



STUDI INHIBITOR KOROSI BERBASIS *IMIDAZOLINE SALT* PADA *BRINE WATER* DI PIPA PENYALUR MINYAK MENTAH

Lutviasari Nuraini*, Gadang Priyotomo, Ronald Nasoetion, Harsisto

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan
E-mail : *lutv002@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 10-04-2016, revisi tanggal : 31-08-2016, diterima untuk diterbitkan tanggal 31-08-2016

Intisari

Studi kinerja inhibitor *imidazoline salt* pada *brine water* di pipa penyalur minyak mentah dilakukan dengan melakukan pengujian polarisasi tafel, FTIR (*fourier transform infrared spectroscopy*) dan EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*). Jenis spesimen baja yang digunakan dalam penelitian adalah API 5L grade B dan larutan *brine water* berasal dari fluida di pipa penyalur minyak mentah. Penambahan inhibitor komersial berbasis *imidazoline salt* dilakukan dengan variasi 3 - 40 ppm untuk pengujian polarisasi dan variasi 3 - 20 ppm untuk pengujian EIS. Penambahan inhibitor berbasis *imidazoline salt* antara 3 – 20 ppm secara efektif dapat menurunkan nilai laju korosi dan meningkatkan efisiensi inhibitor hingga 95%. Tahanan lapisan adsorpsi molekul dengan penambahan inhibitor meningkat dibandingkan kondisi tanpa inhibitor, dimana hal ini dapat menurunkan aktivitas reaksi elektrokimia di permukaan baja. Penurunan laju korosi terjadi karena pembentukan lapisan tipis yang teradsorpsi di permukaan logam.

Kata Kunci: *Inhibitor, Imidazoline Salt, Brine Water, Tafel, EIS*

Abstract

A study of imidazoline salt inhibitor for brine water in crude oil pipeline was carried out using tafel polarization test, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). A type of specimen used in this research is API 5L grade B. The solution of brine water came from fluid in crude oil pipeline. The addition of commercial inhibitor of imidazoline salt base was conducted with range of 3-40 ppm for polarization test and range of 3-20 ppm for EIS test. The addition of imidazoline salt at 3-20 ppm is effective to decrease corrosion rate and to increase inhibitor efficiency up to 95%. The resistance of adsorbed molecule layer increase with the addition of inhibitor compared without inhibitor, where this addition could decrease the electrochemical reaction on the surface. The decrease of corrosion rate took place due to the presence of adsorbed thin layer in metal surface.

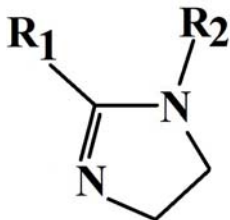
Keywords: *Inhibitor, Imidazoline Salt, Brine Water, Tafel, EIS*

1. PENDAHULUAN

Secara umum, senyawa organik inhibitor korosi merupakan senyawa yang dapat menurunkan nilai laju korosi pada permukaan logam baja bagian dalam suatu perpipaan^[1]. Keberadaan senyawa ini merupakan objek penting dalam pengendalian korosi di industri minyak dan gas bumi. Kehadiran gas H₂S, CO₂ dan pengotor lainnya antara lain klorida, sianida dan sebagainya meningkatkan potensi korosi pada perpipaan minyak mentah^[2].

Kehadiran gas H₂S yang berlebih pada minyak mentah (*crude oil*) dinamakan *sour crude oil*, sedangkan sebaliknya kehadiran gas H₂S dan CO₂ berkadar kecil dinamakan *sweet crude oil*. Korosi yang disebabkan kehadiran karbon dioksida (CO₂) pada perpipaan baja karbon akan semakin meningkat dengan injeksi CO₂ ke sumur minyak untuk mereduksi viskositas minyak^[3]. Selama proses korosi, permukaan baja karbon selalu ditutupi oleh lapisan besi karbonat (FeCO₃) yang memberikan efek

memperlambat laju korosi dan melindungi substrat dari korosi lebih lanjut^[4]. Proses injeksi inhibitor korosi merupakan standar operasional pada sistem produksi minyak dan gas bumi untuk mengontrol korosi internal struktur baja karbon. Inhibitor korosi organik berbasis nitrogen seperti *imidazoline salt* banyak digunakan di berbagai aplikasi migas^[5].



