

Efisiensi Inhibisi Korosi oleh Sikloheksilamina pada Baja API 5L Grade B dalam Medium Limbah Cair Minyak Bumi

HARYONO^{1*}, YULIANDRI¹, ATIEK ROSTIKA NOVIYANTI¹, DAN E. EVY ERNAWATI¹

¹Departemen Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran, Jl. Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat

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

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
Efisiensi inhibisi;
inhibitor; korosi;
limbah cair minyak
bumi; pipa baja.

Sistem perpipaan dengan bahan dasar dari besi, salah satunya di industri pengolahan minyak bumi, relatif rentan terhadap permasalahan korosi. Korosi pada logam dapat terjadi dengan laju bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti komposisi kimia medium, suhu, dan waktu kontak antara logam dengan medium. Laju korosi dapat hambat dengan teknik penambahan inhibitor ke dalam medium. Inhibitor korosi dari senyawa organik lebih banyak dipilih daripada anorganik. Salah satu inhibitor korosi yang potensial adalah sikloheksilamina. Kemampuan sikloheksilamina sebagai inhibitor korosi dipengaruhi oleh konsentrasinya dalam medium, suhu medium, lama pemakaian, dan kondisi dinamik medium. Penelitian ini bertujuan menentukan efisiensi inhibisi korosi oleh inhibitor sikloheksilamina pada pipa baja API 5L Grade B di dalam medium limbah cair minyak bumi. Efisiensi inhibisi korosi tersebut dipelajari pada variasi suhu medium 30, 45, 60, 75, dan 90°C, sedangkan waktu kontak divariasikan selama 1, 2, 3, dan 4 hari. Pengujian inhibisi korosi dilakukan dengan penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina sebanyak 0,25% (v/v). Morfologi permukaan, komposisi unsur, dan komposisi senyawa dari sampel pipa baja sebelum dan setelah pengujian inhibisi korosi dikarakterisasi dengan SEM-EDS dan XRD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu medium dan semakin lama waktu kontak, efisiensi inhibitor korosi sikloheksilamina cenderung mengalami penurunan. Efisiensi inhibisi korosi tertinggi oleh sikloheksilamina pada posisi BLC (*bottom line corrosion*) dicapai sebesar 60,1% ketika pengujian dilakukan pada suhu medium 60°C selama 1 hari. Sedangkan pengujian korosi pada posisi TLC (*top line corrosion*) memberikan efisiensi inhibisi korosi tertinggi sebesar 91,9% ketika dilakukan pada suhu medium 45°C dan lama kontak 1 hari.

Keywords:
Efficiency of
inhibition;
inhibitors;
corrosion;
petroleum
wastewater; steel
pipe.

Piping systems with iron-based materials, one of which is in the petroleum processing industry, are relatively susceptible to corrosion problems. Corrosion of metals can occur at varying rates depending on various factors, such as the chemical composition of the medium, temperature, and the contact time between the metal and the medium. The corrosion rate can be inhibited by adding inhibitors to the medium. Corrosion inhibitors from organic compounds are preferred over inorganic ones. One of the potential corrosion inhibitors is cyclohexylamine. The ability of cyclohexylamine as a corrosion inhibitor is influenced by its concentration in the medium, medium temperature, duration of use, and dynamic conditions of the medium. This study aims to determine the efficiency of corrosion inhibition by cyclohexylamine inhibitors on API 5L Grade B steel pipes in the medium of petroleum wastewater. The efficiency of corrosion inhibition was studied at various medium temperatures of 30, 45, 60, 75 and 90°C, while the contact times were varied for 1, 2, 3 and 4 days. Corrosion inhibition testing was carried out by adding 0.25% (v/v) cyclohexamine corrosion inhibitor. Surface morphology, elemental composition, and compound composition of steel pipe samples before and after corrosion inhibition testing were characterized by SEM-EDS and XRD. The results showed that the higher the medium temperature and the longer the contact time, the efficiency of the cyclohexylamine corrosion inhibitor tended to

decrease. The highest corrosion inhibition efficiency by cyclohexylamine at the BLC (bottom line corrosion) position was achieved at 60.1% when the test was carried out at a medium temperature of 60°C for 1 day. While the corrosion test at the TLC (top line corrosion) position gave the highest corrosion inhibition efficiency of 91.9% when carried out at a medium temperature of 45°C and a contact time of 1 day.

PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak (BBM) dilaporkan merupakan jenis energi yang dominan dikonsumsi oleh masyarakat, yaitu sekitar 39% [1]. BBM tersebut disediakan melalui proses pengilangan atau pengolahan minyak bumi mentah. Pada beberapa tahap pengolahan minyak bumi mentah akan dihasilkan limbah dalam bentuk padat, cair, maupun gas. Limbah cair dari pengolahan minyak bumi mentah dapat bersifat korosif karena keberadaan senyawa pengotor berupa asam, basa, dan garam, baik yang terdapat pada minyak bumi mentah maupun ditambahkan dan atau terbentuk pada suatu tahap pemurnian [2].

Penanganan limbah cair dari pengolahan minyak bumi mentah melibatkan sistem perpipaan sebagai saluran untuk mengalirkan limbah cair tersebut ke antar peralatan proses. 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, ekonomis, dan efisiensi inhibisinya lebih baik daripada inhibitor dari senyawa anorganik [6, 7].

Nurjanah menyatakan bahwa sikloheksilamina merupakan inhibitor organik yang mampu menghambat serangan korosi secara efektif [8]. 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% [9]. 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 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{jam}^{-1}$ [10]. Sikloheksilamina sebagai salah satu inhibitor organik dari kelompok amina umum digunakan untuk mengurangi efek korosi sebagai akibat keberadaan gas CO₂, H₂S, dan asam-asam organik pada fasilitas di sumur-sumur penambangan minyak bumi [11].

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 [11]. 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 [12, 13].

Tujuan dari Penelitian ini adalah menentukan pengaruh suhu medium dan waktu kontak terhadap efisiensi inhibisi korosi oleh inhibitor sikloheksilamina pada pipa baja API 5L Grade B di dalam medium limbah cair minyak bumi.

EKSPERIMEN

Material

Material pada eksperimen adalah: sampel pipa baja API 5L *Grade B* dari PT Bakrie Pipe Industries, limbah cair minyak bumi dari PT Pertamina Unit Pengolahan VI Balongan (Indramayu, Jawa Barat), sikloheksilamina (pa, Merck), etanol teknis (konsentrasi 70%, Bratachem Bandung), dan akuades.

Instrumentasi

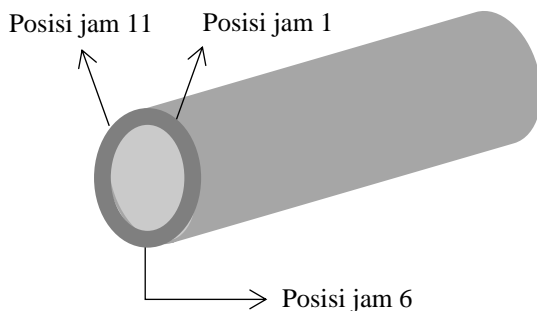
Morfologi permukaan dan komposisi unsur dari sampel kupon baja dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDS, Jeol Jsm-6360LA). *X-Ray Diffraction* (XRD, PANalytical X'Pert PRO serial PW3040/X0) digunakan untuk menentukan komposisi fase senyawa oksida logam pada sampel kupon baja.

Prosedur

Eksperimen dilakukan melalui tahapan berikut: penyiapan pipa baja karbon dalam bentuk kupon, karakterisasi sampel kupon baja sebelum uji korosi, penyiapan sampel medium uji korosi, uji korosi, dan karakterisasi sampel kupon baja setelah uji korosi.

Penyiapan sampel kupon baja karbon dan medium uji korosi

Pipa baja API 5L *grade B* sebagai sampel baja pada uji korosi disiapkan 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 pipa berdasarkan posisi jarum jam tersebut ditampilkan pada **Gambar 1**. Pemotongan bagian-bagian dari pipa baja ditargetkan untuk dihasilkan kupon berukuran $\pm 4,0 \times 5,0 \times 0,6$ cm.



