

LAJU KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B DALAM MEDIUM LIMBAH MINYAK BUMI DENGAN INHIBITOR SIKLOHEKSILAMINA

HARYONO *, ENGELA EVY ERNAWATI

*Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

**email : haryono@unpad.ac.id*

Abstrak. Korosi merupakan permasalahan umum yang terjadi pada peralatan proses dari bahan logam, khususnya pipa baja karbon, di industri pengolahan minyak bumi. Korosi tersebut dapat terjadi dengan laju bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti jenis medium, suhu, dan waktu kontak antara bahan logam dengan medium. Laju korosi dapat dihindari dengan teknik penambahan inhibitor ke dalam medium. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh suhu dan waktu perendaman pipa baja API 5L Grade B di dalam limbah minyak bumi dengan penambahan inhibitor sikloheksilamina terhadap laju korosinya. Sampel pipa baja API 5L Grade B disiapkan dalam bentuk kupon, potongan pipa dengan ukuran tertentu. Suhu perendaman dipelajari pada 30, 45, 60, 75, dan 90 °C, sedangkan waktu perendaman dipelajari selama 48, 72, dan 96 jam. Hasil penelitian menunjukkan, perendaman pada suhu 90 °C dengan penambahan inhibitor memberikan laju korosi terbesar, yaitu 0,788 mm/tahun posisi BLC (bottom line corrosion) dan 0,115 mm/tahun pada posisi TLC (top line corrosion). Sedangkan perendaman selama 96 jam dengan penambahan inhibitor memberikan laju korosi terbesar, yaitu 0,807 mm/tahun posisi BLC dan 0,133 mm/tahun pada posisi TLC.

Kata kunci: inhibitor korosi, laju korosi, limbah minyak bumi, pipa baja

Abstract. Corrosion is a common problem that occurs in metal processing equipment, especially carbon steel pipes, in the petroleum processing industry. Corrosion can occur at various rates depending on various factors, such as the type of medium, temperature, and the contact time between the metal and the medium. Corrosion rate can be inhibited by adding inhibitor technique to the medium. The purpose of this study was to study the effect of temperature and time of immersion of API 5L Grade B steel pipes in petroleum waste with the addition of cyclohexylamine inhibitor on the corrosion rate. Samples of API 5L Grade B steel pipe are prepared in the form of coupons, pipe pieces of a certain size. The immersion temperatures were studied at 30, 45, 60, 75, and 90 °C, while the immersion times were studied for 48, 72, and 96 hours. The results showed that immersion at a temperature of 90 °C with the addition of an inhibitor gave the highest corrosion rate, namely 0.788 mm/year at the BLC (bottom line corrosion) position and 0.115 mm/year at the TLC (top line corrosion) position. Meanwhile, immersion for 96 hours with the addition of an inhibitor gave the highest corrosion rate, namely 0.807 mm/year at BLC position and 0.133 mm/year at TLC position.

Keywords: corrosion inhibitor, corrosion rate, petroleum waste, steel pipe

1. Pendahuluan

Total konsumsi energi nasional masih didominasi pemenuhannya oleh energi jenis BBM (bahan bakar minyak), yaitu sekitar 39% dari konsumsi energi final di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 875 juta SBM (Setara Barel Minyak) [1].

Pemenuhan kebutuhan BBM tersebut salah satunya disediakan melalui pengolahan minyak bumi mentah. Pada pengolahan minyak bumi mentah dihasilkan limbah dalam bentuk padat, cair, maupun gas. Limbah cair tersebut dapat bersifat korosif karena keberadaan senyawa pengotor berupa asam, basa, dan garam dari tahap pemurnian minyak bumi mentah [2].

Penanganan limbah cair pada pengolahan minyak bumi mentah melibatkan sistem perpipaan. Salah satu jenis bahan logam pada konstruksi pipa adalah baja karbon jenis baja API (*American Petroleum Institute*) 5L Grade B. Pipa baja tersebut termasuk pipa baja karbon sedang dengan kadar karbon maksimum 0,3%, mangan maksimum 1,2%, phosphor maksimum 0,05%, dan sulfur maksimum 0,06% [3]. Kontak antara limbah cair bersifat korosif tersebut dengan permukaan pipa baja karbon sangat berpotensi timbulnya korosi. Korosi dapat menyebabkan penurunan struktur dan kerusakan pada sistem perpipaan, sehingga berdampak negatif secara finansial serta kesehatan dan keselamatan kerja maupun lingkungan [4, 5].

