

Efisiensi Inhibisi Gum Arabic Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Dalam Lingkungan Air Laut

Irwan^{1*}, Satriananda², Nanang Rahmat Wijaya³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

^{1*}irwan@pnl.ac.id

Abstrak— Lingkungan laut merupakan salah satu penyebab utama kerusakan logam baja karbon akibat korosi. Penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu cara pengendalian korosi yang murah dan mudah dalam penerapannya. Namun sebagian besar inhibitor terdiri dari bahan kimia berbahaya sehingga pemakaiannya menjadi terbatas. Pengembangan inhibitor ramah lingkungan menjadi perhatian banyak peneliti dewasa ini. Pengukuran laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut telah dilakukan dengan menggunakan inhibitor korosi gum arabic. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh konsentrasi gum arabic dan waktu perendaman terhadap laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut, menghitung efisiensi inhibisi dan mempelajari mekanisme gum arabic dalam menghambat laju korosi. Pengukuran laju korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat. Kajian dilakukan pada variasi konsentrasi gum arabic 0, 1, 2, 3, 4, dan 5% berat dan waktu perendaman selama 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 hari. Kehilangan berat logam baja karbon pada setiap variasi konsentrasi gum arabic dan waktu perendaman diukur dengan neraca analitik. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi inhibitor korosi gum arabic maka laju korosi baja karbon semakin menurun. Sedangkan semakin lama waktu perendaman maka laju korosi baja karbon semakin meningkat. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor gum arabic maka efisiensi inhibisi semakin meningkat. Efisiensi inhibisi inhibitor gum arabic tertinggi sebesar 80,51%, yang diperoleh pada perendaman dengan konsentrasi inhibitor gum arabic 5% dan waktu perendaman selama 12 hari. Adsorpsi isoterm Langmuir sangat sesuai dengan data hasil percobaan, sehingga mekanisme adsorpsi pembentukan lapisan dalam menghambat laju korosi mengikuti persamaan Langmuir.

Kata kunci— korosi, baja karbon, lingkungan laut, inhibitor, gum arabic.

Abstract— The corrosion of carbon steel is mainly caused by the seawater environment. The measurement of carbon steel corrosion rate in seawater environment has been done by using gum arabic corrosion inhibitor. The measurement of corrosion rate was done by weight loss method at various concentration of gum arabic (0, 1, 2, 3, 4, and 5% wt) and immersion time (2, 4, 6, 8, 10, and 12 days). The weight loss of carbon steel at various concentration and immersion time was measured by analytical balance. The results show that the rate of corrosion is decreasing with the increase of pomelo peels extract concentration. The corrosion rate is increased with the elapsed time of immersion. The inhibition efficiencies increase with increasing of gum arabic concentration, which is the maximum of 80.51% at 5 wt% gum arabic concentration and twelve days immersion time. The Langmuir adsorption isotherm fits well with the experimental data that is the mechanism of inhibition follows the Langmuir's adsorption isotherm.

Keywords— corrosion, carbon steel, seawater environment, inhibitor, gum arabic.

I. PENDAHULUAN

Korosi merupakan kerusakan logam akibat interaksi dengan lingkungannya yang terjadi secara alamiah tanpa dapat dicegah. Masalah utama penggunaan logam dalam industri adalah pelarutan logam dalam lingkungan agresif seperti larutan asam, garam, dan lingkungan laut [1, 2].

Proses korosi dalam air laut berlangsung karena adanya unsur-unsur kimia, oksigen yang larut dan pengaruh bakteri. Korosi logam pada air laut mengikuti mekanisme pada elektrokimia dimana pada logam yang mengalami korosi terdapat tempat-tempat berupa anoda dan katoda. Plat baja karbon dalam air laut mengalami laju korosi antara 0,1 sampai 0,15 mm pertahun, namun jika serangannya berupa sumuran, penetrasi yang terjadi jauh lebih dalam [3].

