahun untuk terurai secara alami,

menjadikannya masalah lingkungan yang berdampak jangka panjang dan signifikan [1]. Di antara berbagai jenis polimer plastik, *Low Density Polyethylene* (LDPE) merupakan bahan utama pada kantong plastik hitam yang sering digunakan

*Corresponding author: dwi.kurnia@rmg.itera.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11319>

Received 13 April 2026; Received in revised form 23 April 2026; Accepted 4 May 2026

Available online 1 September 2026

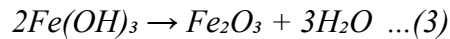
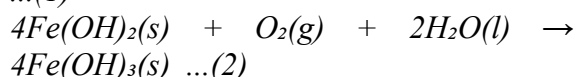
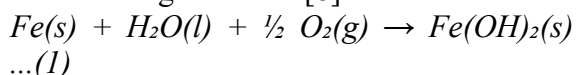
masyarakat karena sifatnya yang fleksibel, ringan, serta memiliki ketahanan mekanik yang baik dibandingkan polimer polietilena lainnya [2,3].

LDPE tergolong dalam kategori termoplastik yang memiliki sifat hidrofobik atau anti air dan dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Karakteristik ini menjadikan LDPE berpotensi sebagai material inhibitor korosi. Korosi merupakan tantangan di sektor industri yang mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar, terutama pada infrastruktur logam seperti jembatan, pipa, dan peralatan pabrik [4,5].

Sejumlah studi sebelumnya telah memanfaatkan LDPE untuk aplikasi lain, seperti sebagai bahan aditif aspal polimer [6] dan pembuatan genteng komposit polimer [7]. Namun, penggunaan LDPE yang berasal dari limbah kantong plastik sebagai inhibitor korosi belum terlalu signifikan dilaporkan. Inhibitor organik diketahui bekerja dengan membentuk lapisan film hidrofobik pada permukaan logam melalui proses adsorpsi, yang secara efisien menghindarkan logam dari lingkungan yang korosif [4].

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menghasilkan LDPE dalam bentuk cair melalui proses *Catalytic Liquefaction* dengan menggunakan katalis $ZnCl_2$; (2) menganalisis gugus fungsi polimer LDPE yang dihasilkan dari proses *liquefaction*; dan (3) menguji efektivitas LDPE sebagai inhibitor korosi pada logam besi dalam media korosif $NaCl$ dan HCl .

Korosi didefinisikan sebagai penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia dengan lingkungan. Mekanisme korosi pada logam besi (Fe) berlangsung melalui serangkaian reaksi oksidasi-reduksi yang mengakibatkan terbentuknya karat (Fe_2O_3). Reaksi dasar yang terjadi dalam pembentukan karat adalah sebagai berikut [8]:



Laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan: $CR (mpy) = (W \times K) / (D \times A_s \times T)$, dimana W menunjukkan kehilangan massa (gram), K merupakan konstanta faktor, D merupakan densitas spesimen (g/cm^3), A_s merupakan luas permukaan (cm^2), dan T menunjukkan waktu pemaparan (jam) [8].

Inhibitor korosi merupakan senyawa kimia yang apabila ditambahkan ke dalam lingkungan korosif mampu menurunkan laju korosi secara signifikan [4,9]. Inhibitor organik umumnya bekerja dengan membentuk lapisan film protektif melalui mekanisme adsorpsi molekul pada permukaan logam, sehingga menghambat reaksi elektrokimia korosi [10,11,12]. Efektivitas inhibisi sangat bergantung pada komposisi kimia, struktur molekul, serta afinitas inhibitor terhadap permukaan logam [4,11].

Umumnya, molekul inhibitor organik mengandung heteroatom seperti oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), dan ikatan rangkap yang mendukung proses adsorpsi di permukaan logam [13]. Proses adsorpsi molekul LDPE ke permukaan logam mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir, yang menggambarkan pembentukan monolayer pelindung pada permukaan logam [4].