Gambar 1. Struktur molekul imidazolin^[6]

Gambar 1 memperlihatkan struktur imidazolin yang berupa senyawa heterosiklik dengan 2 unsur nitrogen, rantai panjang hidrokarbon (R_1) dan rantai sisi dengan gugus fungsi aktif (R_2). Panjang rantai hidrokarbon (R_1) merupakan kunci penting dari sifat inhibisi senyawa imidazolin. Inhibitor garam imidazolin umumnya digunakan untuk meminimalkan laju korosi pada aplikasi migas khususnya pada lingkungan CO_2 . Pada pipa penyalur suatu industri minyak bumi, penyaluran minyak bermula dari stasiun pengumpul lokal menuju stasiun pengumpul utama dan dilanjutkan ke *refinery*. Gas CO_2 dipisahkan melalui unit *high pressure gas separator*, *medium pressure gas separator* serta *low pressure gas separator* dan pihak industri menambahkan inhibitor komersial berbasis garam imidazolin untuk mengontrol korosi internal. Tetapi pada kenyataannya hal tersebut justru memperparah kondisi korosi dengan ditemukannya banyak titik kebocoran. Oleh karena itu, tujuan dari penulisan ini adalah menginvestigasi dan menganalisis kinerja dan karakteristik inhibitor komersial berbasis garam imidazolin dengan mensimulasikan kondisi pipa penyalur minyak bumi suatu industri minyak bumi di Indonesia dimana persentase *brine water* dan minyak mentah adalah 70% dan 30%.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

A. Persiapan dan Karakterisasi Spesimen Uji

Spesimen uji baja dipotong dengan dimensi 1 cm x 1 cm x 0,2 cm. Selanjutnya disambungkan dengan sebuah kabel melalui proses solder dan dimasukkan ke dalam cetakan resin yang telah dicampur dengan senyawa *hardener* untuk *dimounting*. Setelah proses

pengeringan selama 24 jam, dilakukan proses pengamplasan dengan mesin hingga grit 600. Sebagai catatan bahwa waktu tunggu proses pengamplasan hingga pengujian korosi maksimal 15 menit, dikarenakan permukaan baja mudah teroksidasi di udara terbuka. Disisi lain, spesimen uji baja yang sama juga dipotong dengan dimensi 2 cm x 3 cm untuk dilakukan uji komposisi unsur dengan menggunakan *Arc/spark optical emission spectrometry*.

B. Persiapan dan Karakterisasi Larutan Uji

Larutan uji berasal dari fluida pipa penyalur minyak mentah berupa *brine water* dari stasiun pengumpul lokal ke stasiun pengumpul utama untuk disalurkan ke *refinery*, dimana presentase *brine water* dan minyak mentah adalah 70% dan 30%. Penambahan inhibitor komersial berbasis garam imidazolin ditambahkan dengan variasi 3, 5, 10, 20, 30 dan 40 ppm untuk pengujian tafel dan 3, 5, 10 dan 20 ppm untuk pengujian EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*). Karakterisasi menggunakan FTIR (*fourier transform infrared spectroscopy*) dilakukan pada inhibitor garam imidazolin untuk mengkonfirmasi struktur senyawa yang ada di dalamnya. *Brine water* atau dinamakan air formasi berkadar garam sangat tinggi berasal dari sumur minyak dimana sampel *brine water* diambil dari pipa penyalur minyak mentah. Analisa ion-ion yang terkandung di dalam *brine water* menggunakan acuan dari standar uji migas *The American Petroleum Institute (API) RP 45*.

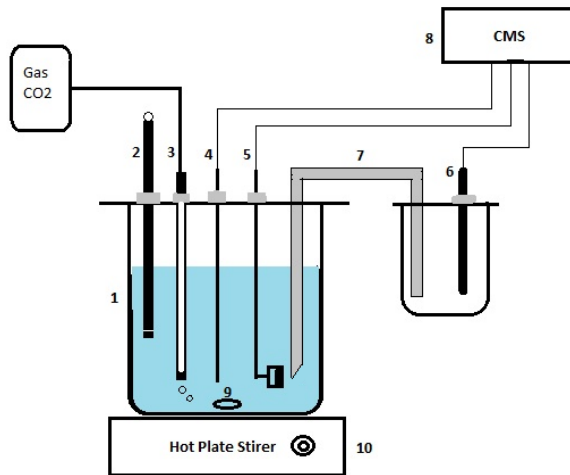
C. Pengujian Korosi

Pengujian korosi dalam tulisan ini dibagi dua metode antara lain metode polarisasi Tafel dan metode EIS. Deskripsi dua metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Metode Tafel^[6]

Metode ini digunakan untuk mendapatkan estimasi akurat nilai laju korosi pipa baja di dalam larutan uji. Rentang nilai potensial yang dilakukan antara -200 mV dan +200 mV terhadap potensial korosi bebas. Kondisi lingkungan uji menggunakan gas CO_2 jenuh dengan suhu 65 °C. Kecepatan larutan ditetapkan sekitar 250 rpm dimana dikondisikan laju alir di pipa penyalur minyak mentah sekitar 1,13 m/det. Metode Tafel merupakan teknik polarisasi dimana tiga elektroda diletakan di dalam suatu sel gelas uji. Elektroda-elektroda tersebut antara lain elektroda kerja, elektroda pembantu berbentuk logam platina dan elektroda acuan calomel jenuh (SCE). Larutan uji di dalam sel gelas uji

dialirkan gas CO₂ hingga jenuh, ditahan selama 1 jam. Lebih jauh lagi, metode Tafel sesuai acuan standar ASTM G5-94^[6] dengan alat GAMRY DC105. Data-data yang dihasilkan antara lain nilai potensial korosi, arus korosi dan laju korosi. Skema uji ditampilkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengujian korosi dengan CMS