Gambar 1 Posisi penyiapan sampel kupon baja dari pipa baja API 5L *grade B*

Kupon baja dicuci dengan etanol teknis 70%. Permukaan baja kemudian dihaluskan dengan amplas silikon karbida grit ukuran 240, 400, 600, 800, dan 1000 secara bertahap. Kupon baja selanjutnya dibilas dengan akuades dan etanol teknis 70%, dikeringkan, diukur kembali dengan jangka sorong, dan disimpan dalam desikator. Penyiapan dan pembersihan kupon sampel logam dilakukan dengan prosedur menurut ASTM G-1 [14]. Sampel kupon baja bersih ditimbang untuk diketahui berat awalnya. Morfologi permukaan dan komposisi unsur dari sampel kupon baja sebelum uji korosi ditentukan dengan SEM-EDS, sedangkan jenis senyawa oksidanya dikarakterisasi dengan XRD.

Medium uji korosi disiapkan dalam dua jenis, yaitu limbah cair minyak bumi tanpa dan dengan penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina. Limbah cair minyak bumi dengan inhibitor korosi disiapkan dengan melarutkan sikloheksilamina ke dalam limbah cair sebanyak 0,25% (v/v). Pelarutan dilakukan di dalam gelas kimia dengan bantuan pengadukan menggunakan pengaduk magnet.

Uji korosi kupon baja

Pada uji korosi ini dipelajari pengaruh parameter operasi suhu dan waktu kontak antara kupon baja dengan medium divariasikan terhadap efisiensi inhibisi korosi. Efisiensi inhibisi korosi (η_{CI}) dihitung dengan Persamaan (1). Laju korosi, *corrosion rate*, ditentukan dengan metode berat hilang sesuai prosedur menurut Govindasamy & Ayappan [15], sedangkan laju korosi dihitung dengan Persamaan (2).

$$\eta_{CI} = \frac{(CR_0 - CR_1)}{CR_0} \times 100\% \quad \dots(1)$$

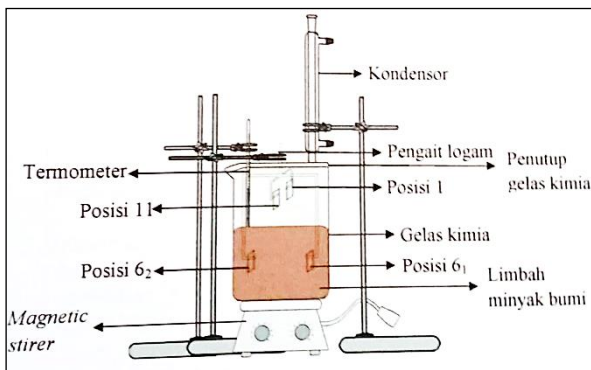
dengan: CR_0 dan CR_1 berturut-turut adalah *corrosion rate* tanpa dan dengan penambahan inhibitor (mm/tahun)

$$CR = \frac{K W}{A \Delta t D} \quad \dots(2)$$

dengan: CR = laju korosi (mm/tahun), K = konstanta laju korosi ($8,76 \times 10^4$), W = pengurangan berat logam sampel (g), A = luas permukaan logam sampel (cm^2), Δt = waktu perendaman (jam), D = densitas logam sampel (untuk baja karbon, $D = 7,86 \text{ g/cm}^3$)

Uji korosi dilakukan dengan menempatkan 3 sampel kupon baja pada 3 posisi di dalam medium limbah cair, yaitu pada posisi jam 6, 11, dan 1. Penempatan sampel kupon baja pada posisi jam 6 mewakili kondisi seluruh bagian kupon baja berkontak dengan medium. Sedangkan pada posisi jam 11 dan 1 dilakukan dengan menempatkan sampel kupon baja di atas permukaan medium. Uji korosi di dalam medium limbah cair minyak bumi tanpa inhibitor korosi 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 penempatan sampel kupon baja pada posisi jam 6, 11, dan 1 ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Rangkaian alat pada eksperimen uji korosi dari sampel kupon baja