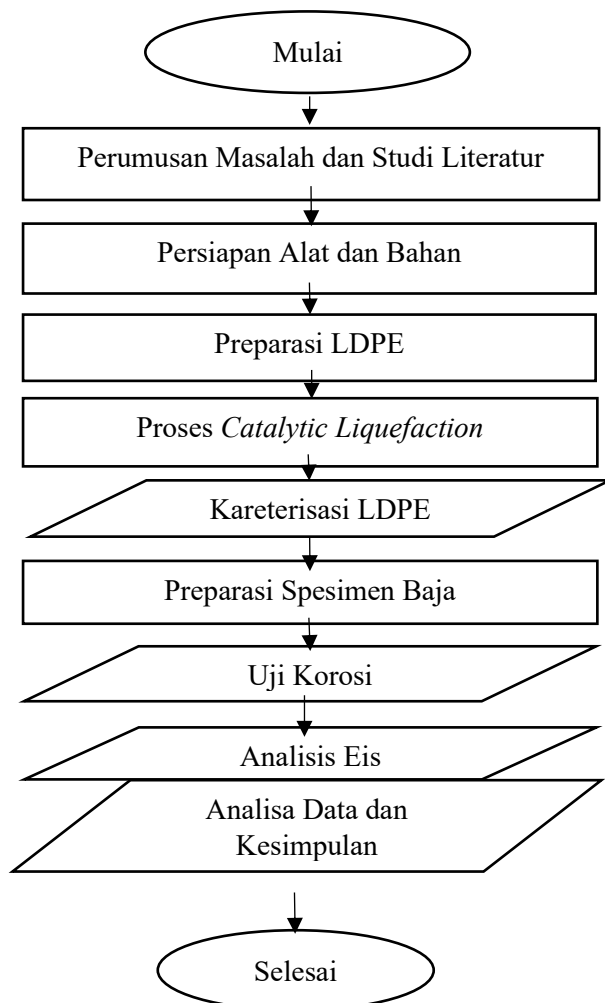
LDPE (*Low-density Polyethylene*) merupakan polimer termoplastik dengan densitas rendah ($0,910-0,940 g/cm^3$) yang memiliki karakteristik lunak, fleksibel, dan bersifat hidrofobik sehingga tidak mudah menyerap air. Untuk mengubah LDPE padat menjadi cair, dilakukan proses *catalytic liquefaction* dengan menggunakan katalis $ZnCl_2$ yang berperan sebagai *lewis acid* dalam memutuskan ikatan C-C rantai polimer [14,15].

Catalytic Liquefaction Process adalah metode untuk mencairkan material polimer dengan memanfaatkan katalis melalui mekanisme pemutusan ikatan C-C dan C-O yang menghasilkan fragmen molekul dengan berat molekul lebih rendah, dilanjutkan dengan proses hidrogenasi.

Metode ini lebih efektif dibandingkan *thermal cracking* karena katalis memungkinkan reaksi berlangsung pada suhu dan tekanan yang lebih rendah [4,16]. Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan penggunaan polimer sebagai inhibitor korosi, pemanfaatan LDPE yang berasal dari limbah kantong plastik melalui proses *catalytic liquefaction* masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada degradasi termal atau penggunaan langsung polimer tanpa modifikasi struktur. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan baru dengan mengombinasikan konsep valorisasi limbah plastik dan proses katalitik untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi serta kinerja inhibisi LDPE.

Metode Penelitian

Diagram alir penelitian pada Gambar 1. menggambarkan tahapan pelaksanaan



Gambar 1. Diagram alir penelitian

penelitian secara menyeluruh, dimulai dari preparasi bahan baku LDPE, proses *catalytic liquefaction* samapai selesai. Diagram ini berfungsi sebagai panduan alur kerja penelitian agar setiap tahap dapat dilakukan secara sistematis dan terkontrol.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kantong plastik hitam (LDPE) sebagai bahan baku, $ZnCl_2$ dengan konsentrasi 1% sebagai katalis, aquades sebagai pelarut, xylene sebagai pelarut tambahan, larutan NaCl (3% dan 5%) serta HCl (3% dan 5%) sebagai media yang bersifat korosif, dan aseton untuk pembersihan spesimen. Peralatan yang digunakan mencakup reaktor pemanas, spektrofotometer FTIR IRAffinity-1S, instrumen EIS Gamry Instruments, kertas saring Whatmann No. 51, *freeze dryer*, dan timbangan analitik.

