



Asam Askorbat, Natrium Nitrit dan Natrium Fosfat sebagai Inhibitor Laju Korosi pada Alumunium dan Seng dalam Media Biosolar

Dyah Ratna Wulan¹, Noor Isnaini Azkiya¹, Kristina Widjajanti², Nadua Bella Wardani¹, Yanty Maryanty^{1,*}

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

*E-mail: yanty.maryanty@polinema.ac.id

ABSTRAK

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya, sedangkan bio-korosi merupakan suatu peristiwa korosi yang dipengaruhi oleh mikroorganisme terutama dari kelompok *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB). SRB mengakibatkan terjadinya korosi logam pada tangki penyimpanan biosolar. Laju korosi dapat diturunkan dengan cara penambahan inhibitor organik maupun anorganik ke dalam suatu media korosi. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh inhibitor organik berupa asam askorbat, dan inhibitor anorganik berupa natrium nitrit dan natrium fosfat terhadap terhadap laju korosi dan efisiensi inhibitor pada logam alumunium (Al) dan seng (Zn) yang direndam dalam media biosolar dalam kondisi pH asam. Pengaruh ketiga jenis inhibitor yang masing-masing memiliki konsentrasi sebesar 25, 50, dan 75 ppm terhadap logam yang direndam dengan biosolar diinvestigasi menggunakan teknik penurunan berat logam. Pengukuran berat logam yang direndam dalam inhibitor dan media biosolar dilakukan pada variasi waktu 0, 1, 4, 7, dan 10 hari kemudian dilakukan analisa laju korosi dan efisiensi inhibisi. Masing-masing inhibitor dapat menghambat laju korosi logam dengan efisiensi inhibisi tertinggi yaitu asam askorbat. Inhibitor terbaik dalam media biosolar yaitu asam askorbat 75 ppm yang dikontakkan dengan logam selama 10 hari dengan nilai efisiensi inhibitor asam askorbat terhadap logam alumunium sebesar 26,92 % dan seng sebesar 70,90 % .

Kata kunci: biosolar, inhibitor, korosi, *sulfat reducing bacteria*.

ABSTRACT

Corrosion is a decrease in metal quality due to an electrochemical reaction with its environment while bio-corrosion is a corrosion event that is influenced by microorganisms, especially from the Sulfate Reducing Bacteria (SRB) group. This group of bacteria generally causes metal corrosion in biodiesel storage tanks. The corrosion rate can be reduced by adding organic or inorganic inhibitors. The purpose of this study was to study the effect of organic inhibitor such as ascorbic acid, and inorganic inhibitors such as sodium nitrite and sodium phosphate on the corrosion rate and inhibitor efficiency of aluminum and zinc metals immersed in biodiesel media under acidic pH conditions. The effect of the three types of inhibitors which each concentrations of 25, 50, and 75 ppm on metals immersed in biodiesel was investigated using weight loss techniques. The measurement of the weight of the metal immersed in the inhibitor and biodiesel media was carried out at various times of 0, 1, 4, 7, and 10 days and then calculated the corrosion rate and inhibition efficiency. The best inhibitor in biodiesel media is 75 ppm ascorbic acid which is in contact with metal for 10 days with has an efficiency value of ascorbic acid inhibitor against aluminum metal of 26,92 % and zinc of 70,90 % .

Keywords: biosolar, corrosion, inhibitors, *sulfat reducing bacteria*.

1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Logam yang mengalami penurunan mutu tidak hanya melibatkan

reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia, yakni antara bahan-bahan yang bersangkutan dengan terjadinya perpindahan elektron [1]. Korosi ini dapat disebabkan oleh material itu sendiri maupun faktor-faktor dari



lingkungan. Faktor dari material itu sendiri meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, unsur-unsur penyusun yang ada dalam bahan, dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, serta keberadaan zat-zat kimia bersifat korosif. Bahan-bahan korosif terdiri atas asam, basa serta garam, baik dalam bentuk senyawa anorganik maupun organik [2].