Keterangan

- 1 = Gelas Uji
- 2 = Termometer
- 3 = Gas CO₂
- 4 = Counter Electrode, Platina
- 5 = Working Electrode, benda uji
- 6 = Reference Electrode, Ag/AgCl
- 7 = Jembatan Garam
- 8 = CMS
- 9 = Magnetic Stirrer
- 10 = Hot Plate Stirrer

2. Metode EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)

Metode ini bertujuan untuk mengkarakterisasi antarmuka antara logam pipa baja dan larutan uji, dimana eksperimen ini menggunakan sebuah potensiostat. Data yang dihasilkan adalah tahanan polarisasi dari sistem yang terkorosi. Metode ini mengacu pada standar ASTM G106^[7]. Rentang frekuensi yang digunakan antara 1 Hz hingga 300 MHz. Larutan uji dialiri gas CO₂ selama 1 jam kemudian dilakukan eksperimen EIS.

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Karakterisasi Sampel Uji

Komposisi baja hasil pengujian OES ditunjukkan pada Tabel 1. Unsur-unsur tersebut mengidentifikasi baja yang digunakan termasuk baja API 5L grade B. Pipa jenis ini digunakan secara umum untuk sistem pipa penyalur untuk industri minyak dan gas bumi,

dimana material yang bisa dialirkan antara lain gas, air dan minyak.

Tabel 1. Komposisi unsur-unsur di dalam sampel uji

Elemen	Kadar (%berat)
C	0,0579
Mn	0,760
P	0,006
S	0,000
Si	0,139
V	0,002
Nb	0,016
Ti	0,002
Lain-lain	0,107
Fe	98,910

Komposisi air formasi (*brine water*) di lapangan migas menurut metode API RP 45 ditunjukkan pada Tabel 2. Keberadaan anion CO₃⁻ dan HCO₃⁻ merupakan hasil dari reaksi antara air formasi dan gas CO₂. Anion-anion tersebut terbentuk saat berada di *tubing oil well* atau di pipa penyalur antara *oil well* dan stasiun pengumpul lokal. Reaksi kimia antara gas CO₂ dan air formasi telah dipaparkan oleh El-Lateef^[8]. Keberadaan anion Cl⁻ di atas level 12000 mg/L merupakan ciri khas dari *brine water* berkadar garam tinggi, dimana Osokogwu dkk^[9] menjelaskan bahwa kadar sodium klorida dalam *brine water* hingga 144810 mg/L.

Tabel 2. Komposisi air formasi (*brine water*) lapangan dengan metode API RP 45

Ion-ion	Kadar (mg/L)
CO ₃ ⁻	0,00
HCO ₃ ⁻	912,02
OH ⁻	0
SO ₄ ⁻	7374,08
Cl ⁻	12874,8

B. Karakterisasi Inhibitor Komersial Berbasis Garam Imidazolin

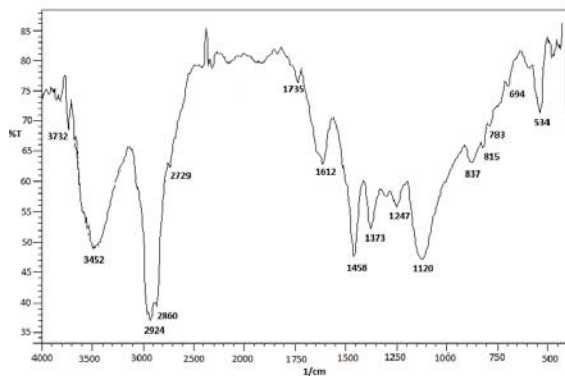
Hasil analisis FTIR (Gambar 2) terhadap inhibitor berbasis garam imidazolin menunjukkan bahwa gugus N-H pada imidazolin merupakan amina sekunder sehingga hanya memberikan satu puncak yang muncul pada daerah bilangan gelombang 3452 cm⁻¹ yang berasal dari N-H *stretching*. Gugus C-N dari imidazolin merupakan amina tersier sehingga tidak memberikan puncak pada daerah 3500 cm⁻¹, tetapi diindikasikan puncak di bilangan gelombang 1120 cm⁻¹ berasal dari C-N *stretching*. Bilangan gelombang 1612 cm⁻¹ merupakan puncak dari gugus C=C *stretching*, sedangkan =C-H *stretching* dimungkinkan muncul pada daerah

$>3000\text{ cm}^{-1}$ dan dimungkinkan overlap dengan puncak dari gugus N-H.

Senyawa imidazolin ini tidak murni, tetapi ada campuran berupa senyawa *alkil quaternary*, metanol dan *mercaptoethyl alcohol*, sehingga puncak pada daerah 2924 cm^{-1} yang serapannya cukup kuat dimungkinkan berasal dari gugus alkil dari senyawa campuran ini.