Permasalahan korosi dapat diatasi dengan berbagai jenis metode, salah satunya dengan penggunaan inhibitor korosi. Inhibitor korosi merupakan senyawa kimia yang dapat menghambat serangan korosi pada permukaan logam dengan cara pembentukan lapisan film atau senyawa kompleks yang akhirnya mampu mencegah interaksi logam dengan lingkungannya. Inhibitor korosi dari senyawa organik lebih banyak dipilih karena umumnya lebih ramah lingkungan, dan daya inhibisinya lebih baik daripada inhibitor dari senyawa anorganik [6].

Nurjanah menyatakan bahwa sikloheksilamina merupakan inhibitor organik yang mampu menghambat serangan korosi secara efektif [7]. Penelitian lain menunjukkan bahwa sikloheksilamina mampu menginhibisi korosi pada *mild steel*, baja karbon rendah (kadar karbon maksimal 0,2%), dalam lingkungan larutan 0,1 N asam sulfat dengan efisiensi inhibisi maksimal sebesar 81,06% [8]. Studi lain melaporkan, sikloheksilamin paling efektif sebagai inhibitor korosi volatil pada tes inhibisi selama 24 jam terhadap plat baja dalam lingkungan garam NaCl dengan laju korosi paling lambat sebesar $6,7 \mu\text{g cm}^{-2} \text{jam}^{-1}$ [9]. Sikloheksilamina sebagai salah satu inhibitor organik dari kelompok amina umum digunakan untuk mengurangi efek korosi sebagai akibat keberadaan gas CO_2 , H_2S , dan asam-asam organik pada fasilitas di sumur-sumur penambangan minyak bumi [10].

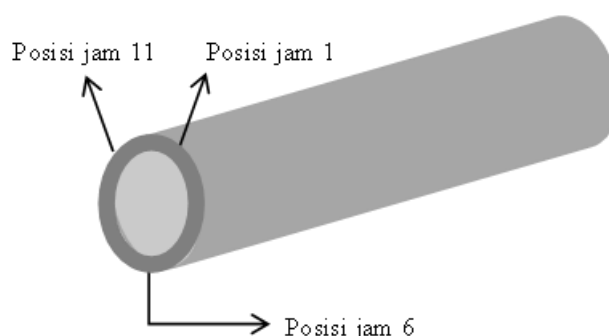
Efektivitas inhibitor organik, seperti sikloheksilamina, dalam menghambat korosi disebabkan oleh pasangan elektron bebas dari atom nitrogennya dapat teradsorpsi pada permukaan logam, dan rantai hidrokarbon pada senyawa tersebut mampu membentuk lapisan film hidrofobik sehingga sikloheksilamina mampu memisahkan permukaan logam dengan lingkungannya secara efektif [10]. Penambahan inhibitor korosi tentu saja tidak mungkin mampu meniadakan terjadinya korosi, namun hanya memperlambat laju korosi. Besarnya laju korosi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti: suhu dan waktu kontak antara permukaan logam dengan media korosif, karakteristik media korosif (keberadaan gas terlarut, pH, laju alir, padatan terlarut), dan konsentrasi inhibitor [11, 12].

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh suhu dan waktu perendaman pipa baja API 5L Grade B di dalam limbah minyak bumi dengan penambahan inhibitor sikloheksilamina terhadap laju korosi pipa baja.

2. Metode Penelitian

2.1. Penyiapan Kupon Baja Karbon dan Sampel Medium Uji Korosi

Pipa baja API 5L *Grade B* (dari PT Bakrie Pipe Industries) sebagai sampel peralatan yang dipelajari laju korosinya pada penelitian ini disediakan dalam bentuk kupon. Kupon dihasilkan dengan memotong bagian-bagian pada pipa baja API 5L *Grade B* pada posisi-posisi yang mewakili kemungkinan utama terjadinya korosi di lapangan, yaitu pada posisi jam 1, 11, dan 6. Sketsa posisi pemotongan pada pipa berdasarkan posisi jarum jam tersebut ditampilkan pada Gambar 1. Pemotongan bagian-bagian dari pipa baja tersebut ditargetkan untuk dihasilkan kupon dengan ukuran $\pm 4,0 \times 5,0 \times 0,6$ cm.