Air laut adalah air murni yang di dalamnya terlarut berbagai zat padat dan gas. Suatu contoh air laut sebesar 1000 g berisi kurang lebih 35 g senyawa-senyawa terlarut yang secara kolektif disebut garam. Dengan kata lain, 96,5% air laut berupa air murni dan 3,5% zat terlarut. Banyaknya zat yang terlarut disebut salinitas. Zat-zat terlarut meliputi garam-garam anorganik, senyawa-senyawa organik yang berasal dari organisme hidup, dan gas-gas terlarut. Fraksi terbesar dari bahan terlarut terdiri dari garam-garam anorganik yang berwujud ion-ion. Enam ion anorganik membentuk 99,28% berat dari bahan anorganik padat.

Pengendalian korosi logam mendapatkan perhatian dari para peneliti secara global dewasa ini karena adanya kehilangan sumber daya alam dan ekonomi yang sangat besar

akibat proses korosi. Baja karbon merupakan salah satu jenis logam baja yang secara ekonomi lebih murah dan sifat-sifat logamnya sesuai digunakan dalam berbagai bidang terutama dalam industri minyak dan gas bumi, industri kimia dan petrokimia, industri makanan, dan tenaga listrik [4, 5].

Pengendalian korosi merupakan salah satu cara untuk meminimalkan kerusakan yang terjadi akibat pengaruh lingkungan korosif. Beberapa metoda pengendalian korosi telah dilakukan antara lain pemilihan bahan yang tepat, pelapisan, proteksi katodik dan penambahan inhibitor [6].

Penggunaan inhibitor dalam sistem pengendalian korosi mendapat perhatian serius dewasa ini, karena metoda ini lebih sederhana dan murah dalam penerapannya [7, 8]. Berbagai bahan telah digunakan sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam berbagai lingkungan agresif, namun sebagian besar bahan tersebut merupakan bahan kimia an organik yang berbahaya sehingga pemakaiannya menjadi terbatas. Oleh karena itu perlu dikembangkan inhibitor korosi dari bahan kimia organik dari alam yang tidak berbahaya dan ramah lingkungan.

Penelitian ini mengkaji penggunaan gum arabic sebagai inhibitor korosi yang ramah lingkungan dalam menghambat laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut, menghitung efisiensi inhibisi dan mempelajari mekanisme gum arabic dalam menghambat laju korosi. Kajian dilakukan pada berbagai konsentrasi gum arabic dan waktu perendaman.

A. Tinjauan Pustaka

Kajian penggunaan inhibitor dari bahan organik terutama yang berasal dari ekstrak bahan alam telah menjadi perhatian para peneliti saat ini baik di dalam maupun di luar negeri, karena bahan-bahan tersebut tidak berbahaya dalam penerapannya dan ramah lingkungan. Beberapa kajian yang telah dilakukan diuraikan berikut ini.

Penggunaan inhibitor korosi dari ekstrak daun teh, kopi, kedelai dan jambu biji pada logam API 5L dalam lingkungan air laut artificial dengan salinitas 3,5% dengan metode perendaman. Hasil kajian menunjukkan bahwa inhibitor tersebut secara signifikan menurunkan laju korosi dengan efisiensi inhibisi berkisar 87,83% s.d. 93,83% [9].

Pengaruh penambahan ekstrak tembakau terhadap laju korosi pipa baja API5LX dalam lingkungan larutan garam artificial dengan penambahan CO₂ menyimpulkan bahwa efisiensi inhibisi meningkat dengan peningkatan konsentrasi ekstrak tembakau dengan efisiensi tertinggi dicapai pada 80,94% [10].

Efisiensi inhibisi ekstrak kulit manggis pada baja dalam lingkungan air laut, air hujan dan asam sulfat menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak kulit manggis maka efisiensi inhibisi semakin meningkat. Efisiensi tertinggi diperoleh pada perendaman baja dalam lingkungan air hujan yaitu 99,22% [11].

Pengaruh penambahan ekstrak kulit jeruk dan ekstrak kulit mangga sebagai inhibitor korosi pipa baja karbon API 5L grad B dalam lingkungan garam klorida 3,5% menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak kulit jeruk dan mangga menurunkan laju korosi baja karbon [12].

Selain itu beberapa kajian juga dilakukan oleh para peneliti di luar negeri mengenai inhibitor korosi yang ramah lingkungan, seperti diuraikan berikut ini.

