

## PENGUKURAN KINERJA INHIBITOR KOROSI MENGUNAKAN METODE ELEKTROKIMIA

### *(Measurement of Corrosion Inhibitor Performance using Electrochemical Methode)*

Nofrizal dan Keffi Tasliyana

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

E-mail: [nofrizalsy@yahoo.com](mailto:nofrizalsy@yahoo.com); [tasliyana@gmail.com](mailto:tasliyana@gmail.com)

Teregistrasi I tanggal 25 Juni 2019; Diterima setelah perbaikan tanggal 19 Juli 2019;  
Disetujui terbit tanggal: 30 Agustus 2019

#### ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dari dua jenis inhibitor, yaitu inhibitor A (*Glycol base*) dan inhibitor B (*Amine base*) yang digunakan untuk menurunkan reaksi korosi dalam media larutan air garam (*brine water*) yang dijenuhkan dengan  $\text{CO}_2$ . Kinerja dari kedua jenis inhibitor ini diukur menggunakan metode elektrokimia, pemindaian mikroskop elektron (SEM) dan difraksi sinar X. Efisiensi inhibitor dihitung dari kepadatan arus korosi, ketahanan arus ( $I_{\text{corr}}$ ), dan polarisasi ( $R_p$ ). Hasil dari metode elektrokimia menunjukkan bahwa efisiensi inhibitor meningkat dengan meningkatnya konsentrasi. Kedua inhibitor bertindak sebagai inhibitor yang baik pada konsentrasi 250 ppm dengan efisiensi optimum sebesar 89 % (inhibitor A) dan 96 % (inhibitor B). Hasil dari *Scanning Electron Microscopy* (SEM) terhadap permukaan baja karbon menunjukkan transformasi morfologi baja karbon menjadi lebih baik setelah penambahan inhibitor. Perilaku adsorpsi inhibitor pada permukaan baja adalah bersifat kimia dan mematuhi hukum penyerapan isothermal *Langmuir*.

**Kata Kunci:** Korosi dan oksidasi, logam dan paduan, inhibitor korosi, penyerapan isothermal langmuir.

#### ABSTRACT

The objective of this study obtain is to observe the inhibition performance of two inhibitors, A (*Glycol base*) dan B (*Amine base*) in brine solution saturated with  $\text{CO}_2$  using electrochemical methodology, scanning electron microscope (SEM) and x-ray diffraction methods. The inhibition efficiency of inhibitors was calculated from the corrosion current density ( $I_{\text{corr}}$ ), and polarisation resistance ( $R_p$ ). The results of the electrochemical method show that the efficiency of inhibitors increases with increasing the concentration. Both inhibitors act as good inhibitors at concentration 250 ppm with optimum efficiency of 89% (inhibitor A) and 96% (inhibitor B). Surface morphology of carbon steel revealed a transformation of morphology of the carbon steel after the addition of the inhibitors. The adsorption behaviour of the inhibitors follow the Langmuir adsorption isotherm on the steel surface (chemisorption).

**Keywords:** Corrosion and oxidation, metals and alloys, corrosion inhibitor, langmuir adsorption isotherm

#### I. PENDAHULUAN

Korosi adalah masalah krusial yang memberikan pengaruh negatif terhadap lingkungan dan industri di seluruh dunia. Baja, yang biasa digunakan untuk merancang infrastruktur atau fasilitas proses di

banyak industri dapat mengalami berbagai jenis korosi (Tanupabrungsun, et al., 2015).

Telah ditemukan bahwa 15% dari total kerugian pertahun yang terjadi sebagai akibat kegagalan material di industri migas yang disebabkan oleh

reaksi korosi (Davis, 2011). Secara umum, efek serangan korosi secara langsung mempengaruhi sektor ekonomi, teknologi, keselamatan dan lingkungan. Di Inggris, studi terbaru menemukan bahwa kerugian finansial keseluruhan per tahun akibat korosi logam mencapai sekitar 4,5% dari produk nasional bruto (PDB). Di Amerika Serikat, Federal Highway Administration (FHWA) merilis laporan tentang biaya korosi pada tahun 2000, yang menyatakan bahwa, di beberapa sektor, kerugian yang ditimbulkan akibat korosi sekitar \$ 257 miliar / tahun, yaitu sekitar 3,5% dari PDB mereka (Abduh, 2008).

Korosi yang terjadi dalam proses produksi minyak dan gas cenderung terjadi karena adanya senyawa CO<sub>2</sub>. Di fasilitas minyak dan gas, korosi karena karbon dioksida terlarut adalah salah satu faktor utama terkait dengan rusaknya fasilitas produksi dan proses (Barker, et al., 2013; Tanupabrungsum, et al. 2015; Hua, et al. 2015; Burkle, et al., 2016). Keberadaan karbon dioksida dalam produksi minyak & gas disebabkan oleh produksi gas CO<sub>2</sub> dari reservoir gas selama eksplorasi atau karena injeksi CO<sub>2</sub> ke dalam reservoir dengan sengaja untuk *Enhanced Oil Recovery* (EOR) (Lahiri, 2017). Karbon dioksida adalah gas kering dan agen non-korosif dalam fasilitas produksi minyak bumi. Namun, ketika dilarutkan dalam fase air, itu akan membuat reaksi spontan, menghasilkan ion karbon (asam lemah) yang dapat memulai reaksi korosi antara permukaan baja dan larutan air garam korosif (Owen, et al., 2018; Jiang, et al., 2017).

Pada umumnya, serangan korosi terjadi di dalam jaringan pipa dan peralatan penanganan fluida yang digunakan di sektor minyak dan gas, terutama terjadi pada fasilitas produksi yang mempunyai kekuatan formasi rendah seperti pipa-pipa yang digunakan didalam sumur-sumur minyak pada saat pengeboran (Hutching & Shipway, 2017).

Untuk pipa transportasi minyak dan gas, pencegahan korosi internal dapat dilakukan dengan menambahkan inhibitor kimia ke dalam sistem produksi. Cara ini telah terbukti efektif dalam mengurangi korosi secara signifikan. Molekul inhibitor akan membentuk lapisan film aktif di wilayah sepanjang dinding pipa sehingga dapat mengurangi interaksi langsung antara fluida dengan pipa sehingga reaksi korosi dapat diminimalkan.

Inhibitor korosi dapat dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor dari senyawa organik dan dari senyawa anorganik. Inhibitor organik pada umumnya berasal dari ekstrak bahan alami yang mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang mempunyai pasangan

elektron bebas sedangkan inhibitor anorganik yang saat ini biasa digunakan adalah sodium nitrit, kromat, fosfat, dan garam seng (Javaherdahti, et al., 2013).

Beberapa penelitian telah ditemukan bahwa penghambatan laju korosi CO<sub>2</sub> dengan inhibitor organik telah berhasil mengurangi degradasi material dalam lingkungan korosif untuk karbon baja (Sanni, et al., 2019).

Penggunaan inhibitor kimia tunggal seperti amina, senyawa imidazolin, glicol dan surfaktan organik berbasis nitrogen untuk melindungi karbon baja di berbagai fasilitas industri minyak dan gas masih cenderung menjadi pilihan untuk mengendalikan serangan korosi, dibandingkan dengan mengganti material baja dengan paduan material baja stainless duplex yang tahan terhadap serangan korosi karena membutuhkan biaya yang sangat tinggi (Hua, et al., 2020).

Akan tetapi jenis inhibitor organik ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya pada kondisi konsentrasi yang tidak tepat, inhibitor dapat menginisiasi reaksi korosi atau pada konsentrasi yang berlebihan akan menyebabkan koagulasi sehingga selain dapat mempercepat reaksi korosi jenis inhibitor ini akan mempengaruhi kualitas dari produk minyak dan gas bumi (Azhar, et al., 2002).

Saat ini telah dikembangkan berbagai jenis inhibitor sintetik organik. Inhibitor ini dibuat dengan menggabungkan beberapa inhibitor tunggal menjadi senyawa kompleks dengan berat molekul yang besar sehingga diharapkan memiliki kemampuan proteksi yang lebih baik dibandingkan dengan inhibitor tunggal yang sudah digunakan dalam industri perminyakan sebelumnya sehingga kajian lebih lanjut untuk mengetahui performa dari jenis inhibitor ini sebelum diaplikasikan di lapangan minyak dan gas bumi perlu dilakukan (Nugroho, 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja dari dua jenis inhibitor organik sintetik yang merupakan gabungan dari dua atau lebih campuran senyawa aktif yang terdiri dari inhibitor A yang dibuat dari Glycol sebagai senyawa utama dengan nama PEGME (Polyethylene Glycol Methyl Ether) dan inhibitor B yang dibuat dari senyawa Amina sebagai senyawa utama dengan nama HBTT (Hydroxy-Benzylidene-amino-Thioxo-Thiazolidin).