Gambar 1. Skema pengambilan sampel kupon dari pipa baja karbon API 5L *Grade B* pada posisi jam 1, 6, dan 11 pada pipa

Kupon baja dicuci dengan etanol teknis (konsentrasi 70%, Brataco). Permukaan baja kemudian dihaluskan dengan silikon karbida grit ukuran 240, 400, 600, 800, dan 1000. Kupon baja selanjutnya dibilas dengan akuades dan etanol teknis, dikeringkan, diukur kembali dengan jangka sorong, dan disimpan dalam desikator. Penyiapan dan pembersihan kupon sampel logam dilakukan dengan prosedur menurut ASTM G-1 [13]. Sampel kupon baja bersih ditimbang untuk diketahui berat awalnya (W_0).

Medium uji korosi disiapkan dalam dua jenis, yaitu limbah minyak bumi (dari PT Pertamina Unit Pengolahan VI Balongan, Indramayu) tanpa ditambahkan inhibitor sikloheksilamina, dan ditambahkan inhibitor. Limbah minyak bumi berinhibitor disiapkan dengan melarutkan inhibitor sikloheksilamina sebanyak 5 mL sikloheksilamina (0,022 M, Merck) ke dalam 2000 mL limbah minyak bumi di dalam gelas kimia. Pelarutan dilakukan dengan pengadukan menggunakan pengaduk magnet.

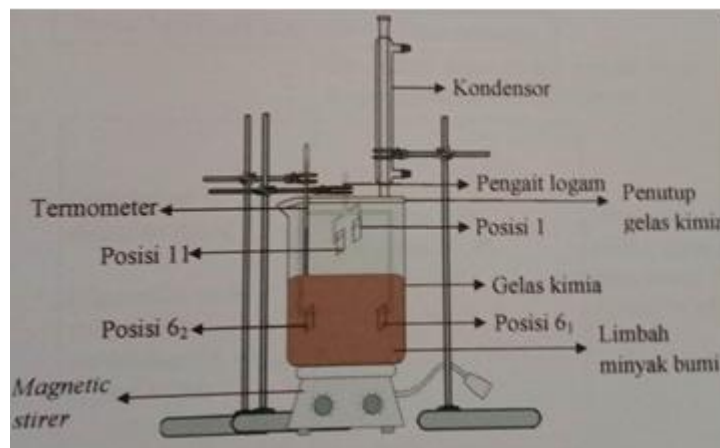
2.2. Penentuan Laju Korosi dengan Metode Berat Hilang (*Weight Loss Method*)

Laju korosi pada sampel kupon dari pipa baja API 5L *Grade B* dilakukan dengan variasi suhu dan waktu perendaman sampel kupon di dalam medium limbah minyak bumi, dengan dan tanpa inhibitor sikloheksilamina. Laju korosi ditentukan dengan metode berat hilang sesuai prosedur menurut Govindasamy & Ayappan [14].

Pada pengujian pengaruh suhu perendaman, satu sampel kupon baja dengan berat awal W_0 direndam seluruhnya di dalam medium uji korosi (limbah minyak bumi

dengan dan tanpa inhibitor sikloheksilamina) pada posisi jam 6. Selain itu, dua sampel kupon baja ditempatkan di atas permukaan medium uji korosi pada posisi 11 dan 1. Uji korosi di dalam medium limbah minyak bumi tanpa inhibitor sikloheksilamina dilakukan sebagai kontrol.