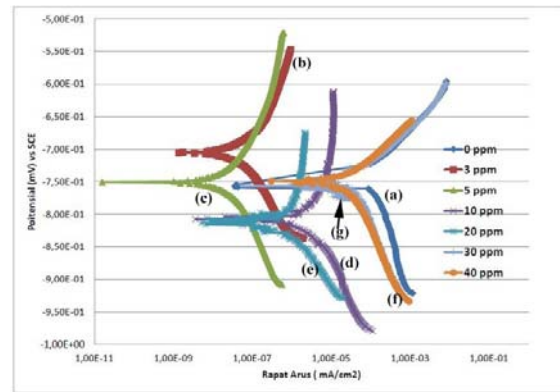
C. Hubungan Penambahan Inhibitor terhadap Perfoma Ketahanan Korosi Pipa Baja

Gambar 3 memperlihatkan kurva polarisasi Baja API 5L grade B dalam larutan *brine water* yang dialiri gas CO_2 jenuh bersuhu $65\text{ }^\circ\text{C}$ melalui variasi inhibitor 3 ppm hingga 40 ppm. Penambahan inhibitor berbasis garam imidazolin menurunkan rapat arus anodik dan katodik, dimana aktivitas reaksi anodik dan katodik menurun setelah penambahan inhibitor.



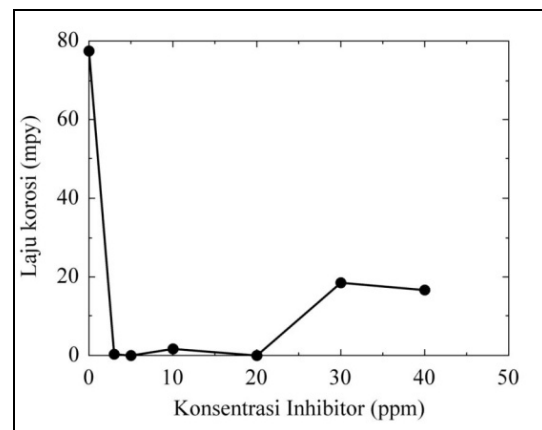
Gambar 2. Spektrum inframerah inhibitor berbasis *imidazoline salt*

Nilai potensial korosi bebas (PKB) bergerak ke arah anodik di rentang penambahan inhibitor 3-5 ppm, namun di rentang penambahan 10-20 ppm, nilai PKB bergerak ke arah katodik. Di sisi lain, nilai PKB pada 40 ppm, bergerak ke arah anodik. Khavasfar dkk^[10] menjelaskan bahwa penambahan inhibitor berbasis imidazolin sekitar 100-400 ppm dapat menurunkan rapat arus anodik dan katodik serta mengubah nilai PKB bergerak ke arah anodik. Hubungan nilai laju korosi sebagai fungsi dari variasi konsentrasi inhibitor (3, 5, 10, 20, 40 ppm) di larutan *brine water* bersuhu $65\text{ }^\circ\text{C}$ ditunjukkan pada Gambar 4. Penambahan inhibitor komersial berbasis garam imidazolin menurun secara signifikan dari nilai 77,46 mpy tanpa inhibitor hingga 0,371 mpy dengan penambahan inhibitor 20 ppm.



Gambar 3. Kurva polarisasi baja API 5L di lingkungan *brine water*, gas CO_2 jenuh bersuhu $65\text{ }^\circ\text{C}$, variasi konsentrasi inhibitor: (a) 0 ppm; (b) 3 ppm; (c) 5 ppm; (d) 10 ppm; (e) 20 ppm; (f) 30 ppm; (g) 40 ppm

Pada variasi penambahan inhibitor 30 dan 40 ppm terlihat bahwa nilai laju korosi meningkat walaupun nilai tersebut masih di bawah nilai laju korosi tanpa inhibitor. Hasil pengujian laju korosi ditampilkan dalam Tabel 3. Roberge^[11] menjelaskan pada umumnya inhibitor berbasis imidazolin efektif menurunkan nilai laju korosi pada rentang 10-25 ppm, tetapi tidak memberikan detail kondisi lapangan migas melalui data parameter temperatur operasional, tekanan parsial CO_2 , pH, laju alir, dan sebagainya.



Gambar 4. Hubungan laju korosi sebagai fungsi dari variasi konsentrasi inhibitor (3, 5, 10, 20, 30, 40) ppm dalam larutan *brine water* bersuhu $65\text{ }^\circ\text{C}$

Secara umum perfoma kerja inhibisi suatu senyawa inhibitor harus terukur dengan menggunakan berbagai sumber data-data yang ada, diantaranya melalui data kehilangan berat^[12] dan data polarisasi^[13].