Kedua jenis inhibitor ini adalah inhibitor jenis baru akan digunakan dalam kegiatan produksi minyak dan gas bumi. Sehingga penelitian skala laboratorium diperlukan sebelum inhibitor ini diaplikasikan di lapangan minyak dan gas bumi.

Penentuan laju dan karakteristik korosi suatu logam atau sistem dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satu di antaranya adalah metode elektrokimia (polarisasi). Kelebihan dari metode ini di antaranya adalah waktu yang diperlukan relatif singkat dibandingkan dengan metode lainnya seperti kehilangan berat. Di samping itu metode ini dapat digunakan untuk menganalisis perilaku korosi suatu logam (Rahim, 2005).

Metode polarisasi didasarkan pada reaksi elektrokimia dengan mengukur hubungan antara arus dan potensial yang terjadi dari suatu reaksi reduksi oksidasi yang akan menentukan karakteristik kurva polarisasinya. Salah satu metode yang sering digunakan adalah Ekstrapolasi Tafel (*Tafel Extrapolation*) (Nofrizal, et al., 2012; Tsoeunyane, et al., 2018).

Konsep dasar pengukuran laju korosi dengan metode Ekstrapolasi Tafel adalah teori potensial gabungan (*mix potential*). Metode ini digunakan untuk memperoleh suatu estimasi dari laju korosi logam dalam larutan secara akurat. Tafel plot diperoleh dengan mempolarisasi benda uji 300 mV ke arah anodik dan katodik dari potensial korosi,  $E_{\text{corr}}$  dengan laju scan potensial 0,1-1,0 mV/detik. Arus yang diperoleh diplot pada skala semilogaritma dan arus korosi,  $i_{\text{corr}}$  diperoleh dari Tafel plot tersebut dengan cara ekstrapolasi bagian yang linier dari kurva terhadap  $E_{\text{corr}}$ .

Studi ini adalah untuk mempelajari performa dari inhibitor korosi dengan menggunakan metode elektrokimia pada lingkungan air garam (*brine*) yang dijenuhkan dengan  $\text{CO}_2$ . Inhibitor di analisa dalam sebuah container yang berisi larutan air garam (*brine*) dan  $\text{CO}_2$  dengan kondisi percobaan hampir mendekati suhu ruang (1 atm). Penilaian perilaku korosi telah dipelajari menggunakan EIS, pengukuran polarisasi potensiodinamik dan morfologi permukaan baja ringan yang dihambat dianalisis dengan pemindaian mikroskop elektron yang dilengkapi dengan spektroskopi sinar-X dispersif energi (SEM-EDX).

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Preparasi Inhibitor

Dua jenis inhibitor yang digunakan adalah inhibitor A dan B. Inhibitor tersebut merupakan campuran senyawa organik dengan komposisi kimia tertentu. Larutan inhibitor dibuat dengan variasi konsentrasi dengan range 0-250 ppm. Variasi konsentrasi bertujuan untuk menentukan konsentrasi optimal yang dapat menurunkan laju korosi.

### B. Preparasi Spesimen

Benda uji berupa material logam *carbon steel* 1018. Spesimen diambil dan dipoles menggunakan berbagai kelas kertas abrasif dari 400 hingga 1200 sebelum analisis. Spesimen yang digunakan memiliki dengan area terbuka  $1\text{cm}^2$  yang terekspose dengan larutan *brine* pada saat uji elektrokimia.

### C. Preparasi Brine

Pengujian inhibitor pada lingkungan minyak dan gas bumi, digunakan larutan air garam (*brine water*) yang berasal dari lapangan minyak/gas yang dicampur dengan senyawa hidrokarbon (seperti minyak mentah atau kondensat) dengan perbandingan tertentu (sesuai dengan tujuan dan kebutuhan pengujian). Pada penelitian ini perbandingan larutan air garam (*brine water*) dengan minyak adalah 75:25.

### D. Pengukuran reaksi korosi

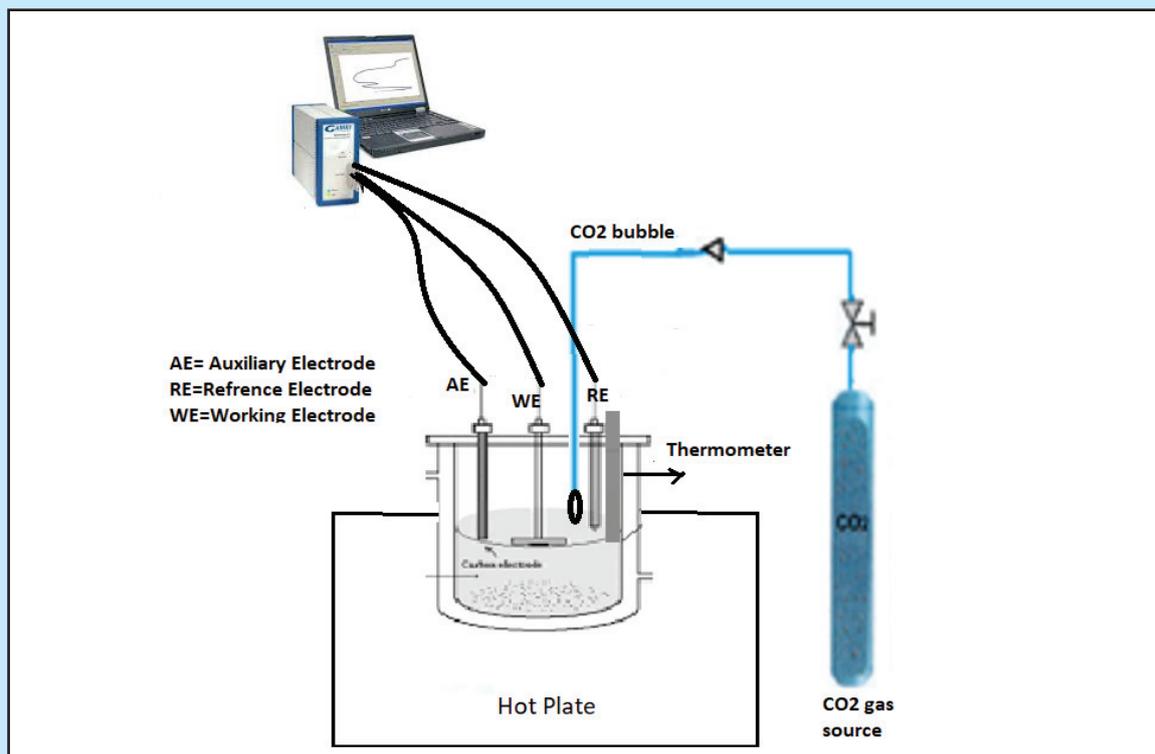
Studi elektrokimia dilakukan menggunakan *software Instrumen Gamry Reference 600* (potentiostat/galvanostat/ZRA). Metode ini merujuk pada ASTM G5-2004 dan ASTM G 59-2004. Sistem sel tiga elektroda digunakan untuk pengukuran dimana baja ringan dengan luas area  $1\text{cm}^2$  bertindak sebagai elektroda kerja (WE) sedangkan kawat platinum dan elektroda kalomel jenuh masing-masing bertindak sebagai elektroda lawan dan elektroda pembanding (SCE). Gambar 1 memperlihatkan *Gamry Reference 600* (potentiostat/galvanostat/ZRA).

Pengukuran blanko dilakukan sebelum dilakukan pengukuran dengan penambahan inhibitor dalam lingkungan *brine* yang dijenuhkan dengan  $\text{CO}_2$ . Pengukuran (analisis) secara polarisasi dan impedansi dicatat pada  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Pengukuran impedansi AC dilakukan pada potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) dengan frekuensi berkisar antara 0,1 hingga 10.000 Hz pada amplitudo 10 mV. Diagram impedansi diberikan dalam bentuk Nyquist diagram. Efisiensi penghambatan (% IE) dihitung dari nilai resistansi transfer muatan ( $R_{\text{ct}}$ ) dengan menggunakan persamaan (1) (Tsoeunyane, et al., 2018):

$$\% \text{ IE} = \left( 1 - \frac{R_{\text{ct}(o)}}{R_{\text{ct}(i)}} \right) \times 100$$

Dimana,  $R_{\text{ct}}(o)$  dan  $R_{\text{ct}}(i)$  adalah resistansi transfer muatan dari baja ringan tanpa dan dengan inhibitor, masing-masing.