Penempatan kupon baja pada posisi jam 6 merupakan untuk menentukan laju korosi posisi BLC (*bottom line corrosion*), sedangkan pada posisi jam 11 dan 1 untuk menentukan laju korosi rata-rata posisi TLC (*top line corrosion*). Ilustrasi posisi jam 1, 6, dan 11 pada pipa ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan sketsa rangkaian peralatan uji korosi ditampilkan pada Gambar 2. Sampel kupon baja dikontakkan dengan medium uji selama 24 jam, dan dibantu dengan pengadukan (Pengaduk bermagnet, IKA®) pada kecepatan 500 rpm. Setelah uji korosi kupon baja selesai, kupon baja disikat, dicuci dengan etanol teknis, dikeringkan, dan ditimbang. Berat kupon kering setelah uji korosi dicatat sebagai W_t . Suhu perendaman dipelajari pada variasi 30, 45, 60, 75, dan 90 °C.



Gambar 2. Sketsa rangkaian alat eksperimen

Prosedur pengujian laju korosi sejenis dilakukan untuk mempelajari pengaruh waktu perendaman. Waktu perendaman dipelajari selama 48, 72, dan 96 jam. Uji laju korosi pada variasi waktu perendaman tersebut dilakukan pada suhu medium uji (pada tahap uji pengaruh suhu perendaman) yang memberikan laju korosi terbesar. Laju korosi dihitung dengan Persamaan (1) berikut:

$$LK = \frac{K W}{A T D} \quad (1)$$

dengan: LK = laju korosi (mm/tahun), K = konstanta laju korosi ($8,76 \times 10^4$), W = $W_0 - W_t$ = berat logam sampel hilang (g), A = luas permukaan logam sampel (cm^2), T = waktu perendaman (jam), D = densitas logam sampel (untuk baja karbon, D = $7,86 \text{ g/cm}^3$). A, luas permukaan logam sampel (kupon), dihitung dengan pendekatan Persamaan (2).

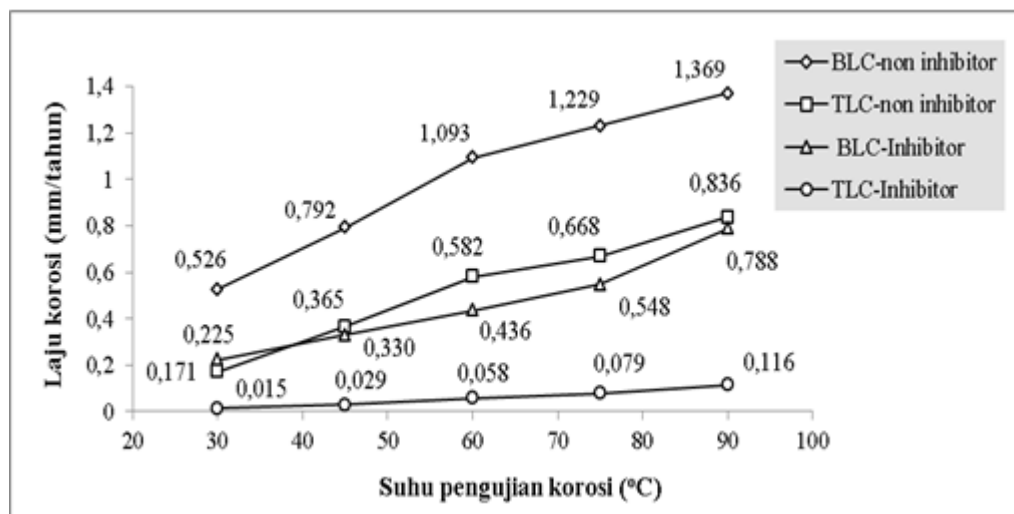
$$A = 2 [(p l) + (p t) + (l t)] - 2 \pi r^2 + 2 \pi r t \quad (2)$$

dengan: p, l, t = panjang, lebar, tebal kupon uji (cm), r = pendekatan jari-jari kupon = t (cm).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Laju Korosi berdasarkan Variasi Suhu Perendaman

Laju korosi terhadap sampel kupon dari pipa baja karbon API 5L Grade B dipelajari pada variasi suhu perendaman di dalam medium sebesar 30, 45, 60, 75, dan 90 °C. Hasil penentuan laju korosi berdasarkan variasi suhu perendaman, tanpa dan dengan penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina, tersebut ditampilkan pada Gambar 3. Laju korosi dihitung pada posisi BLC (*bottom line corrosion*) dan TLC (*top line corrosion*), sedangkan inhibitor sikloheksilamina 0,022 M ditambahkan sebanyak 0,25 %-v/v.