Sampel kupon baja dikontakkan dengan medium uji selama 1 hari pada suhu medium divariasikan sebesar 30, 45, 60, 75, dan 90°C. Uji pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi inhibisi korosi dilakukan pada suhu 90°C dengan variasi waktu 1, 2, 3, dan 4 hari. Faktor dinamika fluida dari medium dikontrol dengan pengadukan menggunakan pengaduk bermagnet pada kecepatan 500 rpm. Setelah uji korosi kupon baja selesai, kupon baja disikat dengan sikat kawat untuk menghilangkan material produk korosi, dicuci dengan etanol teknis, dikeringkan, dan ditimbang. Berat kupon kering setelah uji korosi dicatat. Selisih antara berat sampel kupon baja antara sebelum dengan setelah uji korosi dicatat sebagai pengurangan berat atau berat hilang.

Sampel kupon baja pada uji korosi dengan efisiensi inhibisi korosi paling rendah dikarakterisasi morfologi permukaan dan komposisi unsurnya menggunakan SEM-EDS.

Jenis senyawa oksida yang terbentuk sebagai dampak korosi dikarakterisasi dengan XRD.

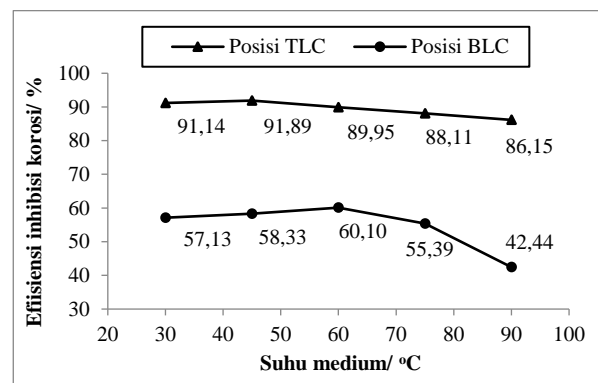
HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Inhibisi Korosi sebagai Fungsi Suhu Medium

Sampel kupon baja setelah disiapkan dari pemotongan pipa baja API 5L grade B, penampilan fisiknya sebelum uji korosi ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pengaruh dari suhu medium (limbah cair minyak bumi) terhadap efisiensi inhibisi korosi sampel kupon baja ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Sampel kupon baja sebelum uji korosi



Gambar 4 Hubungan antara suhu medium terhadap efisiensi inhibisi korosi kupon baja oleh inhibitor sikloheksilamina

Gambar 4 menunjukkan bahwa sampai pada suhu medium tertentu, peningkatan suhu medium akan meningkatkan kemampuan sikloheksilamina dalam menghambat laju korosi kupon baja. Namun peningkatan suhu medium berikutnya, efisiensi inhibisi korosi terhadap kupon baja oleh sikloheksilamina mengalami penurunan. Kecenderungan tersebut terjadi baik pada posisi TLC (*top line corrosion*) maupun BLC (*bottom line corrosion*). Berdasarkan Persamaan (1), peningkatan efisiensi inhibisi korosi

mengindikasikan terjadinya penurunan laju korosi, dan sebaliknya.