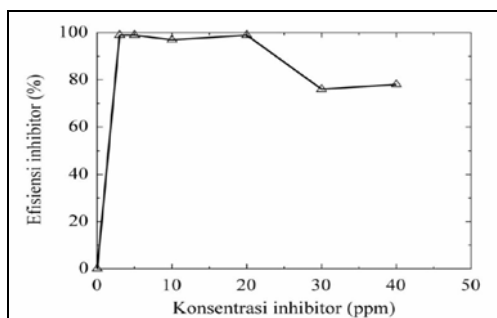
Tabel 3. Hasil pengujian laju korosi *brine water* + inhibitor, dan *brine water* + inhibitor + bubling gas CO₂

Konsentrasi Inhibitor (ppm)	<i>Brine Water</i> tanpa Bubling gas CO ₂		<i>Brine Water</i> dengan Bubling gas CO ₂		
	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Laju Korosi (mpy)	Efisiensi Inhibitor (%)
0	44,52	0,0	0	77,46	0,0
3	34,545	22,40	3	0,34	99,56
5	33,02	25,83	5	0,0165	99,98
10	71,05	-	10	1,7025	97,80
20	57,95	-	20	0,406	99,48
30	62,43	-	30	18,52	76,09
40	109,3	-	40	16,68	78,47

Dalam penelitian ini penulis menggunakan sumber data polarisasi yang berasal dari metode Tafel. Data tersebut digunakan untuk mengukur nilai efisiensi inhibitor (η) dengan persamaan:

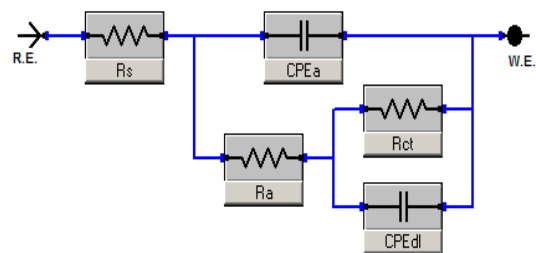
$$\eta(\%) = \frac{(C_{Ro} - C_{Ri})}{C_{Ro}} \times 100 \quad (1)$$

dimana C_{Ro} dan C_{Ri} adalah nilai laju korosi tanpa dan dengan penambahan inhibitor. Gambar 5 memperlihatkan hubungan nilai efisiensi inhibitor sebagai fungsi dari variasi konsentrasi inhibitor (3, 5, 10, 20, 40 ppm) dalam larutan *brine water* bersuhu 65 °C. Peningkatan efisiensi inhibitor sangat tinggi hingga 95% hanya dengan penambahan 3 ppm hingga 30 ppm dari total larutan uji hingga 20 ppm, namun turun pada 30 - 40 ppm hingga 76%.



Gambar 5. Hubungan efisiensi inhibitor sebagai fungsi dari variasi konsentrasi inhibitor (3, 5, 10, 20, 40 ppm) dalam larutan *brine water* bersuhu 65 °C

Gambar 6 memperlihatkan model impedansi yang disarankan oleh penulis untuk menyelaraskan data eksperimen EIS, seperti yang diusulkan oleh Du et al^[14] dan Zhang et al^[15] terkait model impedansi ketika terdapat penambahan inhibitor. Pada umumnya, EIS merupakan suatu metode interpretasi yang dibutuhkan pada data-data empiris yang didekatkan dengan model impedansi.



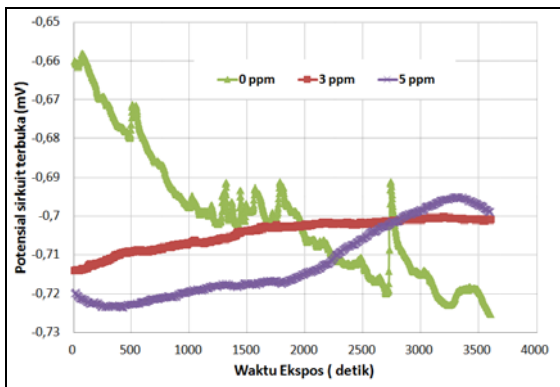
Gambar 6. Model impedansi untuk menyelaraskan data eksperimen EIS dalam penelitian ini

Unsur-unsur elektronik dan notasi untuk sirkuit model tersebut antara lain :

- R_s adalah nilai tahanan larutan uji
 - R_a adalah nilai tahanan lapisan molekul-molekul yang teradsorpsi di permukaan baja
 - CPE_a adalah konstanta elemen fasa dimana digunakan untuk menghitung sifat kapasitansi tidak ideal suatu antarmuka relatif dengan nilai kapasitansi lapisan.
- Lebih jauh lagi, unsur-unsur pada model sifat permukaan baja antara lain :
- R_{ct} merupakan tahanan transfer suatu muatan
 - CPE_{dl} merupakan nilai kapasitansi lapisan rangkap elektronik.