Gambar 3. Hubungan antara suhu medium korosif dengan laju korosi pada uji korosi kupon baja selama 24 jam tanpa dan dengan inhibitor sikloheksilamina

Hasil penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3 diperoleh kecenderungan bahwa peningkatan suhu medium (limbah minyak bumi) mengakibatkan kenaikan laju korosi pada baja. Peningkatan laju korosi tersebut menunjukkan semakin banyak besi oksida yang terbentuk selama korosi. Pembentukan besi oksida selama korosi menyebabkan pengurangan kadar besi pada sampel baja. Kenaikan suhu medium sebenarnya akan menurunkan kelarutan oksigen di dalam medium, sehingga memungkinkan menyebabkan terjadi penurunan laju korosi. Namun pada penelitian ini sistem korosi diselenggarakan pada sistem tertutup, sehingga kadar oksigen terlarut dapat dipertahankan di dalam medium. Kondisi sistem korosi tertutup tersebut mengakibatkan laju korosi terus meningkat seiring dengan kenaikan suhu medium [15].

Selain itu, peningkatan suhu medium dapat meningkatkan koefisien difusi antar spesi kimia (ion besi dan oksigen) di dalam mediumnya [16], sehingga terjadi peningkatan laju perpindahan oksigen terlarut dan ion besi ke dan dari permukaan logam selama peristiwa korosi. Akibatnya laju korosi meningkat seiring dengan kenaikan suhu.

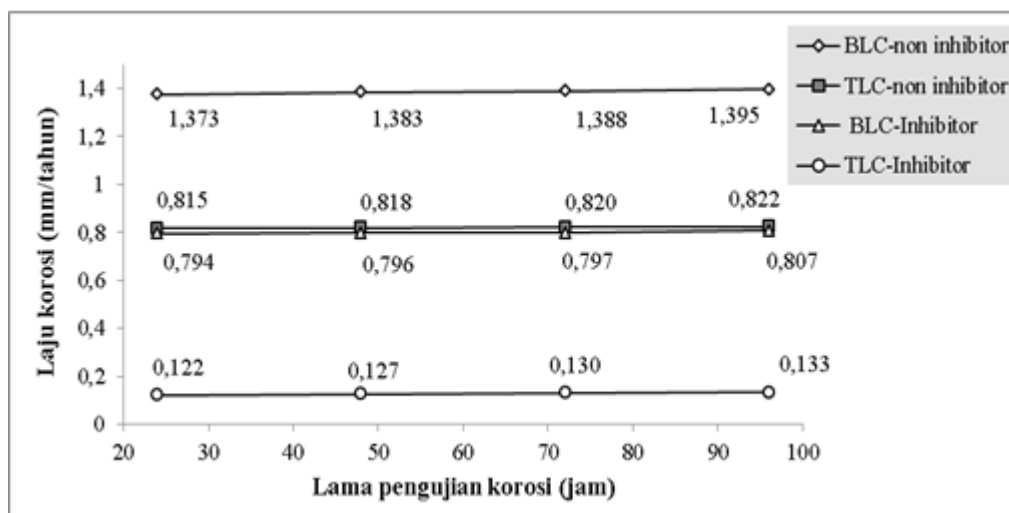
Korosi sampel kupon baja pada posisi jam 6 (BLC), di dalam medium tanpa inhibitor sikloheksilamina menunjukkan, peningkatan suhu medium menyebabkan

kenaikan laju korosi dari 0,525 mm/tahun sampai 1,369 mm/tahun. Laju korosi tanpa inhibitor tersebut mampu diturunkan dengan keberadaan inhibitor sikloheksilamina. Pada peningkatan suhu medium antara 30 – 90 °C, penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina mampu menekan laju korosi BLC menjadi 0,225 mm/tahun sampai 0,788 mm/tahun. BLC merupakan korosi yang terjadi dengan mekanisme korosi erosi. Penambahan inhibitor sikloheksilamina, dimana inhibitor tersebut teradsorpsi pada permukaan logam, menyebabkan permukaan logam lebih terproteksi oleh korosi erosi tersebut.