Kurva potensial dicatat dengan memindai potensial elektroda dari -800 hingga -200 mV



Gambar 1  
Skema peralatan untuk pengujian laju korosi menggunakan Gamry Reference 600.

(vs SCE) dengan kecepatan pemindaian 10 mV s<sup>-1</sup>. Segmen Tafel linier dari kurva anodik dan katodik diekstrapolasi untuk potensi korosi untuk mendapatkan kepadatan arus korosi ( $I_{\text{corr}}$ ). Persamaan (2) menunjukkan perhitungan % IE dari nilai  $I_{\text{corr}}$  (Tsoeunyane, et al., 2018):

$$\% \text{ IE} = \left( 1 - \frac{I_{\text{corr}(i)}}{I_{\text{corr}(o)}} \right) \times 100$$

Di mana,  $I_{\text{corr}}(i)$  dan  $I_{\text{corr}}(o)$  adalah rapat arus korosi dari baja ringan dengan dan tanpa inhibitor.

#### E. Analisis spektroskopi FTIR

Inhibitor dianalisis dengan spektroskopi *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi kelompok gugus fungsional dari masing-masing inhibitor. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan instrumen *Perkin Elmer System 2000 Fourier Transformed Infrared* (FT IR).

#### F. Analisis mikroskop elektron (SEM)

Analisis permukaan dilakukan pada permukaan benda uji (*working electrode*) sebelum dan sesudah pengukuran elektrokimia. Setelah pengukuran elektrokimia, spesimen benda uji dikeluarkan

dari sistem, perlahan dibilas dengan air suling dan dikeringkan. Analisis dilakukan dengan menggunakan instrumen SEM LEO SUPRA 50VP.

#### G. Analisis difraksi sinar X

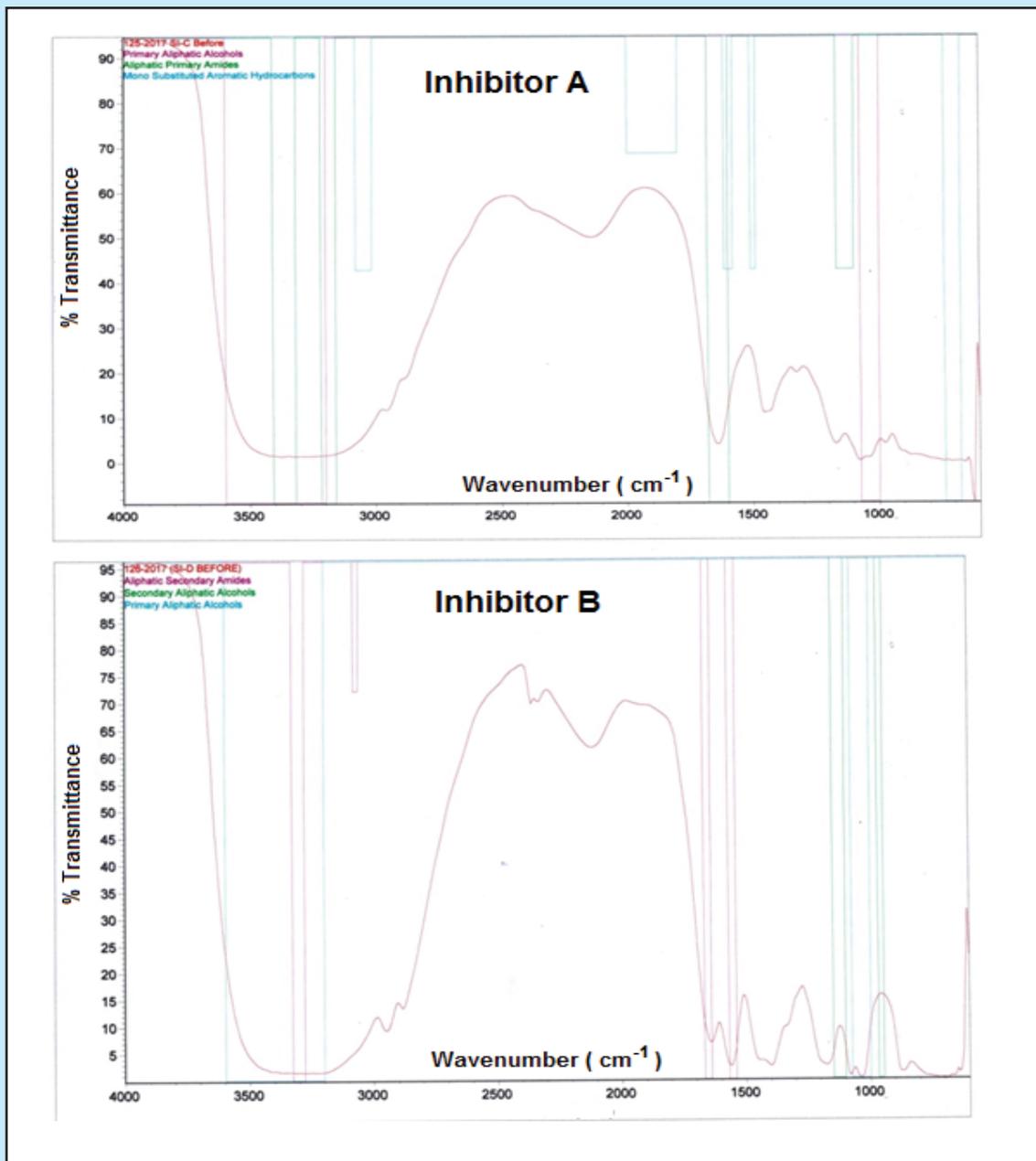
XRD adalah teknik yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi struktural dari struktur kristal dalam sampel. Data dari analisis x-ray sangat penting untuk menghubungkan permukaan produk korosi dengan komposisi kimianya. Teknik ini sangat kuat ketika menganalisis produk korosi kristalografi dan dapat mendukung data dari penelitian lain.

Dalam penelitian ini, instrumen XRD (Siemens D5005) digunakan untuk pengukuran XRD langsung dari permukaan yang terkorosi dengan  $\text{CuK}\alpha$  pada panjang gelombang 1,5406 Å. Perangkat lunak yang menganalisis sistem operasional adalah komandan *Diffracplus XRD* (versi 2.4.1, 2005).

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Analisis spektroskopi FTIR

Untuk mengetahui jenis inhibitor secara kualitatif, analisa menggunakan FTIR dilakukan terhadap kedua inhibitor. Puncak penyerapan Infra-Merah



Gambar 2  
Spektrum FTIR untuk inhibitor A dan B.

(IR) ditunjukkan pada Gambar 2. Dari spektra FTIR pada gambar 2 A dan B dapat dilihat bahwa secara umum kandungan gugus fungsi dari kedua inhibitor tidak banyak berbeda.

Bilangan gelombang yang dikaitkan dengan gugus fungsional diberikan pada Tabel 1. Pita serapan yang melebar (*broad*) antara 3000 hingga 3500 cm<sup>-1</sup> menunjukkan keberadaan gugus hidrosil (O-H), gugus amina (N-H) dan (C-H). Puncak yang muncul sekitar pada daerah bilangan gelombang 1000 hingga 1600 cm<sup>-1</sup> terkait dengan keberadaan

karbonil (C = O), (C-O), (C-C) dan (C-N) (Stuart. B, 2013).

Semua kelompok fungsional diidentifikasi sebagai zat anti korosi yang diklasifikasikan sebagai inhibitor korosi organik, dan ini dilaporkan dalam banyak penelitian (Nofrizal, et al., 2017). Inhibitor diserap ke dalam permukaan logam untuk membentuk lapisan tipis dan mencegah proses difusi dengan meminimalkan transfer ion antara larutan dan logam. Logam tersebut kemudian dikatakan dipasivasi.

Inhibitor organik yang digunakan dalam penelitian ini mengandung bagian hidrofilik (polar) dan hidrofobik (non-polar). Mekanisme penghambatan laju korosi diperkirakan terjadi sebagai akibat terbentuknya ikatan polar (O-H dan N-H) yang berikatan dengan permukaan logam melalui proses adsorpsi. Sedangkan, bagian non-polar (alkil) dari inhibitor agregat berikatan dengan kelompok hidrofobik bebas lainnya dalam larutan.