Kantong plastik dipotong menjadi ukuran 3×3 cm sebagai bahan baku. Dilakukan variasi rasio plastik:aquades (gram:mL) sebesar 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, dan 5:1. Variasi ini bertujuan untuk mengamati perubahan yield produk cair, konsentrasi senyawa aktif, serta gugus fungsi yang terbentuk, yang selanjutnya berpengaruh terhadap kinerja inhibitor korosi. Dengan demikian, rasio optimum dapat ditentukan berdasarkan kombinasi hasil karakterisasi FTIR dan performa inhibisi pada pengujian korosi. Katalis $ZnCl_2$ ditambahkan pada konsentrasi 1%. Proses reaksi berlangsung pada suhu 300°C tekanan 1 atm pada udara secara langsung selama 30 menit. Produk kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatmann No. 51; sebagian dari filtrat dikeringkan menggunakan *freeze dryer* untuk analisis FTIR, sementara sisanya digunakan langsung sebagai larutan inhibitor.

Karakterisasi gugus fungsi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer Inframerah *Fourier Transform* (FTIR) pada sampel padatan yang dihasilkan dari *freeze dryer* dengan lima variasi rasio antara plastik dan aquades. Spektra IR yang diperoleh diinterpretasikan

untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang berperan dalam mekanisme inhibisi korosi.

Spesimen Pelat besi yang digunakan memiliki dimensi $1,2 \times 1,8 \times 3,6$ mm, dan dipreparasi dengan pengamplasan bertahap menggunakan kertas amplas dengan grade 500 dan 1000 hingga diperoleh permukaan yang halus dan homogen, mengacu pada prosedur standar ASTM G31. Selanjutnya, spesimen dicuci menggunakan aquades (aqua demineralisasi) untuk menghilangkan partikel sisa pengamplasan, kemudian dibilas dengan aseton untuk menghilangkan kontaminan organik. Spesimen dikeringkan pada suhu ruang selama ± 24 jam atau hingga benar-benar bebas dari kelembaban sebelum digunakan dalam pengujian korosi. Besi direndam dalam media korosi (NaCl 3%, NaCl 5%, HCl 3%, HCl 5%) dengan variasi konsentrasi inhibitor LDPE (0–5 gram). Pengurangan massa diukur setelah spesimen direndam dalam media korosif selama 72 jam pada suhu ruang. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali (triplo) untuk memastikan keandalan data, dan nilai yang dilaporkan merupakan nilai rata-rata. Efisiensi inhibisi (%EI) dihitung menggunakan persamaan: $\%EI = [(W_0 - W_i) / W_0] \times 100\%$.

Analisis Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) dilakukan pada rentang frekuensi 0,01–100.000 Hz dengan amplitudo 0,005 V dalam media NaCl 3%, baik dengan maupun tanpa penambahan LDPE. Setiap pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali (triplo) untuk memastikan reproduktibilitas data. Data impedansi yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan *equivalent circuit model*. Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil fitting terhadap data eksperimen serta mengevaluasi nilai *chi-square* (χ^2) dan *goodness of fit*. Selain itu, analisis kesalahan dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata dan simpangan baku dari setiap parameter impedansi guna menentukan tingkat ketidakpastian pengukuran. Untuk menentukan nilai hambatan seri (R_s) dan hambatan paralel

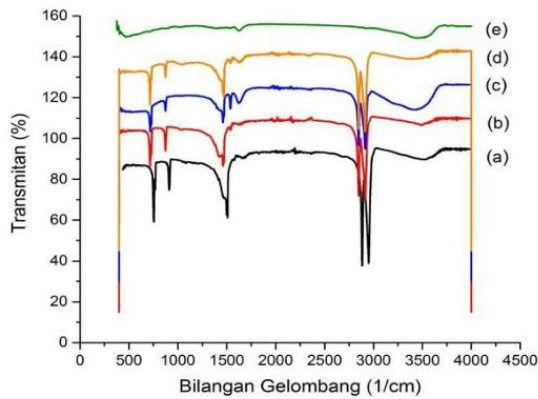
(R_p) yang menggambarkan efektivitas inhibisi.