Pengaruh inhibitor gum arabic terhadap korosi baja API5L X42 dalam larutan asam klorida telah dilakukan pada berbagai konsentrasi gum arabic. Efisiensi inhibisi maksimum yang dicapai adalah 92% pada konsentrasi gum arabic 2 g/L. Adsorpsi gum arabic dipermukaan baja mengikuti persamaan adsorpsi isotherm Langmuir [13].

Penggunaan gum arabic sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam lingkungan asam klorida menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gum arabic akan meningkatkan efisiensi inhibisi. Efisiensi inhibisi tertinggi yang diperoleh adalah 97% pada konsentrasi gum arabic 1 g/L [14].

Kajian penggunaan gum arabic yang dibalut dengan polyacrylamida sebagai inhibitor korosi baja karbon rendah dalam lingkungan asam klorida 15% telah dilakukan dengan etode perendaman. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi maksimum yang diperoleh sebesar 94,08% pada konsentrasi 0,3 g/L. Adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan baja karbon rendah mengikuti formula adsorpsi isotherm Langmuir [15].

Penggunaan gum arabic sebagai polimer alami inhibitor korosi pada baja karbon dalam lingkungan air laut artificial telah dilakukan dengan metoda elektrokimia. Hasil kajian menunjukkan bahwa inhibitor korosi gum arabic berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon. Efisiensi inhibisi terbesar dicapai pada 94,0 %. Kajian adsorpsi isotherm menunjukkan bahwa pembentukan lapisan molekul inhibitor dipermukaan logam baja karbon terjadi secara adsorpsi kimia [16].

B. Dasar Teori

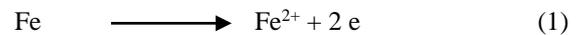
1. Korosi

Korosi merupakan proses degradasi material akibat interaksi dengan lingkungannya. Secara elektrokimia, korosi terjadi akibat interaksi komponen anoda dan katoda, lingkungan yang bersifat elektrolit, dan konduktor listrik.

Pada anoda terjadi proses oksidasi logam dimana terjadi pelepasan ion-ion logam ke dalam larutan sehingga logam akan larut atau berkurang, sedangkan pada katoda terjadi pengikatan ion yang dilepaskan logam

Faktor logam dan faktor lingkungan merupakan faktor utama penyebab terjadinya korosi. Faktor logam disebut sebagai faktor dalam seperti komponen-komponen penyusunnya atau cacat kristal. Faktor lingkungan disebut faktor luar yang disebabkan oleh konsentrasi oksigen dalam air atau dalam udara bebas, pH, temperatur, komposisi kimia atau konsentrasi larutan.

Proses korosi dimulai dengan pelarutan ion-ion logam (reaksi oksidasi) dalam larutan elektrolit pada Anoda, ditinjau suatu logam saja, maka reaksinya adalah sebagai berikut:



Elektron yang dilepaskan oleh logam akan ditangkap oleh katoda melalui reaksi reduksi. Reaksi reduksi tergantung kondisi lingkungan. Dalam lingkungan air yang teraerasi, terjadi reduksi oksigen dengan reaksi berikut:

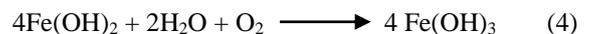


Ion-ion negatif seperti ion hidroksil (OH⁻) yang dihasilkan pada katoda berpindah ke anoda dalam sel korosi, sementara ion-ion yang bermuatan positif bergerak ke permukaan katoda. Pergerakan ion-ion tersebut akan menyebabkan reaksi pada anoda sebagai berikut:



Ferro hidroksida (Fe(OH)₂) merupakan lapisan penahan difusi oksigen ke permukaan besi, pH larutan Fe(OH)₂ jenuh sekitar 9,5, sehingga permukaan besi yang terkorosi dalam air yang teraerasi selalu dalam keadaan basa.

Pada permukaan bagian luar lapisan Fe(OH)₂, oksigen terlarut mengkonversi oksida Ferro oksida menjadi Ferri Hidroksida, dengan reaksi:



Ferri hidroksida berwarna oranye sampai merah kecoklatan yang merupakan produk korosi dan besi.

2. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang ditambahkan dalam jumlah yang sedikit ke dalam lingkungan yang dapat menghambat laju korosi. Penggunaan inhibitor korosi semakin banyak digunakan dewasa ini karena lebih mudah dalam aplikasi dan murah dibandingkan dengan metode pengendalian korosi lainnya.

Adapun mekanisme kerja inhibitor dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi

pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi.

- Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

Dalam penelitian ini kajian dilakukan terhadap kemampuan gum arabic dalam menghambat laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut. Kajian dilakukan pada berbagai variasi konsentrasi gum arabic dan waktu perendaman.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian pengaruh konsentrasi gum arabic sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam lingkungan laut dilakukan dengan metoda kehilangan berat sesuai dengan ASTM G-31. Prosedur penelitian dijelaskan sebagai berikut.

A. Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gum arabic sebagai inhibitor korosi yang berasal dari getah akasia yang diperoleh dari Sigma-Aldrich Chemical. Lingkungan korosif yang digunakan adalah air laut yang diperoleh dari laut Ujong Blang Kota Lhokseumawe. Bahan lain yang digunakan adalah aquades dan kertas abrasif silikon karbida ukuran 400, 600, 800, 1000, dan 1200 grit. Peralatan yang digunakan adalah corrosion test apparatus dan neraca analitik.

B. Pengujian Laju Korosi

Logam yang diteliti adalah plat baja karbon dengan ukuran 3 x 5 x 0,2 cm dan diberi lubang untuk kawat penggantung. Kemudian plat baja karbon tersebut diampas sampai dengan 1200 grit. Luas permukaan plat baja karbon diukur kemudian ditimbang berat awal (W_0). Kemudian direndam didalam lingkungan air laut yang ditambahkan inhibitor gum arabic sesuai dengan konsentrasi dan waktu perendaman yang divariasikan. Setelah waktu perendaman tercapai, sample dicuci dengan larutan HCl encer untuk menghilangkan produk korosi yang menempel. Bersihkan dan keringkan sampel kemudian timbang kembali sampel untuk mendapatkan berat akhir (W_1). Setiap perlakuan dilakukan tiga kali duplikasi sampel.

C. Perhitungan Laju Korosi dan Efisiensi Inhibisi

Pengukuran laju korosi dilakukan dengan rumus :

$$r = \frac{534 W}{D A t}$$

- Dimana :
- r = laju korosi, mpy
 - W = kehilangan berat, ($W_0 - w_1$), mg
 - D = densitas logam baja karbon, g/cm^3
 - A = luas permukaan, in^2
 - t = waktu pemaparan, jam

Perhitungan Efisiensi Inhibisi

Efisiensi inhibisi dihitung dengan persamaan :

$$\text{Efisiensi inhibisi (\%)} = \frac{r_{uninhibited} - r_{inhibited}}{r_{uninhibited}} \times 100 \%$$

Dimana :

$r_{uninhibited}$: Laju korosi pada sistem yang tidak terinhibisi.

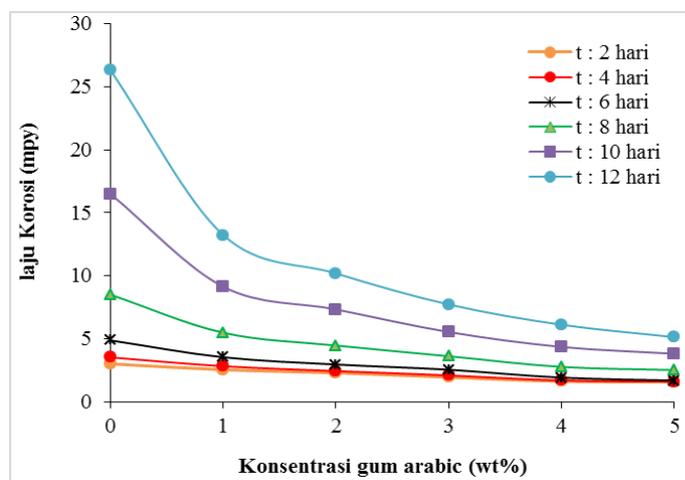
$r_{inhibited}$: Laju korosi pada sistem yang terinhibisi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pengaruh konsentrasi inhibitor korosi gum arabic terhadap laju korosi, efisiensi inhibisi dan mekanisme inhibisi diuraikan berikut ini.

A. Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Korosi Gum Arabic

Pengaruh konsentrasi inhibitor korosi gum arabic terhadap laju korosi ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat bahwa peningkatan konsentrasi gum arabic mengakibatkan laju korosi baja karbon dalam air laut semakin menurun. Hal ini terlihat dari data yang diperoleh pada waktu perendaman 12 hari, tanpa menggunakan inhibitor gum arabic, diperoleh laju korosi 26,32 mpy, sementara dengan penggunaan gum arabic 2% berat, laju korosi turun menjadi 10,19 mpy dan dengan penambahan 5%, laju korosi menurun hingga 5,13 mpy. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa inhibitor gum arabic bekerja dengan cara teradsorpsi pada permukaan baja karbon membentuk lapisan pelindung, dengan semakin meningkatnya konsentrasi gum arabic, lapisan pelindung yang terbentuk pada permukaan logam baja karbon semakin banyak dan menutupi sebagian besar permukaan baja karbon. Dengan demikian kontak langsung antara logam baja karbon dan lingkungan air laut terhambat oleh lapisan tersebut. Dengan demikian maka laju korosi baja karbon semakin menurun.

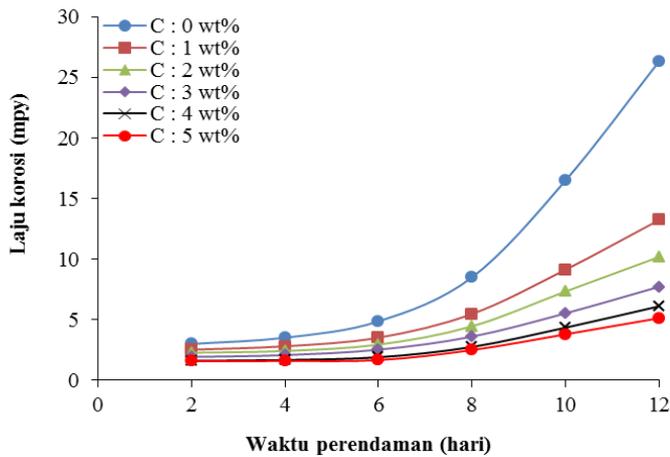


Gambar 1. Pengaruh konsentrasi gum arabic terhadap laju korosi

B. Pengaruh Waktu Perendaman

Pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi baja karbon dalam lingkungan air laut diperlihatkan pada Gambar 2. Dari gambar 2 terlihat bahwa waktu perendaman berpengaruh terhadap laju korosi. Semakin lama waktu perendaman, maka laju korosi semakin meningkat. Dari data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada waktu 2 hari, laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut tanpa menggunakan inhibitor gum arabic sebesar 3,00 mpy sedangkan dalam perendaman selama 12 hari, laju korosi meningkat menjadi 26,32 mpy. Hasil kajian juga berlaku untuk perendaman yang dilakukan dengan penambahan inhibitor korosi gum arabic. Hal ini disebabkan laju korosi disebabkan karena kontak langsung antara logam dengan lingkungan sebagai

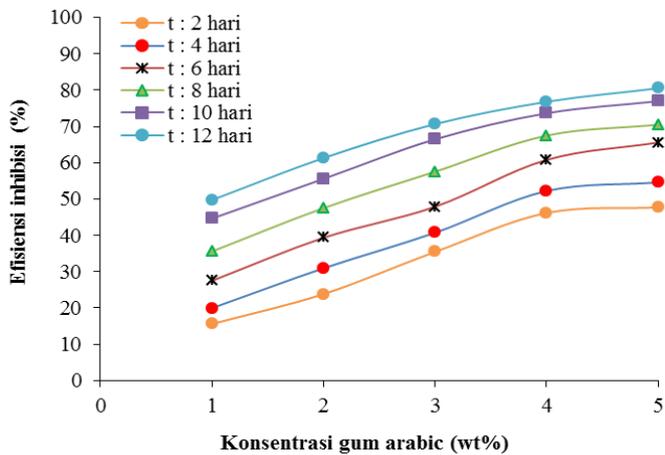
fungsi waktu. Semakin lama waktu pemaparan, maka kontak langsung antara logam dengan lingkungan semakin intens yang mengakibatkan korosi terjadi semakin cepat.