Inhibitor umumnya bekerja mengendalikan reaksi korosi dengan membentuk film tipis pada permukaan

baja. Mekanisme proteksi yang lain terjadi secara alamiah dimana lapisan korosi yang terjadi pertama kalinya dapat menjadi lapisan film yang efektif untuk melindungi baja terhadap reaksi korosi lebih lanjut dengan membentuk lapisan pasif dipermukaan logam dan membatasi akses pertukaran muatan antara larutan elektrolit dan permukaan logam.

### B. Analisis polarisasi potensiodinamik

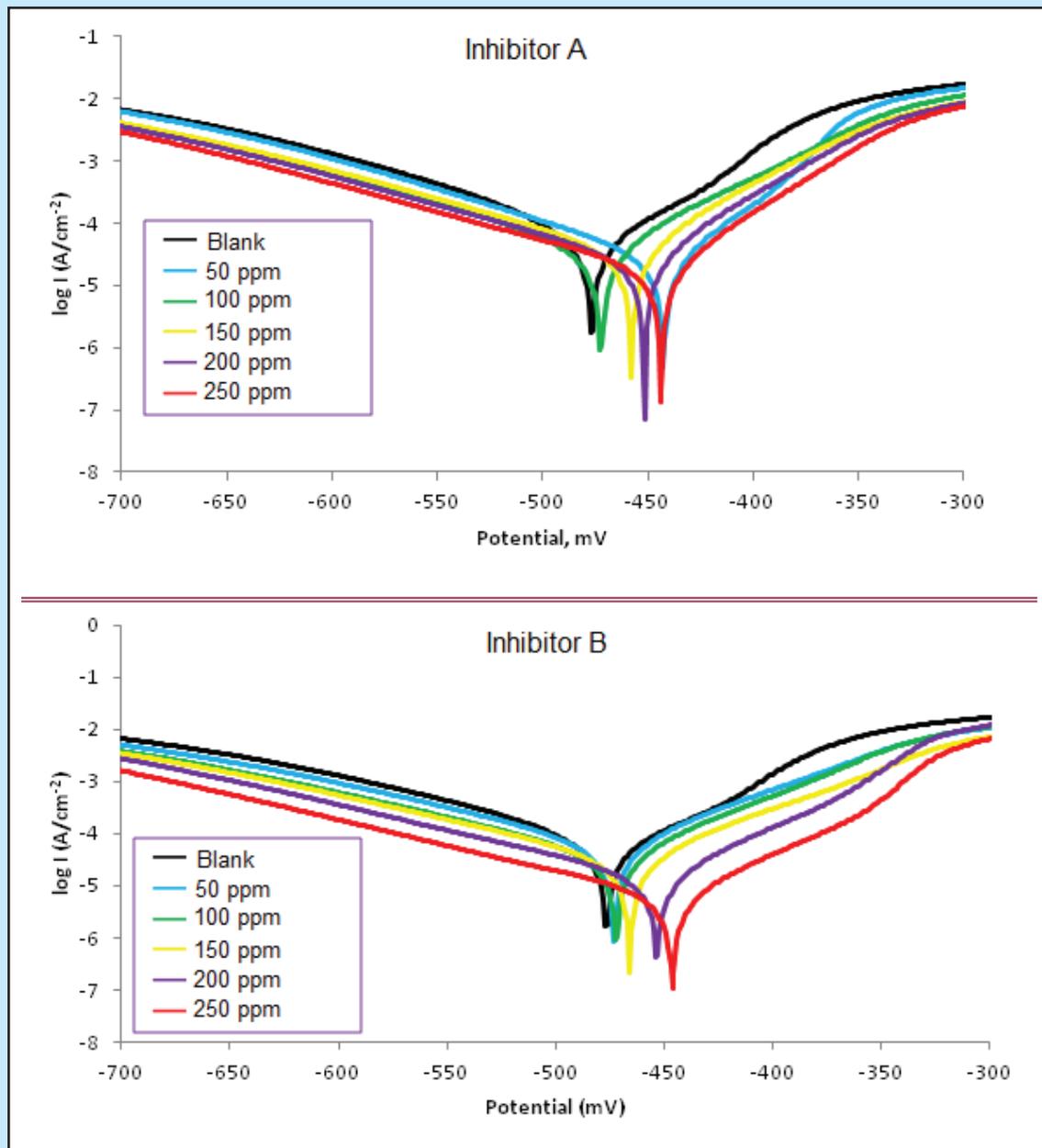
Hasil pengamatan polarisasi elektrokimia digambarkan sebagai plot kurva Tafel seperti pada Gambar 3 (a dan b). Berbagai parameter korosi

**Table 1**  
Bilangan gelombang untuk beberapa gugus fungsi dari senyawa kimia

| Gugus Fungsi    | Lokasi Serapan (cm <sup>-1</sup> ) | Intensitas Serapan |
|-----------------|------------------------------------|--------------------|
| Hidroksil (O-H) | 3400-3600                          | Kuat               |
| Amina (N-H)     | 3300-3350                          | Kuat               |
| Amina (C-H)     | 1180-1300                          | Sedang             |
| Karbonil (C=O)  | 1650-1700                          | Sedang             |
| Alkana (C-H)    | 2850-2970                          | Kuat               |
|                 | 1340-1470                          | Sedang             |
| Alkena (C=C)    | 3010-3100                          | Kuat               |
|                 | 650-900                            | Kuat               |
| Eter (R-O-R)    | 1650-1750                          | Sedang             |

**Tabel 2**  
Karakteristik data menggunakan metode potensiodinamik

| Inhibitor | Konsentrasi | E <sub>corr</sub> (mV) | I <sub>corr</sub> (mA/cm <sup>2</sup> ) | IE %  |
|-----------|-------------|------------------------|---|-------|
| -         | Blank       | -477.0                 | 0.1698                                  | -     |
| A         | 50          | -440.9                 | 0.0355                                  | 79.09 |
|           | 100         | -462.7                 | 0.0347                                  | 79.56 |
|           | 150         | -457.8                 | 0.0243                                  | 85.69 |
|           | 200         | -451.6                 | 0.0200                                  | 88.22 |
|           | 250         | -443.6                 | 0.0186                                  | 89.05 |
| B         | 50          | -473.1                 | 0.1000                                  | 41.11 |
|           | 100         | -472.7                 | 0.0562                                  | 66.90 |
|           | 150         | -466.1                 | 0.0289                                  | 84.61 |
|           | 200         | -453.9                 | 0.0182                                  | 89.62 |
|           | 250         | -446.1                 | 0.0063                                  | 96.29 |