Efisiensi inhibisi korosi pada posisi TLC, secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan pada posisi BLC untuk semua variasi suhu medium. Hal tersebut terjadi lebih disebabkan oleh nilai laju korosi di posisi TLC lebih rendah daripada di posisi BLC sebagai dampak reaksi korosi lebih terkonsentrasi atau dominan terjadi terhadap sampel kupon baja di posisi BLC. Pernyataan tersebut didasarkan pada data laju korosi terhadap sampel kupon baja tanpa inhibitor sikloheksilamina, dimana laju korosi rata-rata pada posisi TLC adalah 0,171 – 0,836 mm/tahun, sedangkan pada posisi BLC sebesar 0,526 – 1,369 mm/tahun. Karena laju korosi tanpa inhibitor pada posisi TLC lebih rendah daripada posisi BLC, maka penambahan sikloheksilamina sebagai inhibitor korosi akan berdampak terhadap lebih efektifnya adsorpsi molekul-molekul sikloheksilamina yang menguap seiring dengan peningkatan suhu medium ke permukaan sampel kupon baja pada posisi TLC. Mekanisme inhibisi korosi oleh inhibitor korosi, seperti sikloheksilamina, dimulai dengan tahap teradsorpsinya molekul-molekul inhibitor pada permukaan logam [16]. Adsorpsi molekul pada fase gas cenderung lebih tinggi daripada fase cair salah satunya disebabkan oleh mobilitas molekul pada fase gas lebih tinggi dibandingkan pada fase cair [17]. Selain itu, karena tingginya laju korosi tanpa inhibitor pada sampel kupon baja di posisi BLC, maka lebih banyak oksida besi terbentuk, dan kondisi aliran medium cair (limbah minyak bumi) yang lebih turbulen mengakibatkan tahap adsorpsi molekul-molekul inhibitor ke permukaan sampel kupon baja di posisi BLC ini berlangsung relatif kurang efektif. Akibatnya efisiensi inhibisi korosi pada posisi TLC secara konsisten lebih tinggi daripada di posisi BLC.

Hasil penelitian pada **Gambar 4** juga menunjukkan bahwa efisiensi inhibisi korosi pada posisi TLC mengalami peningkatan sampai pada suhu medium sebesar 45°C, selanjutnya terjadi penurunan secara konsisten mulai pada saat suhu medium 60°C. Hasil sedikit berbeda ditunjukkan dari uji korosi pada posisi BLC dimana penurunan efisiensi inhibisi korosi terjadi pada suhu medium lebih tinggi, yaitu pada 75°C. Fakta tersebut diperkirakan sebagai akibat terjadinya gangguan tahap adsorpsi molekul-molekul sikloheksilamina pada permukaan sampel kupon ketika suhu ditingkatkan sampai pada batas suhu medium tertentu. Kenaikan suhu medium pada batas

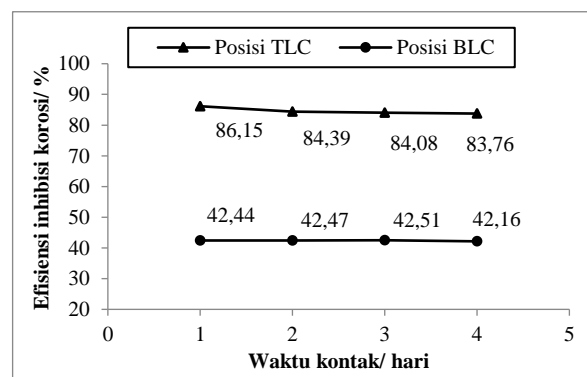
tertentu akan meningkatkan laju adsorpsi molekul-molekul inhibitor ke permukaan logam sehingga efisiensi inhibisi korosi akan meningkat. Namun pada suhu medium yang lebih tinggi, kestabilan molekul-molekul inhibitor korosi yang telah teradsorpsi pada permukaan logam akan terganggu, dan kemudian akan terdesorpsi kembali ke fase fluida. Oleh karena itu efisiensi inhibisi korosinya mengalami penurunan.

Penurunan efisiensi inhibisi korosi pada posisi BLC terjadi pada suhu medium lebih tinggi (75°C) dibandingkan pada posisi BLC (60°C). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada permukaan kupon baja di posisi BLC tersebut, molekul-molekul sikloheksilamina (dalam fase cair) sebagai inhibitor korosi teradsorpsi dengan kondisi lebih stabil.

Hasil penelitian ini cukup berbeda dengan temuan penelitian lain. Peningkatan suhu medium umumnya akan menurunkan efisiensi inhibisi korosi dari inhibitor organik [18]. Hal tersebut terjadi karena peningkatan suhu medium akan memperlemah gaya tarik-menarik antara molekul inhibitor dengan permukaan logam [19].