Perlakuan sejenis (medium tanpa dan dengan inhibitor sikloheksilamina) pada korosi TLC, korosi posisi jam 11 dan 1, diperoleh kecenderungan yang sama. TLC terjadi karena adsorpsi uap air dari medium (limbah minyak bumi) ke permukaan logam (pipa). Adsorpsi uap air ini berlangsung secara simultan membentuk lapisan film air. Lapisan film air pada permukaan langit-langit logam tersebut, ditambah keberadaan oksigen, mengakibatkan terjadinya TLC. Keberadaan inhibitor sikloheksilamina mampu memperlambat laju korosi TLC pada interval suhu uji medium menjadi 0,015 – 0,115 mm/tahun, dari 0,170 – 0,836 mm/tahun jika tanpa inhibitor. Perlambatan laju korosi TLC dengan keberadaan inhibitor sikloheksilamina di dalam medium tersebut disebabkan oleh permukaan logam terlindungi oleh lapisan sikloheksilamina yang menguap kemudian teradsorpsi. Hal tersebut membuktikan bahwa sikloheksilamina merupakan inhibitor korosi yang volatil atau Volatile Corrosion Inhibitor, VCI [9, 10].

3.2. Laju Korosi berdasarkan Variasi Waktu Perendaman

Pengaruh waktu perendaman sampel kupon baja terhadap laju korosi di dalam medium dengan dan tanpa inhibitor sikloheksilamina dipelajari pada variasi 24,48, 72, dan 96 jam. Hasil perhitungan laju korosi berdasarkan variasi waktu perendaman Gambar 4.

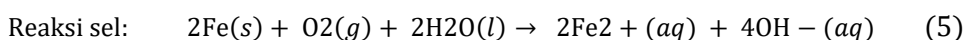
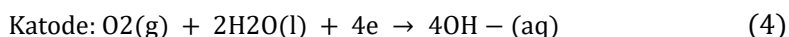
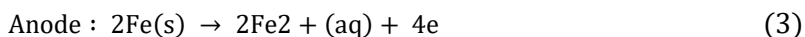


Gambar 4. Hubungan antara lama uji korosi dengan laju korosi pada uji korosi kupon baja (suhu 90 °C) tanpa dan dengan inhibitor sikloheksilamina

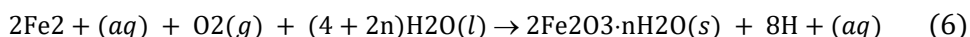
Data pada Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan semakin lama perendaman sampel kupon baja di dalam medium, terjadi peningkatan laju korosi. Peningkatan waktu perendaman berarti memperlama waktu kontak antara zat korosif (medium, limbah minyak bumi) dengan sampel kupon baja, sehingga meningkatkan kelarutan ion besi di dalam medium korosifnya [17].

Laju korosi di dalam medium tanpa inhibitor menunjukkan nilai laju lebih besar daripada di dalam medium dengan inhibitor, baik korosi jenis BLC maupun TLC. Laju korosi BLC lebih besar dibandingkan laju korosi TLC pada setiap variasi waktu perendaman yang dipelajari. Laju korosi tertinggi terjadi pada waktu perendaman selama 96 jam (4 hari), yaitu sebesar 1,395 mm/tahun (korosi BLC) dan 0,822 mm/tahun (korosi TLC) di dalam medium tanpa inhibitor, sedangkan korosi di dalam medium dengan inhibitor dicapai sebesar 0,807 mm/tahun pada korosi BLC dan 0,133 mm/tahun pada korosi TLC. Keberadaan inhibitor sikloheksilamina di dalam medium korosif, berdasarkan hasil penelitian tersebut, mengindikasikan telah mampu menginhibisi peristiwa korosi dengan mekanisme proteksi permukaan logam sebagai akibat teradsorpsinya molekul-molekul sikloheksilamina pada permukaan logam.

Peristiwa korosi pada sampel kupon baja terjadi melalui reaksi elektrokimia dengan perkiraan reaksi pada Persamaan (3), (4), dan (5).