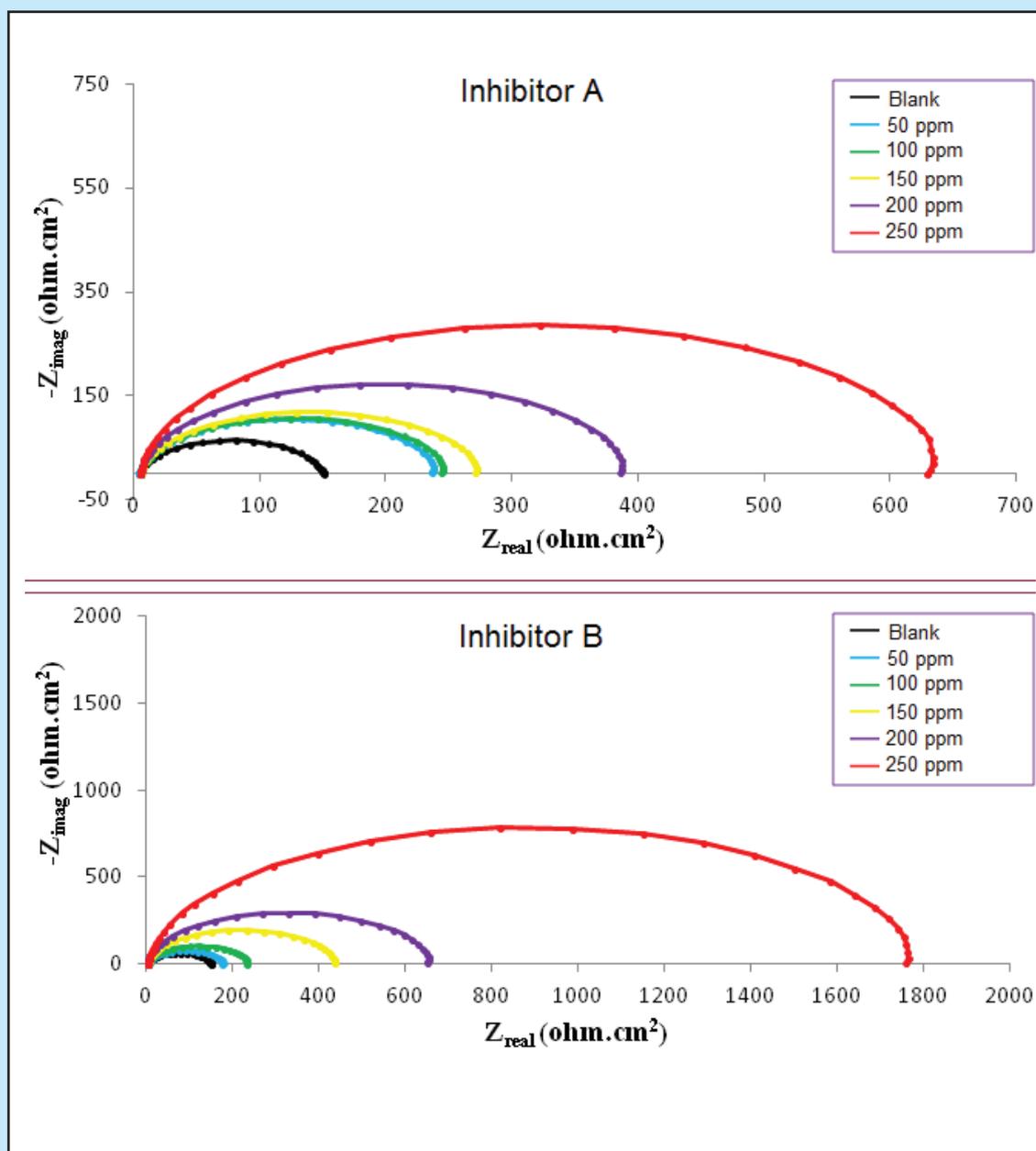


Gambar 3  
Kurva tafel plot untuk inhibitor A dan B.

yaitu, potensi korosi  $E_{\text{corr}}$ , kepadatan arus korosi  $I_{\text{corr}}$ , cathodic ( $\beta_c$ ), anodic ( $\beta_a$ ) lereng Tafel dan ( $IE$ ) dihitung menggunakan persimpangan garis Tafel anodik dan katodik dan diberikan pada Tabel 2.

Jelas dari hasil eksperimen potensiodinamik bahwa kehadiran inhibitor A atau B mengurangi kepadatan arus korosi,  $I_{\text{corr}}$ , yang merupakan indikasi penurunan laju korosi. Penurunan nilai-nilai  $I_{\text{corr}}$  disebabkan oleh penurunan serangan agresif pada permukaan baja, dikaitkan dengan adsorpsi molekul inhibitor. Selain itu, penambahan inhibitor menggeser potensi korosi ke sisi positif (34 mV

untuk inhibitor A dan 31 mV untuk inhibitor B) karena penurunan reaksi anodik. Ini menunjukkan bahwa inhibitor diadsorpsi pada area anodik oleh permukaan logam, mencegah reaksi disolusi logam dan dengan demikian menurunkan laju korosi. Persentasi efisiensi inhibitor meningkat ketika konsentrasi inhibitor meningkat, menghasilkan maksimum efisiensi 89.05% untuk inhibitor A dan 96.29% untuk inhibitor B. Hasil dari efisiensi yang didapatkan dari kedua inhibitor ini sebanding dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ige et al., (2013) yang menggunakan teknik LPR (*Linear*



Gambar 4  
Proses impedansi spektroskopi untuk inhibitor A dan inhibitor B.

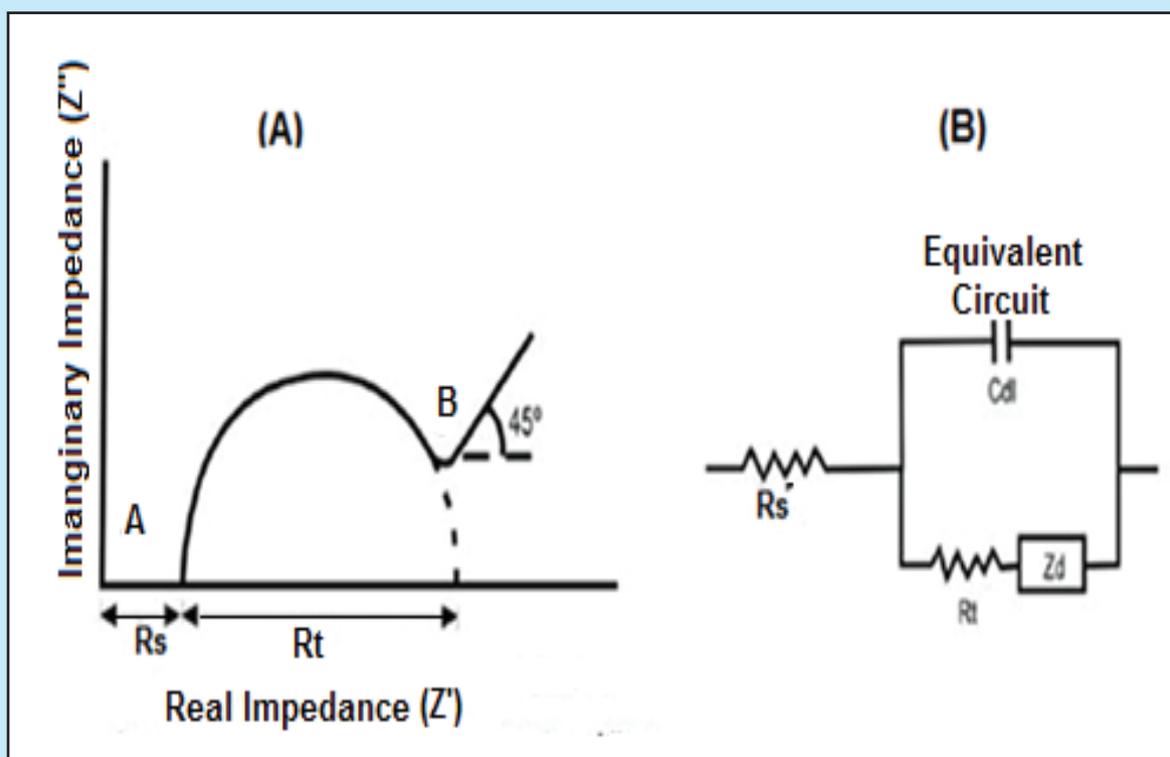
*polarisation resistance*) dengan kondisi fluida yang bergerak (*flow condition*) dengan efisiensi inhibitor maximum 80%. Hal ini menunjukkan bahwa inhibitor jenis amina tunggal ini tetap dapat bekerja dengan optimal walaupun dalam kondisi yang berbeda.

### C. Analisis impedansi elektrokimia (EIS)

Analisis EIS menunjukkan plot Nyquist khas untuk inhibitor A dan inhibitor B terdapat pada Gambar 4a dan 4b. Dari Gambar 4 a dan b, diamati bahwa plot Nyquist menunjukkan bentuk setengah lingkaran dan diameter loop kapasitif meningkat

dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor. Ini menunjukkan meningkatnya cakupan permukaan logam dan juga menandakan proses transfer muatan sebagai faktor pengendali utama dalam proses korosi (Nofrizal, et al.,2012).

Parameter impedansi, yaitu Resistensi transfer muatan ( $R_{ct}$ ), dan kapasitansi lapisan ganda ( $C_{dl}$ ) dihitung dengan menganalisis plot impedansi menggunakan sirkuit ekuivalen (Gambar 4) dan nilainya tercantum dalam Tabel 3. Analisis data impedansi arus bolak-balik (AC), yang didasarkan



Gambar 5  
Sirkuit equivalen dari spektrum impedansi.