Gambar 2. Pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi

C. Efisiensi Inhibisi Inhibitor Gum Arabic

Efisiensi inhibisi inhibitor gum arabic dalam menghambat laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa efisiensi inhibisi gum arabic terhadap baja karbon dalam lingkungan air laut meningkat dengan peningkatan konsentrasi gum arabic. Efisiensi inhibisi maksimum yang diperoleh sebesar 80,51% yang dicapai pada konsentrasi 5 wt% dan waktu perendaman 12 hari. Kecenderungan ini berlaku untuk setiap waktu perendaman. Hal ini dapat dijelaskan karena dengan peningkatan konsentrasi gum arabic maka proses pembentukan lapisan dipermukaan logam akan semakin besar, sehingga daya tutup permukaan logam semakin besar.



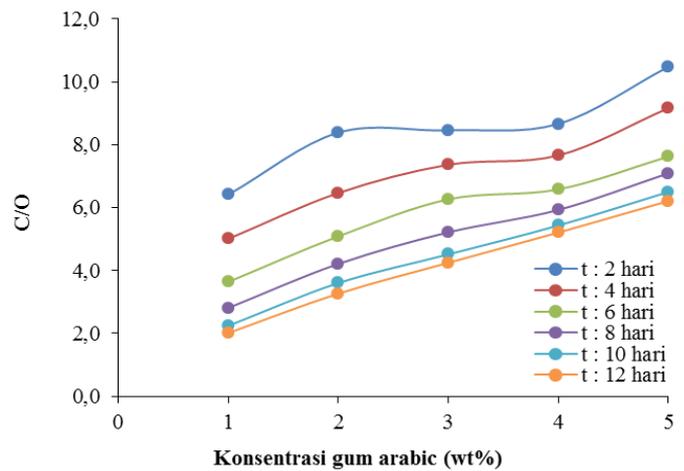
Gambar 3. Efisiensi inhibisi korosi gum arabic terhadap laju korosi pada baja karbon dalam lingkungan laut

D. Mekanisme Inhibisi Gum Arabic

Mekanisme inhibitor gum arabic dalam menghambat laju korosi baja karbon dapat dipelajari dengan beberapa postulat yang dikembangkan oleh para ahli. Salah satu postulat yang umum digunakan adalah postulat Langmuir. Postulat Langmuir dikembangkan dengan asumsi bahwa lapisan yang terbentuk monolayer atau satu lapisan. Dengan menggunakan postulat tersebut maka data yang diperoleh dari penelitian

dilakukan analisis dan diplot dalam bentuk grafik. Jika plot data hasil penelitian mengikuti postulat Langmuir, maka dapat disimpulkan bahwa mekanisme inhibisi gum arabic dalam menghambat laju korosi dengan cara membentuk satu lapisan dipermukaan baja karbon, sehingga kontak antara baja karbon dan lingkungan menjadi terhambat.

Plot data hasil penelitian dengan postulat Langmuir diperlihatkan pada Gambar 4. Dari gambar 4 terlihat bahwa analisis data dengan postulat Langmuir memberikan garis lurus pada semua setiap waktu perendaman, sehingga dapat disimpulkan bahwa inhibitor gum arabic teradsorpsi dipermukaan baja karbon dengan membentuk satu lapisan.