Ion Fe^{2+} kemudian mengalami oksidasi lebih lanjut menjadi besi oksida terhidrasi (karat besi) menurut Persamaan (6) berikut:



4. Kesimpulan

Peningkatan suhu medium korosif (limbah minyak bumi) dan waktu kontak antara medium korosif dengan kupon baja mengakibatkan korosi terjadi dengan laju semakin tinggi. Penambahan sikloheksilamina sebagai inhibitor korosi organik ke dalam medium korosif mampu memperlambat laju korosi dari kupon baja. Oleh karena itu, keberadaan inhibitor korosi di dalam medium korosif terbukti mampu memberikan proteksi terhadap permukaan logam dari kerusakan akibat korosi.

Korosi pada posisi BLC, bottom line corrosion (kupon baja terendam medium korosif) cenderung terjadi dengan laju korosi lebih cepat daripada korosi di posisi TLC, top line corrosion (kupon baja di atas permukaan medium korosif). Hal tersebut menunjukkan bahwa kontak antara logam dengan medium korosif di posisi BLC lebih efektif dan intensif dibandingkan di posisi TLC. Selain itu membuktikan bahwa sikloheksilamina merupakan inhibitor korosi yang volatil.

Daftar Pustaka

1. BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Outlook Energi Indonesia 2020, Indonesia (2021).
2. S. Matar, Chemistry of Petrochemical Processes. 2nd Edition, Gulf Publishing Co., Texas, USA (2000).
3. B. Irawan, Pengaruh Perubahan Suhu Annealing Hasil Pengelasan SAW Baja API 5L Grade B terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang (2010).
4. A. Y. El-Etre & M. Abdullah, Natural honey as corrosion inhibitor for metals and alloys C-steel in high saline water, Corrosion Sciences, Vol. 42 (2000), p. 731–738.
5. A. P. Teixeira, Reliability of pipelines with corrosion defects, International J. of Pressure Vessels and Piping, Vol. 85 (2008), p. 228–237.
6. S. Martinez & I. S. Tagljar, Correlation between the molecular structure and the corrosion inhibition efficiency of chestnut tannin in acidic solutions, J. of Molecular Structure, Vol. 640 (2003), p. 167–174.
7. L. Nurjanah, Korosi Baja Karbon API 5L Grade B dalam Larutan Asam Asetat Jenuh Karbondioksida yang Diinhibisi Sikloheksilamina dengan Variasi Waktu Perendaman dan Laju Alir, Skripsi, Universitas Padjadjaran, Bandung (2010).
8. H. Kumar & T. Dhanda, Cyclohexilamine an effective corrosion inhibitor for mild steel in 0.1 N H₂SO₄: Experimental and theoritical (molecular dynamics simulation and Frontier Molecular Orbital) study, Journal of Molecular Liquids, Vol. 327 (2021), p. 114847.
9. M. A. G. Valente Jr., L. M. Goncalves, J. P. Filho, A. A. Cardoso, J. A. Rodrigues, C. S. Fugivara, & A. V. Benedetti, Corrosion protection of steel by volatile corrosion inhibitors: vapor analysis by gas-diffusion microextraction and mass loss and electrochemical impedance in NaCl deliquescence test, J. Braz. Chem. Soc. (2020), Vol. 31, No. 10, p. 2038–2048.
10. C. G. Dariva & A. F. Galio, Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications, Developments in Corrosion Protection Chapter 16, INTECH (2014), p. 365–379.
11. Halimatuddahlia, Pencegahan Korosi dan *Scale* pada Proses Produksi Minyak Bumi, USU Digital Library, Medan (2003).
12. S. Widharto, Karat dan Pencegahannya, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta (2001).
13. Alabama Spelcialty Products Incorporation (ALSPI), Corroton Coupons and Weight Loss Analysis, <http://metalsamples.com>. 15 Juli 2022.
14. R. Govindasamy & S. Ayappan, Study of corrosion inhibition properties of novel semicarbazones on mild steel in acidic solutions, J. Chil. Chem. Soc., Vol. 60 No. 1 (2015), p. 2786–2798.
15. D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Co., Singapura (1992).
16. P. Atkins, J. de Paula, J. Keeler, Atkins' Physical Chemistry, 11th Edition, Oxford University, New York (2016).
17. A. D. Usman, A. F. Victoria, L. N. Okoro, Weight loss corrosion study of some metals in acid medium, J. of Advances Chemistry, Vol. 11 No. 2 (2016), p. 3434–3440