Efisiensi Inhibisi Korosi sebagai Fungsi Waktu Kontak

Pengaruh waktu kontak pada uji inhibisi korosi terhadap sampel kupon baja oleh sikloheksilamina dipelajari pada suhu medium limbah cair minyak bumi 90°C. Pada suhu medium tersebut, korosi berlangsung dengan laju tertinggi, sehingga kemampuan optimum inhibisi korosi dari sikloheksilamina dapat dipelajari sebagai fungsi waktu kontak uji korosi. Hubungan antara waktu kontak dengan efisiensi inhibisi korosi dari sikloheksilamina pada uji korosi ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Hubungan antara waktu kontak terhadap efisiensi inhibisi korosi kupon baja oleh inhibitor sikloheksilamina

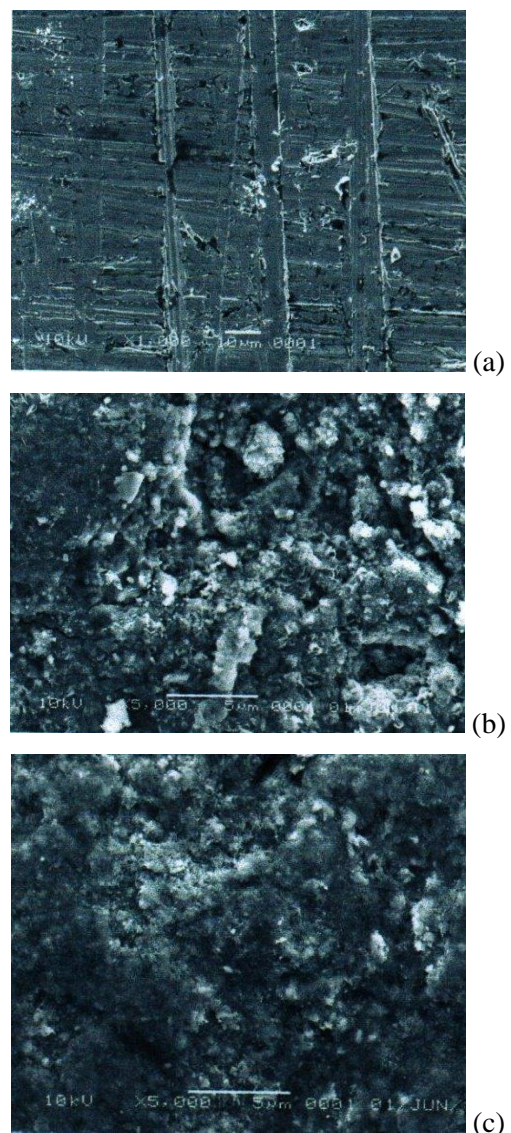
Uji inhibisi korosi berdasarkan variasi waktu kontak diperoleh kecenderungan yang sama dengan uji korosi berdasarkan suhu medium, dimana efisiensi inhibisi korosi pada posisi TLC, secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan pada posisi BLC untuk semua variasi waktu kontak. Efisiensi inhibisi korosi pada posisi TLC menunjukkan konsistensi bahwa semakin lama waktu kontak antara medium dengan sampel kupon baja, efisiensi inhibisi korosi semakin menurun. Hal tersebut mengindikasikan bahwa semakin lama waktu kontak, kemampuan inhibitor sikloheksilamina dalam menginhibisi korosi pada posisi TLC semakin turun sehingga laju korosi berlangsung semakin cepat. Peningkatan waktu kontak berarti memperlama waktu kontak antara zat korosif (medium, limbah minyak bumi) dengan sampel kupon baja, sehingga meningkatkan kelarutan ion besi di dalam medium korosifnya [20]. Penurunan efisiensi inhibisi korosi seiring dengan semakin lamanya waktu kontak tersebut mengindikasikan peningkatan laju desorpsi atau lepasnya molekul-molekul sikloheksilamina dari permukaan sampel kupon baja, sehingga itu kinerja inhibisi sikloheksilamina semakin menurun. Molekul-molekul sikloheksilamina yang teradsorpsi pada permukaan sampel kupon baja di posisi TCL berfase gas. Pada suhu uji inhibisi korosi tertinggi (90°C), mobilitas molekul-molekul gas semakin meningkat [17]. Oleh karena itu, seiring semakin lamanya waktu kontak, stabilitas ikatan inter molekuler antar molekul sikloheksilamina dan dengan permukaan sampel kupon baja semakin lemah, dan akhirnya molekul-molekul sikloheksilamina tersebut terlepas kemudian berdifusi ke dalam medium cair (limbah cair minyak bumi). Efisiensi inhibisi korosi oleh inhibitor organik biasanya mengalami penurunan setelah 1 hari pengujian [21].