Melalui lima unsur-unsur elektronik di atas, model didekatkan dengan hasil eksperimen EIS. Pada pengujian EIS, nilai potensial korosi bebas diukur untuk melihat aktivitas kinerja inhibitor saat ditambahkan selama satu jam. Gambar 7 menunjukkan kurva hubungan nilai potensial korosi bebas melalui fungsi waktu ekspos tanpa dan dengan inhibitor dalam larutan uji di lingkungan gas CO₂ jenuh bersuhu 65 °C. Nilai potensial sirkuit terbuka atau potensial korosi bebas tanpa penambahan inhibitor cenderung bergerak ke arah negatif atau mengindikasikan bahwa baja aktif terkorosi. Lonjakan puncak-puncak nilai potensial terjadi diindikasikan

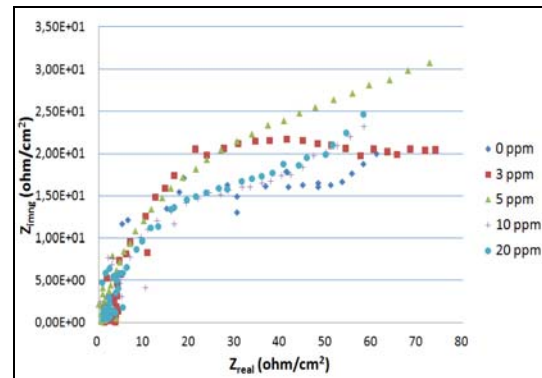
proses pasivasi dan de-pasivasi secara kontinyu, walaupun terus bergerak aktif. Disisi lain, penambahan inhibitor 3 ppm dan 5 ppm memberikan dampak nilai potensial korosi bebas bergerak menuju arah positif, dimana indikasi proses pasivasi terjadi. Pada penambahan inhibitor sekitar 3 ppm dan 5 ppm, tidak terdapat lonjakan puncak-puncak dikarenakan lapisan stabil di permukaan baja dimungkinkan terjadi.



Gambar 7. Kurva hubungan nilai potensial korosi bebas melalui fungsi waktu ekspos tanpa dan dengan inhibitor dalam larutan uji di lingkungan gas CO₂ jenuh bersuhu 65 °C

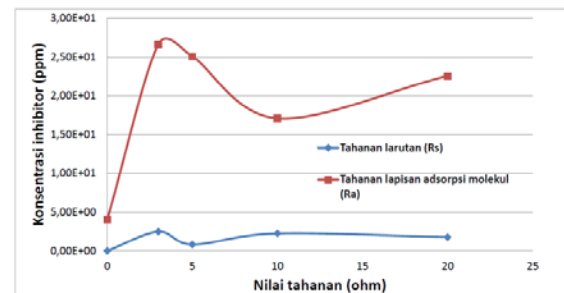
Gambar 8 memperlihatkan diagram Nyquist dalam larutan uji yang mengandung gas CO₂ jenuh, dengan dan tanpa penambahan variasi konsentrasi inhibitor (3, 5, 10, 20 ppm) bersuhu 65 °C. Pada diagram Nyquist, komponen riil (Z_{real}) dan imajiner pada nilai kompleks impedansi Z diplot sebagai lingkaran semi (lingkaran kapasitansi) dimana keberadaan kinerja inhibitor ditandai dengan diameter yang lebih besar dibandingkan tanpa inhibitor^[1]. Interpretasi yang diusulkan oleh Alvaroz-Manzo dkk^[1], sama dengan kinerja inhibitor berbasis garam imidazolin.

Pada penelitian ini, penambahan inhibitor meningkatkan diameter semi lingkaran semakin besar hingga 20 ppm dibandingkan tanpa inhibitor. Secara umum, ini dapat dijelaskan bahwa jumlah elektron-elektron atau ion-ion mengalir melalui antar muka sangat kecil, dimana tingkat nilai impedansi yang besar menimbulkan penurunan aktivitas antarmuka, sehingga laju korosi semakin turun^[16]. Gambar 9 memperlihatkan kurva hubungan konsentrasi inhibitor dengan fungsi nilai tahanan larutan dan tahanan lapisan adsorpsi molekul inhibitor dalam lingkungan gas CO₂ jenuh bersuhu 65 °C.



Gambar 8. Diagram Nyquist dalam larutan uji yang mengandung gas CO₂ jenuh, tanpa dan dengan variasi konsentrasi inhibitor (3, 5, 10, 20) ppm bersuhu 65 °C

Penambahan inhibitor imidazolin meningkatkan nilai tahanan larutan dari 5,36 x 10⁻⁶ ohm (0 ppm) hingga 2,492 ohm (3 ppm) dan mengalami penurunan sekitar 1,77 ohm (20 ppm). Di sisi lain, nilai tahanan lapisan adsorpsi molekul dengan penambahan inhibitor meningkat dibandingkan kondisi tanpa inhibitor. Indikasi keberadaan molekul inhibitor berbasis imidazolin teradsorpsi dapat menurunkan aktifitas reaksi elektrokimia di permukaan baja dengan bukti penurunan laju korosi, peningkatan efisiensi inhibitor, pergeseran nilai potensial korosi bebas ke arah positif dan peningkatan tahanan lapisan adsorpsi.