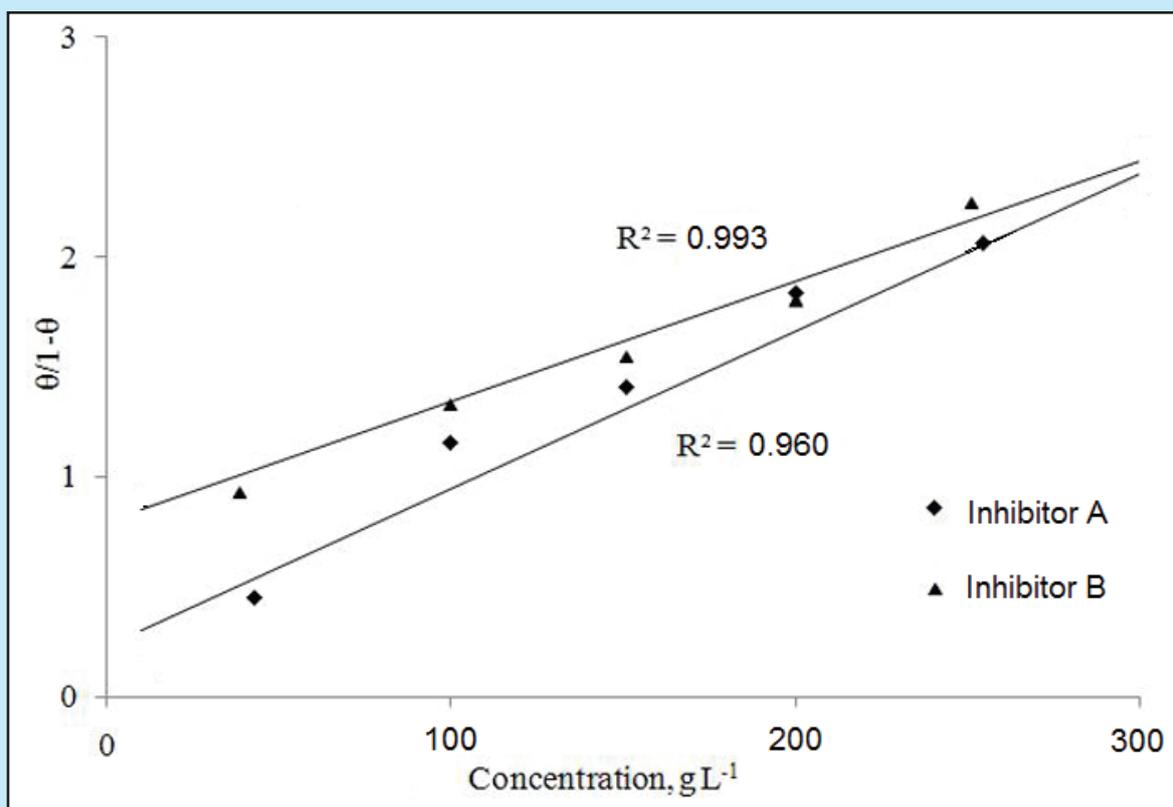
Tabel 3  
Efek penambahan inhibitor A dan B terhadap karakteristik impedansi

| Inhibitor | Konsentrasi inhibitor (ppm) | $R_s(\Omega.cm2)$ | $R_{ct}(\Omega.cm2)$ | IE %  |
|-----------|-----------------------------|-------------------|----------------------|-------|
| -         | Blank                       | 5.658             | 145                  | -     |
| A         | 50                          | 4.597             | 231.1                | 37.23 |
|           | 100                         | 5.893             | 237.4                | 38.92 |
|           | 150                         | 6.063             | 263.1                | 44.89 |
|           | 200                         | 5.687             | 378.3                | 61.67 |
|           | 250                         | 5.678             | 625.1                | 76.71 |
| B         | 50                          | 6.232             | 171.1                | 15.25 |
|           | 100                         | 5.852             | 227.6                | 36.29 |
|           | 150                         | 5.439             | 428.5                | 66.16 |
|           | 200                         | 3.782             | 646                  | 77.55 |
|           | 250                         | 5.674             | 1751                 | 91.72 |

pada pemodelan proses korosi oleh sirkuit listrik (Revie & Uhlig, 2008).

Dari Tabel 3 dapat diamati bahwa, nilai  $R_{ct}$  meningkat dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor. Ini karena, penambahan inhibitor

meningkatkan adsorpsi fito-konstituen di atas permukaan logam dan menghasilkan pembentukan lapisan pelindung yang dapat mengurangi transfer elektron antara permukaan logam dan media korosif. Nilai  $R_{ct}$  meningkat dengan meningkatnya



Gambar 6  
Isoterm adsorpsi Langmuir untuk inhibitor A dan inhibitor B.

Tabel 4  
Energi bebas Gibbs dan jenis interaksi inhibitor

| Inhibitor | Energi bebas Gibbs |                                 | Jenis Interaksi |
|-----------|--------------------|---------------------------------|-----------------|
|           | r2                 | $\Delta G^{\circ}_{ads}/kJ/Mol$ |                 |
| A         | 0,993              | -48.30                          | Serapan kimia   |
| B         | 0,996              | -51.25                          | Serapan kimia   |

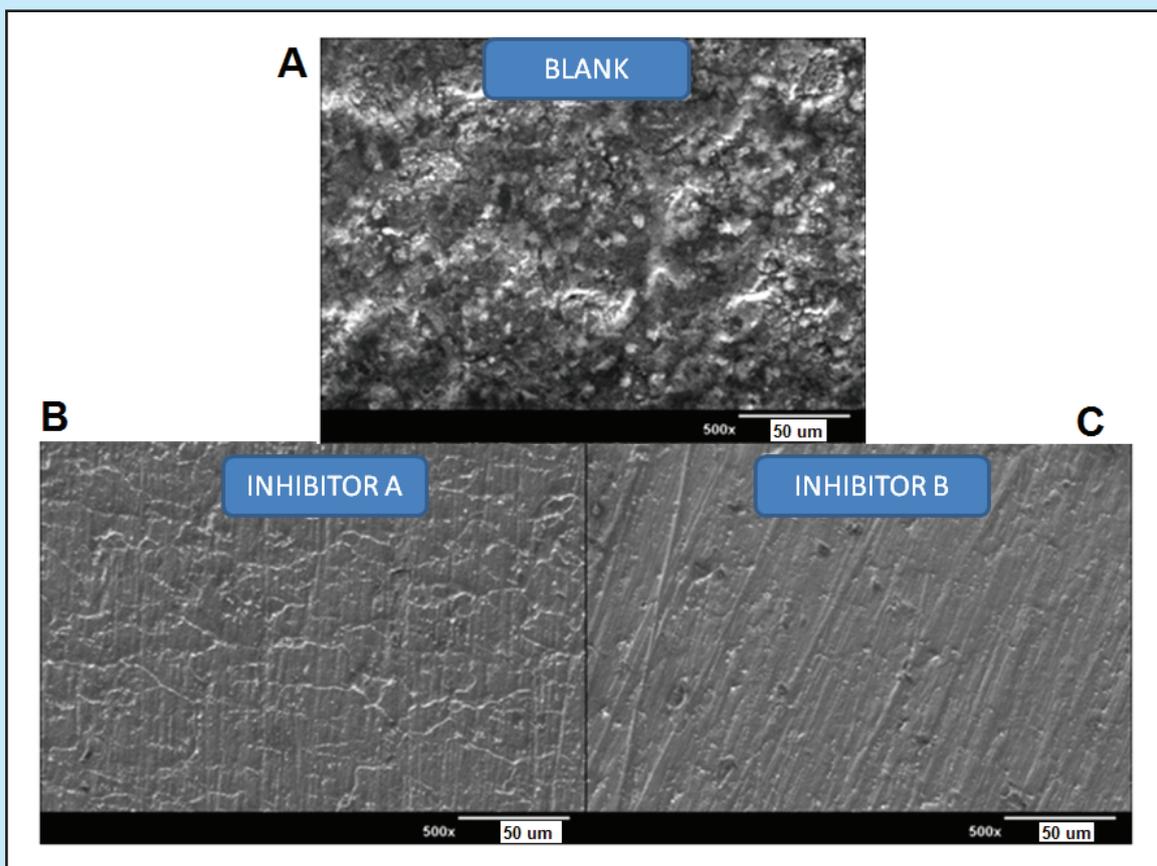
konsentrasi inhibitor. Penambahan inhibitor akan meningkatkan proses adsorpsi yang diiringi dengan penambahan ketebalan lapisan ganda listrik diantara permukaan logam dengan larutan elektrolit (Pidcock, 2014). Persentase efisiensi inhibitor dari hasil impedansi, sesuai dengan hasil dari analisis polarisasi yang menunjukkan maksimum efisiensi sebesar 76.75 dan 91.72% untuk ekstrak inhibitor A dan inhibitor B, masing-masing untuk konsentrasi  $g mL^{-1}$ .