Bio-korosi merupakan korosi yang disebabkan oleh mikroorganisme yang dapat berupa bakteri, jamur atau alga. Dalam bio-korosi, mikroorganisme dapat berperan secara aktif maupun secara pasif menyebabkan korosi. Mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film atau biofilm berupa biodeposit yang terkadang bersifat asam ini biasanya membentuk diameter beberapa centimeter di permukaan, namun terekspos sedikit di permukaan sehingga dapat menyebabkan korosi lokal [3].

Salah satu metode penghambat proses terjadinya korosi yaitu dengan menggunakan inhibitor korosi. Inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju korosi yang terjadi pada lingkungan tersebut terhadap suatu logam di dalamnya. Menurut bahan dasar pembuatannya, inhibitor korosi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu inhibitor yang terbuat dari bahan anorganik dan organik. Inhibitor korosi organik yaitu inhibitor korosi yang berasal dari bahan alami yang tersedia di alam. Inhibitor alami memiliki sifat non-toksik, murah, mudah didapatkan dan dapat diperbaharui [1]. Sedangkan inhibitor anorganik adalah inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Material dasar dari inhibitor anorganik antara lain kromat, nitrit, silikat, dan fosfat. Inhibitor anorganik bersifat sebagai inhibitor anodik karena inhibitor ini memiliki gugus aktif, yaitu anion negatif yang berguna untuk mengurangi korosi [4].

Penggunaan inhibitor anorganik ini lebih praktis dan mudah untuk memperolehnya dibandingkan dengan penggunaan inhibitor organik yang pada umumnya masih terdapat proses ekstraksi dalam pembuatannya [5].

Penelitian sebelumnya inhibitor yang digunakan yaitu natrium asetat dan natrium nitrit dengan variasi konsentrasi masing-masing 0,05, 0,1, 0,15, dan 0,3% pada media air yang bercampur dengan miyak mentah yang terbawa pada saat proses pengeboran. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa penambahan inhibitor pada konsentrasi 0,3% menghasilkan laju korosi terendah yaitu 1,864 mm/yr [6]. Penelitian lainnya memperlihatkan sodium nitrit pada konsentrasi 0,6 M dapat menurunkan laju korosi secara optimal dengan efisiensi inhibitor sebesar 96% dalam larutan sintesis beton pada variasi pH 11, 9, dan 7 dengan larutan 3,5% NaCl [7]. Sedangkan penambahan inhibitor natrium fosfat sebanyak 50 ppm dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh yang ditambah NaCl dan NaHCO_3 mampu membentuk lapisan pelindung pada baja dengan efektivitas inhibisi mencapai 94,4% [8]. Hasil yang sama diperoleh dari penelitian dengan penambahan asam askorbat pada konsentrasi 50 ppm dalam media NaCl 1000 ppm mendapatkan nilai laju korosi yang paling rendah pada baja yaitu 5,361 mpy [9].

Permasalahan yang terdapat pada beberapa industri, yaitu tangki penyimpanan biosolar mengalami korosi dikarenakan adanya perubahan fungsi dari penyimpanan solar ke biosolar. SRB yang merupakan mikroorganisme anaerob dapat mendegradasi senyawa organik contohnya biosolar menghasilkan sulfida yang reaktif dan korosif [10]. Hasil penelitian pendahuluan, menunjukkan bahwa sembilan dari sepuluh genus yang dominan dalam sampel biosolar B30 merupakan bakteri penghasil asam yang diduga menjadi penyebab penurunan kadar pH biosolar B30 selama masa penyimpanan. Genus Eubacteria merupakan bakteri penyebab korosi pada kondisi anaerob.