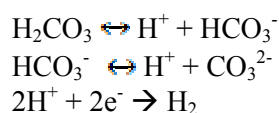


Gambar 9. Kurva hubungan konsentrasi inhibitor dengan fungsi nilai tahanan larutan dan tahanan lapisan adsorpsi molekul inhibitor dalam lingkungan gas CO₂ jenuh bersuhu 65 °C

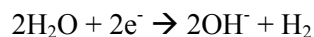
D. Mekanisme Kerja Inhibitor Berbasis Imidazolin

Korosi larutan yang diakibatkan keberadaan gas CO₂ terjadi ketika terlarut di dalam air terhidrasi membentuk asam karbonik, dimana hal tersebut meningkatkan nilai laju korosi^[17]. Kondisi ini sama dengan larutan uji *brine water*, dengan nilai laju korosi yang tinggi hingga 77 mpy. Salah satu pendekatan korosi CO₂, reaksi katodik yang dominan adalah reduksi ion hidrogen, dimana ion hidrogen

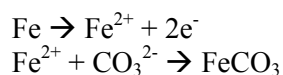
disuplai dari reaksi disosiasi asam lemah H_2CO_3 ^[18]:



dan reduksi air



selama proses anodik, tanpa penambahan inhibitor, besi akan teroksidasi dan membentuk lapisan besi karbonat.



Lapisan *scale* besi karbonat (FeCO_3) yang terbentuk di permukaan baja sebenarnya dapat meningkatkan ketahanan pada korosi^[19]. Namun El-lateef^[8] menjelaskan bahwa pada rentang temperatur antara 60-100 °C, laju korosi dikontrol oleh proses dimana lapisan FeCO_3 mengalami pelarutan kimia dan mudah menyerap. Ini berarti bahwa pada aplikasi migas, kondisi *brine water* bersuhu 65 °C dapat meningkatkan kerentanan terhadap korosi pada baja, terlepas dari parameter keberadaan H_2S , korosi mikroba, dan sebagainya.

Senyawa imidazolin yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam inhibitor korosi dengan mekanisme kerja secara adsorpsi^[20], dimana inhibitor adsorpsi mengurangi laju korosi berdasarkan polarisasi dari logam dengan membentuk lapisan tipis^[21]. Teori yang umum menjelaskan mekanisme imidazolin sebagai inhibitor menyatakan bahwa elektron bebas dari gugus amina pada sisi aktif (R_2) yang menjalankan peran sebagai molekul yang mengadsorpsi dan berikatan dengan permukaan logam. Rantai panjang hidrokarbon (R_2) merupakan gugus hidrofobik dan menjadi jembatan molekul pada permukaan sebagai barrier pada air dan produk korosi. Pada kasus adsorpsi ke permukaan logam yang mengandung orbital d tak penuh, inhibitor organik seperti imidazolin akan menjadi donor dan ion logam bertindak sebagai akseptor proton. Kekuatan adsorpsi yang terjadi tergantung pada densitas elektronik adsorpsi^[22].

Penambahan inhibitor lebih dari 20 ppm dari penelitian menunjukkan bahwa laju korosi semakin naik dan menyebabkan turunnya efisiensi inhibitor. Porcayo-CalCalderon, dkk^[23] menjelaskan adanya penambahan adsorpsi

inhibitor berlebih akan menyebabkan terjadinya energi penolakan secara elektrostatis, dimana hal ini akan menginisiasi desorpsi dari molekul inhibitor. Energi tersebut dapat menyebabkan munculnya sisi tidak terlindungi dari logam yang tentunya akan menyebabkan terjadinya korosi.

4. KESIMPULAN

Penambahan inhibitor *imidazoline salt* dapat menurunkan laju korosi, menaikkan efisiensi inhibitor dan menaikkan tahanan lapisan adsorpsi molekul. Penurunan laju korosi optimal terjadi pada rentang penambahan inhibitor antara 3 ppm hingga 20 ppm, dimana penambahan inhibitor melebihi 20 ppm dapat menaikkan laju korosi dan menurunkan efisiensi inhibitor.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI yang telah memberikan dana kegiatan Kompetensi Inti tahun 2015 sehingga penelitian ini bisa berlangsung. Penulis juga mengapresiasi kepada salah satu aplikator industri minyak bumi untuk memberikan akses lapangan dan bahan larutan uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Álvarez-Manzo, J. Mendoza-Canales, S. Castillo-Cervantes, and J. Marín-Cruz, "Studies on the Development of New Efficient Corrosion Inhibitors for Crude Oil Pipelines: Electrochemical Impedance Spectroscopy Results for 1,8-Naphthyridines," *Journal of Mexican Chemical Society*, Vol. 57(1), pp. 30-35, 2013.
- [2] L.M. Rivera-Grau, M. Casales, I. Regla, D. M. Ortega-Toledo, J.G. Gonzalez-Rodriguez, L. Martinez Gomez, "CO2 Corrosion Inhibition by Imidazoline Derivatives Based on Coconut Oil," *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 7, pp. 13044-13057, 2012.
- [3] X.Jiang, Y.G.Zheng, D.R.Qu and W.Ke, "Effect of calcium ions on pitting corrosion and inhibition performance in CO₂ corrosion of N80 steel," *Corrosion Science* 48(10): 3091-3108, 2006.
- [4] T.Hong, Y.H.Sun and W.P. Jepson, "Study on corrosion inhibitor in large pipelines under multiphase flow using EIS," *Corrosion Science*, Vol. 44(1), pp. 101-112, 2002.