Gambar 4. Langmuir Plot

IV. KESIMPULAN

Penggunaan gum arabic sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam lingkungan laut menurunkan laju korosi secara signifikan. Semakin besar konsentrasi gum arabic yang diberikan maka semakin rendah laju korosi baja karbon dalam lingkungan laut. Waktu perendaman berpengaruh terhadap laju korosi. Semakin lama waktu perendaman maka laju korosi semakin meningkat. Semakin tinggi konsentrasi gum arabic, maka efisiensi inhibisinya semakin besar. Efisiensi inhibisi tertinggi diperoleh sebesar 80,51% pada konsentrasi gum arabic 5% dan waktu perendaman 12 hari. Mekanisme adsorpsi gum arabic membentuk lapisan dipermukaan baja karbon mengikuti formula Langmuir.

REFERENSI

- [1] B. Qian, B. Hou, and M. Zheng, *The inhibition effect of tannic acid on mild steel corrosion in seawater wet/dry cyclic conditions*. Corrosion Science. Vol. 72, (Supplement C): p. 1-9, 2013.
- [2] H. Wall and L. Wadsö, *Corrosion rate measurements in steel sheet pile walls in a marine environment*. Marine Structures. Vol. 33, (Supplement C): p. 21-32, 2013.
- [3] M.G. Fontana, *Corrosion engineering*. 2005: Tata McGraw-Hill Education.
- [4] P. Slepiski, et al., *Simultaneous impedance and volumetric studies and additionally potentiodynamic polarization measurements of molasses as a carbon steel corrosion inhibitor in 1M hydrochloric acid solution*. Construction and Building Materials. Vol. 52: p. 482-487, 2014.
- [5] A. Ghanbari and M. Attar, *A study on the anticorrosion performance of epoxy nanocomposite coatings containing epoxy-silane treated nanosilica on mild steel substrate*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 23: p. 145-153, 2015.
- [6] P.R. Roberge, *Corrosion engineering: principles and practice*. Vol. 2. 2008: McGraw-Hill New York.

- [7] S.T. Atmadja, *Pengendalian Korosi Pada Sistem Pendingin Menggunakan Penambahan Zat Inhibitor*. ROTASI. Vol. 12, (2): p. 7-13, 2010.
- [8] E.A. Murti, S. Handani, and Y. Yetri, *Pengendalian Laju Korosi pada Baja API 5L Grade BN Menggunakan Ekstrak Daun Gambir (Uncaria gambir Roxb)*. Jurnal Fisika Unand. Vol. 5, (2): p. 172-178, 2015.
- [9] A.P. Yanuar, H. Pratikno, and H.S. Titah, *Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan*. Jurnal Teknik ITS. Vol. 5, (2), 2017.
- [10] R.N. Ahmadi, *Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Tembakau Terhadap Laju Korosi Internal Pipa Baja Api 5l X-52 Pada Artificial Brine Water Dengan Injeksi Gas CO₂*. Jurnal Furnace. Vol. 2, (1), 2016.
- [11] Y.R.A. Nasution, S. Hermawan, and R. Hasibuan, *Penentuan Efisiensi Inhibisi Reaksi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (Garcinia mangostana L)*. Jurnal Teknik Kimia USU. Vol. 1, (2), 2012.
- [12] T. Noor and A. Purniawan, *Pengaruh Penambahan Ekstrak Kulitbuah Jeruk Dan Kulitbuah Manga Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon Dalam Media NaCl 3, 5%*. Jusami| Indonesian Journal of Materials Science. Vol. 17, (1): p. 29-33, 2018.
- [13] H. Bentrak, Y. Rahali, and A. Chala, *Gum Arabic as an eco-friendly inhibitor for API 5L X42 pipeline steel in HCl medium*. Corrosion Science. Vol. 82: p. 426-431, 2014.
- [14] K. Azzaoui, et al., *Eco friendly green inhibitor Gum Arabic (GA) for the corrosion control of mild steel in hydrochloric acid medium*. Corrosion Science. Vol. 129: p. 70-81, 2017.
- [15] A. Biswas, et al., *Grafting effect of gum acacia on mild steel corrosion in acidic medium: Gravimetric and electrochemical study*. Journal of Molecular Liquids. Vol. 251: p. 470-479, 2018.
- [16] C. Shen, et al., *Gum Arabic as corrosion inhibitor in the oil industry: experimental and theoretical studies*. Corrosion Engineering, Science and Technology. Vol. 54, (5): p. 444-454, 2019.