**D. Penyerapan isothermal (Isoterm adsorpsi)**

Untuk mengetahui perilaku adsorpsi inhibitor A dan B pada permukaan baja ringan dalam media 3.5 %

NaCl yang dijenuhkan dengan  $CO_2$ , maka dilakukan analisis penyerapan panas (*isoterm adsorpsi*). Nilai  $\theta$  (cakupan permukaan) diperoleh dengan rasio  $E / 100$  sebagai fungsi dari logaritma konsentrasi ( $\log C$ ) inhibitor diuji secara grafis dengan memasangnya ke beberapa *isoterm adsorpsi*. Data eksperimen dari semua pengukuran ditemukan cocok dengan *isoterm adsorpsi Langmuir* (Gambar 6), yang mematuhi persamaan:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad \text{and} \quad \Delta G^{\circ}_{ads} = - RT \ln C_{water} K_{ads}$$



Gambar 7

Analisis SEM terhadap produk korosi setelah menggunakan inhibitor A dan inhibitor B.

Di mana,  $C$  adalah konsentrasi inhibitor,  $\theta$  adalah cakupan permukaan yang ditentukan oleh  $E / 100$ ,  $K_{ads}$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi dan  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  adalah energi bebas Gibbs standar,  $R$  adalah konstanta gas molar,  $T$  adalah suhu dan  $C_{water}$  adalah konsentrasi air dalam  $1000 \text{ g L}^{-1}$ . Nilai energi bebas Gibbs berasal dari kemiringan dan nilai koefisien korelasi linier menggunakan persamaan Langmuir seperti yang terdapat Tabel 4.

Nilai negatif  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  mengungkapkan spontanitas proses adsorpsi (Hosseini, et al., 2007). Secara umum, nilai  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  sekitar  $-20 \text{ kJ mol}^{-1}$  atau lebih rendah dikaitkan dengan interaksi elektrostatik antara pusat inhibitor bermuatan dan permukaan logam bermuatan (*physisorption*) (Rahim, et al., 2005). Nilai lebih negatif dari  $-40 \text{ kJ mol}^{-1}$  melibatkan pembagian muatan atau transfer dari molekul inhibitor ke permukaan logam untuk membentuk jenis ikatan koordinat (*chemisorption*) (Bentiss, et al., 2007). Dalam studi ini, nilai  $-\Delta G_{ads}^{\circ}$  untuk inhibitor A adalah  $-48.30 \text{ kJ mol}^{-1}$  sedangkan inhibitor B memiliki nilai  $-\Delta G_{ads}^{\circ}$   $-51.25 \text{ kJ mol}^{-1}$ , nilai-nilai ini menandakan interaksi adsorpsi kedua

jenis inhibitor dengan baja ringan adalah interaksi kimia (*chemisorption*).

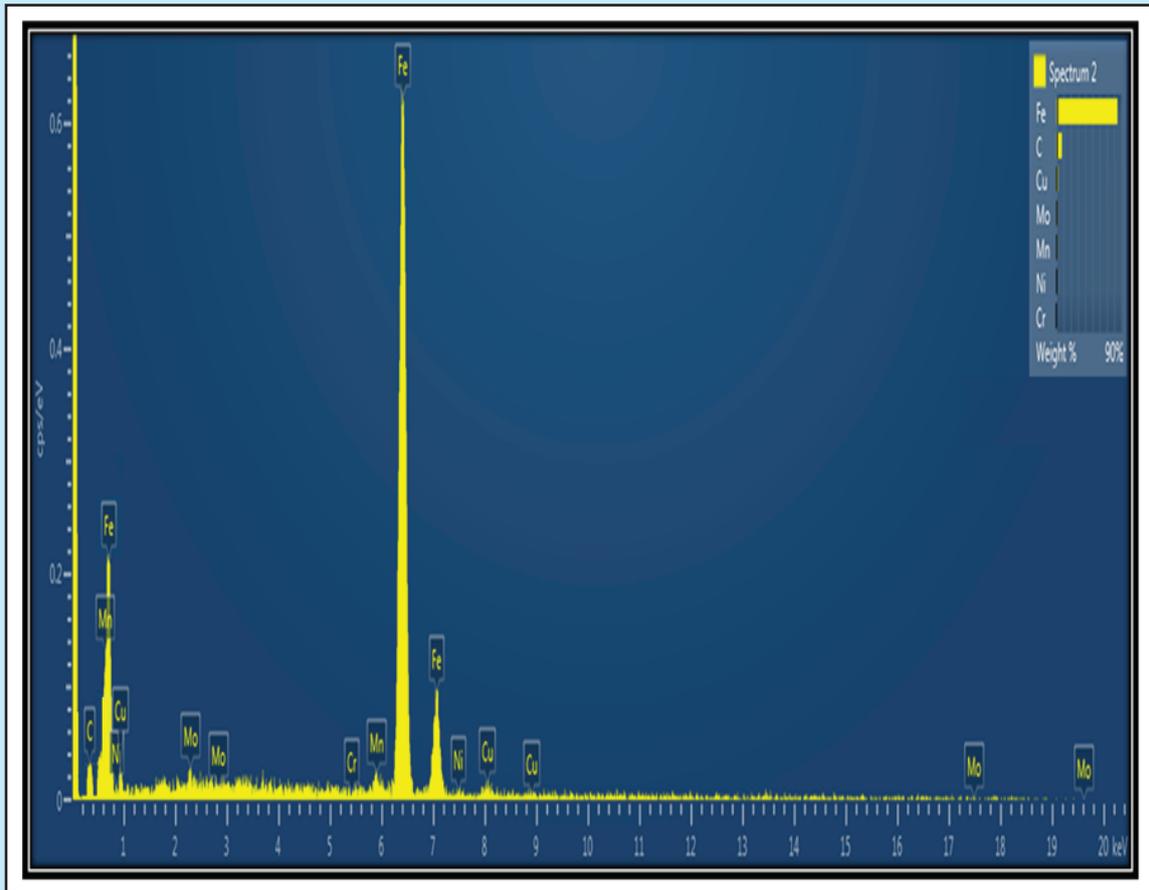
#### E. Analisis SEM

Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) dilakukan Untuk memantau perubahan morfologis pada permukaan baja selama proses korosi. Spesimen baja karbon dikelurkan dalam bejana korosi setelah analisis secara elektrokimia. Specimen dibilas dengan air dan isopropanol dan dianalisa menggunakan alat SEM. Hasil dari analisis dengan SEM ini terdapat dalam Gambar 7. Dari Gambar 7a tanpa penambahan inhibitor (*blank*) terlihat jelas bahwa permukaan dari baja sangat kasar dan rusak parah sebagai akibat reaksi korosi, lapisan logam terlihat kasar terdapat lubang-lubang. Akan tetapi kondisi berbeda terlihat pada Gambar. 7b dan 7c permukaan diubah menjadi lebih halus, deposit lebih seragam setelah penambahan inhibitor. Distribusi dan jumlah lubang berkurang secara signifikan.

Setelah menganalisis permukaan logam yang terkorosi melalui analisa SEM, kemudian

dilanjutkan dengan analisis menggunakan EDX Untuk mengetahui komposisi kimia dari produk korosi. Gambar 8 adalah spektrum EDX yang dihasilkan oleh logam yang menggunakan inhibitor A. Komposisi kimia logam sebelum dan sesudah proses korosi dapat dilihat pada Tabel 5.

Konsentrasi Fe dalam material logam berkurang setelah terjadinya reaksi korosi karena lebih banyak Fe larut dalam larutan air garam. Dalam hal ini besi (Fe) berkurang dari 97 % berat menjadi 79% setelah proses korosi. Penurunan konsentrasi Fe disertai dengan peningkatan karbon



Gambar 8 Kurva EDX untuk inhibitor A dengan kondisi brine yang dijenuhkan dengan CO<sub>2</sub>.