- [5] F.Bentiss, M. Lagrenee, M.Traisnel and J.C. Hornez, "The corrosion inhibition of mild steel in acidic media by a new triazole derivative," *Corrosion Science.*, Vol. 41(4), pp. 789-803, 1999.
- [6] ASTM G5-94, "Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement", 2011.
- [7] ASTM G106 – 89, "Standard Practice for Verification of Algorithm and Equipment for Electrochemical Impedance Measurements", 2015
- [8] H.M. Abd El-Lateef, V.M. Abbasov, L.I. Aliyeva and T.A. Ismayilov, "Corrosion Protection of Steel Pipelines Against CO2 Corrosion-A Review," *Chemistry Journal.*, Vol. 2(2), pp. 52-63, 2012.
- [9] Osokogwu, U., Oghenekaro .E, "Evaluation of Corrosion Inhibitors Effectiveness in Oilfield Production Operations," *International Journal of Scientific & Technology Research.*, Vol. 1(4), pp. 19-23, 2012.
- [10] A.Khavasfar, M. H.Moayed and A.H. Jafari, "An Investigation on the Performance of an Imidazoline Based Commercial Corrosion Inhibitor on CO2 Corrosion of Mild Steel," *IJE Transactions A:Basic.*, Vol. 20(1), pp 35-44, 2007.
- [11] P.R. Roberge, "Handbook of Corrosion Engineering," New York: McGraw-Hill, pp.835, 1999.
- [12] T. Sethi, A. Chaturvedi, R.K. Upadhyay and S.P. Mathur, "Corrosion Inhibitory Effects of Some Schiff's Bases on Mild Steel in Acid Media," *Journal of the Chilean Chemical Society.*, Vol. 52(3), pp. 1206-1213, 2007.
- [13] S. Mohammadi, F.B. Ravari, and A. Dadgarinezhad, "Improvement in Corrosion Inhibition Efficiency of Molybdate-Based Inhibitors via Addition of Nitroethane and Zinc in Stimulated Cooling Water," *ISRN Corrosion.*, Article ID 515326, 2012.
- [14] Wang, B. , Du, M, "Electrochemical and surface analysis studies on corrosion inhibition of Q235 steel by imidazoline derivative against CO2 corrosion," *Corrosion Science.*, Vol. 53, pp. 353–361, 2011.
- [15] Zhang, J., Gong, X.L., Yu, H.H., Du, M, "The inhibition mechanism of imidazoline phosphate inhibitor for Q235 steel in hydrochloric acid medium," *Corrosion Science.*, Vol. 53, pp. 3324–3330, 2011.
- [16] P. C. Lin, I. W Sun, J.K Chang, C.J Su, Jing-C. Lin, "Corrosion characteristics of nickel, copper, and stainless steel in a Lewis neutral chloroaluminate ionic liquid," *Corrosion Science.*, Vol. 53(12): pp. 4318-4323, 2011.
- [17] S. Nestic, B.F.M.Pots, J. Postlethwaite and N.Thevenot, "Superposition of Diffusion and Chemical Reaction Controlled Limiting Currents- Application to CO2 Application," Technical report., Institute for Energy Technology, pp. 1-9.
- [18] Teresa E. Perez, "Corrosion in the Oil and Gas Industry: An Increasing Challenge for Materials," *JOM.*, Vol. 65, 2013.
- [19] A. J. Szyprowski, 2003, "Methods of Investigation on Hydrogen Sulfide Corrosion of Steel and Its Inhibitors," *Corrosion.*, Vol. 59(1), pp. 68-81, 2013.
- [20] Anbarasi, M., Rajendran, M., Pandiarajan, M., dan Krishnaveni, A, "An Encounter with Corrosion Inhibitors," *Eur. Chem. Bull.*, Vol. 2(4), pp. 197-207, 2013.
- [21] Fei, F., Hu, J., Wei, J., Yu, Q., Chen, Z, "Corrosion performance of steel reinforcement in simulated concrete pore solutions in the presence of imidazoline quaternary ammonium salt corrosion inhibitor," *Construction and Building Materials.*, Vol. 70, pp. 43–53, 2014.
- [22] Topilnitskij, P, "Corrosion Protection of Oil Production and Refinery Equipment," *Chemistry and Chemical Tech.*, Vol. 1(1), pp. 45-54, 2007.
- [23] Porcayo-Calderon, J., Regla, I., Vazquez-Velez, E., Martinez de la Escalera, L.M., Canto, J., and Casales-Diaz, M, "Effect of the Saturation of the Hydrocarbon Chain of Fatty-Amides on the CO2 Corrosion of Carbon Steel Using EIS and Real Time Corrosion Measurement," *Journal of Spectroscopy.*, Vol. 1-13, 2015.