Kecenderungan relatif berbeda terjadi pada uji inhibisi korosi di posisi BLC. Pada posisi BLC, semakin lama waktu kontak, efisiensi inhibisi korosi semakin meningkat sampai waktu kontak selama 3 hari. Namun pada uji inhibisi korosi pada hari ke-4, efisiensi inhibisi korosi kemudian mengalami penurunan. Kecenderungan peningkatan efisiensi inhibisi korosi seiring lama waktu kontak pada posisi BLC tersebut merupakan dampak ikutan dari peristiwa peningkatan laju desorpsi molekul-molekul sikloheksilamina pada posisi TLC, kemudian diikuti berdifusinya molekul-molekul inhibitor

tersebut ke dalam medium cair limbah minyak bumi.

Karakteristik Sampel Kupon Baja Uji Inhibisi Korosi

Sampel kupon baja dari pipa baja API 5L grade B setelah disiapkan, diuji inhibisi korosi (pada suhu 90°C selama 4 hari) tanpa dan dengan penambahan inhibitor sikloheksilamina selanjutnya dikarakterisasi morfologi permukaan dan komposisi unsur/senyawanya dengan SEM-EDS. Hasil karakterisasi ditampilkan pada Gambar 6 dan Tabel 1.



Gambar 6 Morfologi permukaan sampel kupon baja API 5L grade B pada uji inhibisi korosi: (a) sebelum, (b) setelah, tanpa inhibitor, (c) setelah, dengan inhibitor

Gambar 6(a) menunjukkan hasil SEM dari sampel kupon baja sebelum uji inhibisi. Permukaan sampel kupon baja terlihat halus dan rata (tidak terdapat tampilan aglomerasi). Namun setelah uji inhibisi korosi, terdeteksi adanya kerusakan pada permukaan sampel kupon baja akibat korosi (**Gambar 6(b)** dan **6(c)**). Hasil SEM pada **Gambar 6(b)** juga menunjukkan adanya aglomerasi material hasil korosi tidak seragam dan di beberapa bagian tampak permukaan masih tampak rata. Sedangkan pada **Gambar 6(c)**, permukaan sampel kupon baja terdapat aglomerasi yang terdistribusi secara merata. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kerusakan sebagai akibat korosi pada sampel kupon baja tanpa penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina, terjadi lebih intensif.

Penambahan inhibitor korosi ke dalam medium terbukti mampu menekan laju korosi. Hal tersebut ditunjukkan pada kadar besi oksida yang teranalisis dengan SEM-EDS pada **Tabel 1**. Kadar besi oksida pada sampel kupon baja setelah uji inhibisi tanpa inhibitor korosi teranalisis sebesar 78,84%, kemudian turun menjadi 67,20 setelah penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina.

Tabel 1 Komposisi unsur dan besi oksida dari sampel kupon baja API 5L grade B pada uji inhibisi korosi^a

Unsur	Kadar (%)		
	Sebelum	Setelah Uji ^b	Setelah Uji ^c
C	2,91	11,11	13,39
Cr	0,10	-	-
Fe	96,99	61,28	52,23
O	-	21,89	23,68
Na	-	0,70	0,38
Mg	-	0,51	2,91
Al	-	0,40	0,91
Si	-	2,07	3,54
P	-	0,32	0,49
S	-	0,17	0,35
Cl	-	0,43	0,23
K	-	0,36	0,42
Ca	-	0,75	1,45
FeO	-	78,84	67,20