Hasil dan Pembahasan

Analisis spektra FTIR pada kelima variasi sampel (rasio plastik:aquades 1:1 hingga 5:1) menunjukkan beberapa pita serapan karakteristik (Gambar 1). Pita lebar pada kisaran $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ diatribusikan pada vibrasi regangan gugus hidroksil ($-\text{OH}$), yang mengindikasikan adanya interaksi dengan air atau gugus oksigen terikat. Pita serapan pada sekitar 2915 cm^{-1} dan 2848 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi regangan asimetris dan simetris dari gugus metilen ($-\text{CH}_2-$), yang merupakan ciri khas struktur polietilena. Selain itu, pita pada kisaran $1460\text{--}1470\text{ cm}^{-1}$ dan sekitar 720 cm^{-1} masing-masing menunjukkan vibrasi bending dan rocking dari $-\text{CH}_2-$, yang mengonfirmasi keberadaan rantai hidrokarbon panjang. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa LDPE menunjukkan pita khas pada wilayah tersebut [17,18]. Variasi intensitas pita antar sampel mengindikasikan adanya perubahan interaksi antar komponen akibat perbedaan rasio plastik terhadap aquades.

Keberadaan gugus OH mengindikasikan adanya pasangan elektron bebas (PEB) yang memfasilitasi adsorpsi inhibitor pada permukaan logam melalui interaksi dengan atom besi. Keberadaan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) mengindikasikan adanya pasangan elektron bebas (PEB) pada atom oksigen yang dapat berperan dalam proses adsorpsi inhibitor melalui pembentukan interaksi koordinasi dengan atom besi pada permukaan logam. Selain itu, gugus $-\text{OH}$ juga memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen dengan spesies di lingkungan sekitarnya, yang dapat meningkatkan stabilitas lapisan adsorpsi. Sementara itu, interaksi adsorpsi molekul LDPE pada permukaan logam terutama dipengaruhi oleh keberadaan gugus metilen ($-\text{CH}_2-$) dalam rantai hidrokarbon panjang yang dapat berkontribusi melalui interaksi hidrofobik dan gaya van der Waals [4].

Pola spektra yang konsisten di antara kelima variasi tersebut menunjukkan bahwa perubahan rasio plastik: aquades tidak mengubah gugus fungsi dasar LDPE, melainkan memengaruhi konsentrasi produk cair yang dihasilkan.



Gambar 2. Spektra IR (a) plastik: aquades 1:1 (gram:ml) (b) plastik: aquades 2:1 (gram:ml) (c) plastik: aquades 3:1 (gram:ml) (d) plastik: aquades 4:1 (gram:ml) (e) plastik: aquades 5:1 (gram:ml)

Tabel 1–4 menyajikan data pengurangan berat dan efisiensi inhibisi pada keempat media korosi yang diuji.

Tabel 1. Pengurangan Berat dan Efisiensi Inhibisi dalam Larutan NaCl 3%

[Inhibitor] (gram)	Wo (g)	Wi (g)	Δw (g)	%EI	Laju Korosi (mmpy)
0	8.3690	8.3418	0.0550	0	10.65
1	8.3862	8.3624	0.0238	56.73	4.61
2	8.5419	8.5200	0.0219	60.18	4.24
3	8.5926	8.5698	0.0200	63.64	3.87
4	8.5073	8.4912	0.0161	70.73	3.12
5	8.5264	8.5104	0.0160	70.91	3.09

Tabel 2. Pengurangan Berat dan Efisiensi Inhibisi dalam Larutan NaCl 5%

[Inhibitor] (gram)	Wo (g)	Wi (g)	Δw (g)	%EI	Laju Korosi (mmpy)
0	8.2893	8.2215	0.0678	0	13.135
1	8.4138	8.3908	0.0230	66.08	4.46
2	8.3884	8.3656	0.0228	66.37	4.42
3	8.2185	8.1968	0.0217	67.99	4.20
4	8.3807	8.3605	0.0202	70.21	3.91
5	8.5874	8.5721	0.0153	76.84	2.96