Table 5 Analisis EDX terhadap spesimen baja untuk inhibitor A dan B

| Unsur Logam (%) | Sebelum Proses Korosi | Dengan Proses Korosi tanpa Inhibitor | Dengan Proses Korosi ditambahkan inhibitor A | Dengan Proses Korosi ditambahkan Inhibitor B |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|--|--|
| C               | 0.7                   | 18.7                                 | 7,5  | 6.4  |
| Si              | 0.1                   | 0.2                                  | 0.3  | 0.2  |
| Mn              | 1.6                   | 1.4                                  | 1.7  | 1.6  |
| Ni              | 0.3                   | 0.4                                  | 0.2  | 0.3  |
| Cu              | 0.2                   | 0.3                                  | 0.2  | 0.2  |
| Fe              | 97.1                  | 79.0                                 | 90.1   | 91.3   |
| Total           | 100                   | 100                                  | 100  | 100  |

dari 0.7% menjadi 18.7% setelah proses korosi. Akan tetapi setelah penambahan inhibitor korosi A dan B, terdapat perbaikan komposisi kimia logam dimana komposisi Fe setelah reaksi korosi sebesar 90% dan 91% untuk inhibitor A dan inhibitor B secara berurutan. Akumulasi karbon setelah proses korosi dapat dilihat meningkat dari 0.7% menjadi 18.7%, akan tetapi setelah penambahan inhibitor korosi akumulasi karbon menurun seiring berkurangnya laju korosi. Tidak ada indikasi keberadaan oksigen pada baja. Ini mendukung argumen bahwa mekanisme korosi terutama terkait dengan pelarutan Fe tanpa pembentukan film yang mengandung oksigen atau produk korosi pada permukaan logam (Jiang, et al., 2017).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Inhibitor A (*Glycol base*) dan B (*Amine base*) adalah inhibitor yang baik untuk korosi baja ringan dalam larutan air garam (*brine water*) yang dijenuhkan dengan CO<sub>2</sub>. Efisiensi penghambatan korosi dari metode potensiodinamik melalui pengukuran elektrokimia adalah 89% untuk inhibitor A dan 96% untuk inhibitor B. Studi SEM menunjukkan transformasi permukaan menjadi lebih baik setelah penambahan kedua jenis inhibitor. Kedua jenis inhibitor ditemukan mematuhi aturan *isoterm adsorpsi Langmuir* dan dari parameter termodinamika membuktikan bahwa proses adsorpsi inhibitor diatas permukaan logam bekerja secara kimia dengan ikatan yang relatif lebih kuat dibandingkan secara fisika.

#### KEPUSTAKAAN

- Abduh, M.**, 2008. *The 50 major engineering failures in oil and gas and hydrocarbon industry (1977-2007)*. [Online] Available at: <https://www.scribd.com/document/215642171/The-50-Major-Engineering-Failures>
- Azhar, M.E., Trasniel, M., Mernari, B., Gengembre, L., Bentiss, F., & Langrenee, M.**, 2002. Electrochemical and XPS studies of 2,5-bis(*n*-pyridyl)-1,3,4-thiadiazoles adsorption on mild steel in perchloric acid solution. *Applied Surface Science*, 15 January, 185(3-4), pp. 197-205.
- ASTM G5-94**, 2004. Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement. In: *ASTM G5-94*. s.l.:American Society for Testing and Materials.
- ASTM, 2004**. Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements. In: *ASTM G59*. s.l.:ASTM International (ASTM).
- Barker, R., Hu, X. & Neville, A.**, 2013. The influence of high shear and sand impingement on preferential weld corrosion of carbon steel pipework in CO<sub>2</sub>-saturated environments. *Tribology International*, December, Volume 68, pp. 17-25.
- Bentiss, F., Lebrini, M., Langrenee, M., Traisnel, M., Elfarouk, A., & Vezin, H.**, 2007. The Influence of Some New 2, 5-disubstituted 1, 3, 4-thiadiazoles on the Corrosion Behaviour of Mild Steel in 1 M HCl Solution: AC Impedance study and theoretical Approach. *Electrochimica Acta*, 1 August, 52(24), pp. 6865-6872.
- Burkle, D., De Motte, R., Taleb, W., Kleppe, A., Comyn, T., Vargas, S.M., Neville, A., & Barker, R.**, 2016. Development of an electrochemically integrated SR-GIXRD flow cell to study FeCO<sub>3</sub> formation kinetics. *Review of Scientific Instruments*, October. Volume 87.
- Davis, J. R.**, 2011. *The Effects and Economic Impact of Corrosion. Corrosion Understanding the Basics*. s.l.:ASM International.
- Ibrahimi, B.E., Jmiai, A., Bazzi, L. & El Issami, S.**, 2020. Amino acids and their derivatives as corrosion inhibitors for metals and alloys. *Arabian Journal of Chemistry*, January, 13(1), pp. 740-771.
- Hosseini, M., Ehteshamzadeh, M. & Shahrabi, T.**, 2007. Protection of mild steel corrosion with Schiff bases in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution. *Electrochimica Acta*, 1 March, 52(11), pp. 3680-3685.
- Hua, Y., Barker, R., Charpentier, M.W., & Neville, A.**, 2015. Relating iron carbonate morphology to corrosion characteristics for water-saturated supercritical CO<sub>2</sub> systems. *The Journal of Supercritical Fluids*, March, Volume 98, pp. 183-193.
- Hua, Y., Mohammed, S., Barker, R. & Neville, A.**, 2020. Comparisons of corrosion behaviour for X65 and low Cr steels in high pressure CO<sub>2</sub>-saturated brine. *Journal of Materials Science & Technology*, 15 March, Volume 41, pp. 21-32.
- Hutchings, I. & Shipway, P.**, 2017. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. 2nd ed. s.l.:Butterworth-Heinemann.
- Ige, O., Barker, R., Hu, X., Umoru, L.E., & Neville, A.**, 2013. Assessing the influence of shear stress and particle impingement on inhibitor efficiency through the application of in-situ electrochemistry in a CO<sub>2</sub>-saturated environment. *Wear*, 15 July, 304(1-2), pp. 49-59.

- Javaherdashti, R., Nwaoha, C. & Tan, H.**, 2013. *Corrosion and Materials in Oil and Gas Industries*. 1st ed. s.l.:CRC Press.
- Jiang, J., Xie, Y., Islam, M. A. & Stack, M. M.**, 2017. The Effect of Dissolved Oxygen in Slurry on Erosion–Corrosion of En30B Steel. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 3(45).
- Lahiri, A. K.**, 2017. *Applied Metallurgy and Corrosion Control*. s.l.:Springer, Singapore.
- Nofrizal, N., Impey, S., & Michael, R.**, 2017. *Preferential Weld Corrosion in CO<sub>2</sub> Environment*. France, s.n.
- Nofrizal, N., Rahim, A.A., Saad, B., Raja, P., Syah, A.M., & Yahya, S.**, 2012. Elucidation of the Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1.0 M HCl by Catechin Monomers from Commercial Green Tea Extracts. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Volume 43, p. 1382–1393.
- Nugroho, F.**, 2015. Penggunaan Inhibitor Untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi Pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Angkasa*, Mei.VII(1).
- Owen, J., Ramsey, C., Barker, R. & Neville, A.**, 2018. Erosion-Corrosion of X65 Carbon Steel in Aqueous CO<sub>2</sub> environments. *Wear*, 15 November, Volume 414-415, pp. 376-389.
- Pidcock, A.**, 2014. *Control of Magnesium Alloy Corrosion through the Use of Engineered Intermetallics*. s.l.:School Of Applied Sciences.
- Rahim, A.A.**, 2005. *Physico-Chemical Characterisation of Mangrove Tannins as Corrosion Inhibitors*. s.l.:University Sains Malaysia.
- Revie, R. W. & Uhlig, H. H.**, 2008. *Corrosion and Corrosion Control; an Introduction to Corrosion Science and Engineering*. 4th ed. s.l.:Wiley.
- Sabirneeza, A. A. F. & Subhashini, S.**, 2014. Corrosion inhibition, adsorption and thermodynamic properties of poly(vinyl alcohol-cysteine) in molar HCl. *Arabian Journal of Chemistry*, February.51(2).
- Sanni, O. S., Bukuaghangin, O., Charpentier, T. V. & Neville, A.**, 2019. Evaluation of laboratory techniques for assessing scale inhibition efficiency. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, November. Volume 182.
- Sorkhabi, H. & Asghari, E.**, 2008. Effect of hydrodynamic conditions on the inhibition performance of l-methionine as a “green” inhibitor. *Electrochimica Acta*, 30 December, 54(2), pp. 162-167.
- Stuart, B. H.**, 2013. *Infrared Spektroskopi Fundamental & Application*. s.l.:Wiley.
- Tanupabrungsun, T., Brown, B. & Nescic, S.**, 2015. Corrosion of mild steel in an aqueous CO<sub>2</sub> environment - basic electrochemical mechanisms revisited. *Corrosion Conference and Expo*, pp. 1-11.
- Tsoeunyane, M. G., Makhatha, M. E. & Arotiba, O. A.**, 2019. Corrosion Inhibition of Mild Steel by Poly(butylene succinate)-L-histidine Extended with 1,6-diisocyanatohexane Polymer Composite in 1 M HCl. *International Journal of Corrosion*.