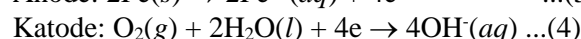
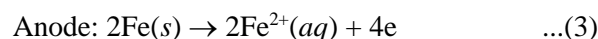
Keterangan:

a. Kondisi uji: suhu 90°C selama 4 hari

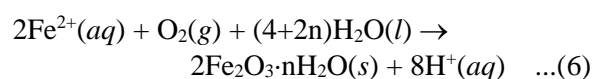
b. Tanpa penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina

c. Dengan penambahan inhibitor korosi sikloheksilamina

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:



SIMPULAN

Suhu medium dan waktu kontak berpengaruh terhadap efisiensi dari sikloheksilamina dalam menginhibisi korosi pada sampel kupon baja API 5L grade B. Peningkatan suhu medium, pada awalnya meningkatkan efisiensi inhibisi korosi. Namun pada batas suhu tertentu, efisiensi inhibisi kemudian terjadi penurunan.

Uji inhibisi korosi dengan waktu kontak lebih lama akan menurunkan efisiensi inhibisi secara konsisten pada korosi di posisi TLC. Kecenderungan sebaliknya terjadi secara relatif konsisten pada korosi di posisi BLC.

REFERENSI

- [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 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, p. 731-738, 2000.
- [5] A. P. Teixeira, Reliability of pipelines with corrosion defects, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 85, p. 228-237, 2008.
- [6] S. Martinez, I. S. Tagljar, Correlation between the molecular structure and the corrosion inhibition efficiency of chestnut tannin in acidic solutions, *Journal of Molecular Structure*, Vol. 640, p. 167-174, 2003.
- [7] C. Verma, E. E. Ebenso, M. A. Quraisi, C. M. Hussain, "Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications", *Materials Advances*, vol. 2, pp. 3806-3850, 2021.
- [8] 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.
- [9] H. Kumar, T. Dhanda, Cyclohexilamine an effective corrosion inhibitor for mild steel in 0.1 N H₂SO₄: Experimental and theoretical (molecular dynamics simulation and Frontier Molecular Orbital) study, *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 327, p. 114847, 2021.
- [10] 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", *Journal of Brazilian Chemical Society*, Vol. 31, No. 10, p. 2038-2048, 2020.
- [11] C. G. Dariva, A. F. Galio, "Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications, Developments in Corrosion Protection: Chapter 16", INTECH, p. 365-379, 2014.
- [12] Halimatuddahlia, "Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi", USU Digital Library, Medan, 2003.
- [13] S. Widharto, "Karat dan Pencegahannya", Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
- [14] Alabama Spelcialty Products Incorporation (ALSPI), Corroton Coupons and Weight Loss Analysis, <http://metalsamples.com>, 18 Agustus 2023.
- [15] R. Govindasamy, S. Ayappan, Study of corrosion inhibition properties of novel semicarbazones on mild steel in acidic solutions, *Journal of Chilean Chemical Society*, Vol. 60 No. 1, p. 2786-2798, 2015.
- [16] B. E. Brycki, I. H. Kowalczyk, A. Szulc, O. Kaczerewska, M. Pakiet, "Organic corrosion inhibitors: Corrosion inhibitors, principles and recent applications", Intech, pp. 1-33, 2018.
- [17] P. Atkins, J. de Paula, J. Keeler, *Atkins' Physical Chemistry 11th Edition*, Oxford University, New York, 2016.
- [18] N. Obi-Egbedi, I. Obot, Xanthione: A new and effective corrosion inhibitor for mild steel in sulphuric acid solution, *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 6, p. 211-223, 2013.
- [19] M. Goyal, S. Kumar, I. Bahadur, C. Verma and E. E. Ebenso, Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions: A review, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 256, p. 565-573, 2018.
- [20] A. D. Usman, A. F. Victoria, L. N. Okoro, Weight loss corrosion study of some metals in acid medium, *Journal of Advances Chemistry*, Vol. 11 No. 2, p. 3434-3440, 2016.
- [21] A. A. Al-Amiery, W. N. R. W. Isahak, W. K. Al-Azzawi, Corrosion inhibitors: natural and synthetic organic inhibitors, *Lubricants*, vol. 11, p. 1-29, 2023.