Tabel 3. Pengurangan Berat dan Efisiensi Inhibisi dalam Larutan HCl 3%

[Inhibitor] (gram)	Wo (g)	Wi (g)	Δw (g)	%EI	Laju Korosi (mmpy)
0	8.3069	8.1982	0.1087	0	21.05
1	8.3313	8.2392	0.0921	15.27	17.84
2	8.3656	8.2748	0.0908	16.47	17.59

3	8.3622	8.2668	0.0901	17.11	17.46
4	8.3315	8.2423	0.0892	17.94	17.28
5	8.3236	8.2768	0.0622	42.78	12.05

Tabel 4. Pengurangan Berat dan Efisiensi Inhibisi dalam Larutan HCl 5%

[Inhibitor] (gram)	Wo (g)	Wi (g)	Δw (g)	%EI	Laju Korosi (mmpy)
0	8.3460	8.1917	0.1543	0	29.89
1	8.3708	8.2424	0.1284	16.79	24.88
2	8.3424	8.2353	0.1071	30.59	20.75
3	8.3431	8.1964	0.1067	30.85	20.67
4	8.3350	8.2790	0.0937	39.27	18.15
5	8.3490	8.2553	0.0560	63.71	10.85

Hasil pengujian *weight loss* menunjukkan bahwa efektivitas inhibisi meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor LDPE pada semua media yang diuji. Fenomena ini berkaitan dengan meningkatnya jumlah molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam, sehingga membentuk lapisan pelindung (*protective film*) yang semakin rapat dan homogen. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang difusi ion agresif, seperti Cl^- dan H^+ , ke permukaan logam sehingga laju korosi dapat ditekan.

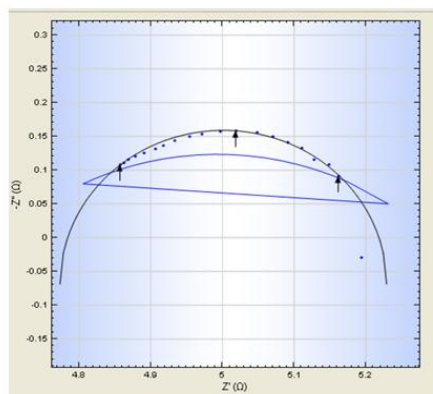
Secara mekanisme, peningkatan konsentrasi LDPE memperbesar peluang interaksi antara molekul inhibitor dengan permukaan logam melalui gaya van der Waals dan interaksi hidrofobik dari rantai hidrokarbon ($-\text{CH}_2-$), serta kemungkinan kontribusi gugus oksigen (jika ada hasil oksidasi) melalui interaksi koordinasi. Pada konsentrasi rendah, permukaan logam belum tertutup secara optimal sehingga masih terdapat situs aktif yang terekspos terhadap lingkungan korosif. Sebaliknya, pada konsentrasi yang lebih tinggi (hingga 5 gram), tingkat penutupan permukaan (*surface coverage*) meningkat secara signifikan, yang tercermin dari nilai efektivitas inhibisi tertinggi, yaitu 70,91% dalam NaCl 3%, 76,84% dalam NaCl 5%, 42,78% dalam HCl 3%, dan 63,71% dalam HCl 5%.

Perbedaan efektivitas pada masing-masing media juga mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi dipengaruhi oleh jenis elektrolit. Dalam media NaCl, adsorpsi

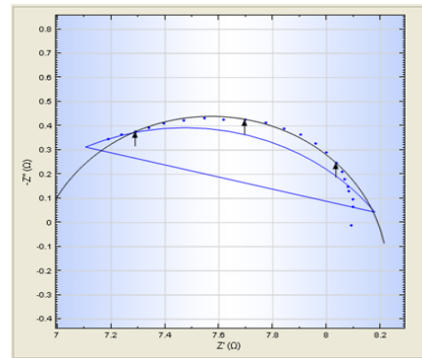
cenderung lebih stabil karena dominasi interaksi fisik (*physisorption*), sedangkan dalam media asam (HCl), keberadaan ion H⁺ yang tinggi dapat bersaing dengan molekul inhibitor untuk menempati permukaan logam, sehingga menurunkan efisiensi adsorpsi. Tingkat efektivitas inhibisi tertinggi diperoleh pada konsentrasi LDPE 5 gram, yaitu 70,91% dalam NaCl 3%, 76,84% dalam NaCl 5%, 42,78% dalam HCl 3%, dan 63,71% dalam HCl 5%.

Tingkat efektivitas inhibisi yang lebih tinggi pada media NaCl dibandingkan HCl menunjukkan bahwa LDPE lebih efektif bekerja dalam kondisi netral-garam dibandingkan media asam kuat. Hal ini berkaitan dengan stabilitas/ketahanan lapisan film adsorpsi LDPE yang lebih rentan terdegradasi pada pH rendah. Meskipun demikian, peningkatan efektivitas inhibisi yang signifikan dengan meningkatnya konsentrasi LDPE pada semua media (termasuk HCl 5% dari 0% hingga 63,71%) membuktikan kemampuan LDPE untuk membentuk lapisan pelindung yang stabil pada permukaan logam besi melalui proses adsorpsi [4].

Analisis EIS dilakukan untuk mengkonfirmasi hasil *weight loss* secara elektrokimia (Gambar 2). Data Kuantitatif pengujian ditunjukkan pada Tabel 5 dan 6 menyajikan parameter EIS dengan dan tanpa penambahan LDPE dalam media NaCl 3%.



a)



b)

Gambar 3. Hasil Analisa EIS pada media NaCl 3% (a) tanpa LDPE dan (b) dengan LDPE

Berikut tabel 5-6 hasil dari analisis EIS

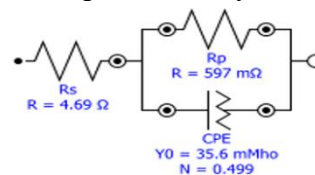
Tabel 5. Hasil Analisis EIS dengan Penambahan LDPE (Media NaCl 3%)

Element	Parameter	Value	Estimated Error (%)
Rs	R	6.7363	1.211
Rp	R	1.4735	6.719
CPE	Y0	0.0018729	25.323
	N	0.62362	6.120
	χ^2	0.0027048	—

Tabel 6. Hasil Analisis EIS tanpa Penambahan LDPE (Media NaCl 3%)

Element	Parameter	Value	Estimated Error (%)
Rs	R	4.6943	1.112
Rp	R	0.59746	14.847
CPE	Y0	0.035603	46.065
	N	0.49891	15.638
	χ^2	0.0023617	—

Data EIS menunjukkan nilai hambatan seri (R_s) sebesar 6,74 Ω dan hambatan paralel (R_p) sebesar 1,47 Ω pada sistem dengan LDPE, sehingga impedansi total ($R_s + R_p$) mencapai 8,21 Ω . Sebagai perbandingan, sistem tanpa LDPE menghasilkan $R_s = 4,69 \Omega$ dan $R_p = 0,597 \Omega$, dengan total impedansi hanya 5,29 Ω .



a)



b)

Gambar 3. Hasil Resistensi Analisa EIS terhadap media NaCl 3% (a) tanpa LDPE dan (b) dengan LDPE

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai impedansi total yang lebih besar pada sistem dengan LDPE ($8,21 \Omega$ vs. $5,29 \Omega$) menunjukkan bahwa LDPE efektif dalam membentuk lapisan penghalang (*barrier layer*) yang efektif pada antarmuka logam-elektrolit, sehingga menghambat proses perpindahan muatan yang berperan dalam reaksi korosi. Peningkatan nilai impedansi sebesar 55,2% secara kuantitatif menegaskan efektivitas LDPE sebagai inhibitor korosi [7].

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa polimer LDPE yang berasal dari limbah kantong plastik dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai inhibitor korosi pada logam besi. Melalui proses *catalytic liquefaction* menggunakan katalis $ZnCl_2$ (1%) pada suhu $300^\circ C$ selama 30 menit, LDPE berhasil dikonversi menjadi produk cair yang mengandung gugus fungsional aktif yang berperan dalam proses adsorpsi. Kinerja inhibisi terbaik diperoleh pada konsentrasi 5 gram dengan efisiensi mencapai 76,84% dalam media NaCl 5%, di mana mekanisme adsorpsi mengikuti isoterm Langmuir dan didukung oleh peningkatan impedansi dari hasil pengujian EIS yang mengindikasikan terbentuknya lapisan pelindung pada permukaan logam.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan kajian lebih lanjut terkait model isoterm adsorpsi lainnya (seperti Temkin atau Freundlich) guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme interaksi inhibitor dengan permukaan logam. Selain itu, perlu dilakukan optimasi kondisi proses *catalytic liquefaction* serta evaluasi kinerja inhibitor pada variasi suhu dan waktu perendaman yang lebih luas untuk mengkaji stabilitas jangka panjang. Pengujian pada sistem logam lain serta karakterisasi lanjutan menggunakan teknik seperti SEM-EDS atau XPS juga

direkomendasikan untuk memperkuat pemahaman mengenai morfologi dan komposisi lapisan pelindung yang terbentuk.

Referensi

- [1] U. B. Surono, "Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak: Tinjauan teknologi terkini," *Jurnal Teknik*, vol. 34, no. 2, pp. 123–130, 2020. doi:10.14710/jurnalteknik.v34i2.XX XXX
- [2] J. L. Jordan *et al.*, "Mechanical properties of low density polyethylene," *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, vol. 2, pp. 411–420, 2016. doi:10.1007/s40870-016-0076-5
- [3] C. E. Carraher Jr. and R. B. Seymour, *Polymer Chemistry*, 10th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2019. doi:10.1201/9780429463907
- [4] P. R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2019.
- [5] G. Haryono, B. Sugiarto, H. Farid, and Y. Tanoto, "Pengembangan teknologi kimia untuk pengolahan sumber daya alam Indonesia," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, Yogyakarta, Indonesia, 2010.
- [6] A. K. Panda, R. K. Singh, and D. K. Mishra, "Thermolysis of waste plastics to liquid fuel," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 1, pp. 233–248, 2010. doi:10.1016/j.rser.2009.07.005
- [7] H. Y. Jehanno *et al.*, "Critical advances and future opportunities in upcycling commodity polymers," *Nature*, vol. 603, pp. 803–814, 2022. doi:10.1038/s41586-021-04350-0
- [8] A. Rahman *et al.*, "Utilization of waste plastic in construction materials: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 327, 2022. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.126945

- [9] M. A. Quraishi *et al.*, “Corrosion inhibition and adsorption behavior of organic inhibitors on metal surfaces,” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 321, 2021. doi:10.1016/j.molliq.2020.114349
- [10] A. S. Fouda, M. A. Ismail, and G. Y. Elewady, “Eco-friendly corrosion inhibitors for carbon steel,” *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, vol. 7, no. 4, 2021. doi:10.1007/s40735-021-00565-4
- [11] A. Verma, E. E. Ebenso, and M. A. Quraishi, “Adsorption and corrosion inhibition performance of organic molecules,” *Surface Interfaces*, vol. 25, 2021. doi:10.1016/j.surfin.2021.101190
- [12] S. A. Umoren and M. M. Solomon, “Synergistic corrosion inhibition effects,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 105, pp. 1–15, 2022. doi:10.1016/j.jiec.2021.12.012
- [13] P. Singh, D. Chauhan, and M. A. Quraishi, “Heteroatom-containing corrosion inhibitors,” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 324, 2021. doi:10.1016/j.molliq.2020.114967
- [14] J. Wang *et al.*, “Catalytic degradation of polyethylene into liquid fuels over ZnCl₂ catalyst,” *Energy Conversion and Management*, vol. 236, 2021. doi:10.1016/j.enconman.2021.114040
- [15] L. Chen, Y. Zhao, and Q. Wang, “Role of Lewis acid catalysts in plastic liquefaction,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 429, 2022. doi:10.1016/j.cej.2021.132345
- [16] M. López *et al.*, “Catalytic liquefaction of plastic waste: Process optimization and product analysis,” *Fuel Processing Technology*, vol. 229, 2022. doi:10.1016/j.fuproc.2022.107194
- [17] T. Zhang *et al.*, “Advances in catalytic liquefaction of polymers,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 169, 2023. doi:10.1016/j.rser.2022.112920
- [18] B. C. Smith, *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2011.