Berdasarkan permasalahan tersebut, pada penelitian ini dilakukan pengendalian korosi pada alumunium dan seng yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan tangki penyimpanan biosolar dengan menambahkan inhibitor anorganik berupa natrium fosfat dan natrium nitrit serta inhibitor organik berupa asam askorbat. Adapun kondisi lingkungan asam biosolar karena adanya aktifitas SRB yang menghasilkan sulfida dimodelkan dengan mengkorosikan logam menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi akhir 12%. Asam sulfat menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi pada logam dibanding asam klorida atau asam nitrat [11]. Natrium fosfat, natrium nitrit, dan asam askorbat memiliki gugus aktif yaitu anion negatif yang dapat melindungi logam dari korosi. Logam dan inhibitor tersebut dimasukkan pada media biosolar sehingga harapannya dengan adanya penelitian ini bisa mengatasi permasalahan pada tangki penampungan biosolar yang terkorosi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. PENYIAPAN SPESIMEN

Sampel logam alumunium dan seng dengan ukuran 20 mm x 20 mm dihaluskan permukaannya dengan amplas. Permukaan yang telah halus dicuci dengan aquadest. kemudian dikeringkan. Plat logam tersebut diukur dimensinya (panjang, lebar dan tebalnya) dan ditimbang sebagai bobot logam awal [12].

2.2. PEMBUATAN LARUTAN INHIBITOR

Pembuatan larutan inhibitor diawali dengan menimbang masing-masing inhibitor. Inhibitor korosi berupa Na_2PO_4 dan NaNO_2 menggunakan bahan kimia pro analis dengan kemurnian 99,95%, dan asam askorbat menggunakan bahan kimia teknis dengan kemurnian 90,27%, ketiga inhibitor tersebut dilarutkan homogen dalam biosolar sehingga diperoleh konsentrasi akhir masing-masing sebesar 25, 50, dan 75 ppm untuk dipergunakan pada pengujian selanjutnya.

2.3. PENGKOROSIAN SPESIMEN

Proses ini diawali dengan pembuatan larutan korosi yaitu larutan H_2SO_4 12%. Pembuatan larutan ini dengan mengencerkan larutan H_2SO_4 90% ke 12%, lalu memasukkan logam ke dalam wadah cup plastik dan menambahkan dengan larutan H_2SO_4 12% sebanyak 7 ml untuk masing-masing cup plastik dan menunggu proses korosi 3 hari. Proses pengkorosian ini digunakan untuk spesimen logam yang akan dimasukkan kedalam media biosolar yang ditambahkan inhibitor maupun yang tanpa menggunakan inhibitor.

2.4. PERENDAMAN SPESIMEN DALAM MEDIA BIOSOLAR

Logam dalam kondisi baru di masukkan ke dalam wadah cup plastik yang berisi biosolar dan diberi penambahan inhibitor dengan konsentrasi 25, 50, dan 75 ppm maupun tanpa penambahan inhibitor. Sedangkan logam yang sudah terkorosi di masukkan ke dalam wadah cup plastik yang berisi biosolar dan diberi penambahan inhibitor dengan konsentrasi 25, 50, dan 75 ppm maupun tanpa penambahan inhibitor. Kemudian pada hari ke-1, ke-4, ke-7, dan ke-10 dilakukan pengamatan dan penimbangan spesimen logam. Pengulangan dilakukan 5 kali setiap variabel percobaan.

2.5. PENENTUAN LAJU KOROSI

Laju korosi logam dihitung dengan menggunakan persamaan dalam menentukan kemampuan inhibisi suatu inhibitor korosi terhadap laju korosi logam secara kuantitatif menggunakan metode gravimetri, terlebih dahulu ditentukan laju korosi logam (V) dengan menggunakan persamaan berikut [13]:

$$V = \frac{(W_0 - W_1)}{A \times t} \quad (1)$$

dengan, W_0 = berat logam awal; W_1 = berat logam akhir; A = luas plat; t = waktu perendaman

2.6. PENENTUAN EFISIENSI KOROSI

Efisiensi inhibisi korosi ditentukan dengan menghitung selisih laju reaksi korosi tanpa inhibitor dan laju reaksi dengan adanya inhibitor. Efisiensi inhibisi dapat dihitung dengan rumus berikut ini [5]:

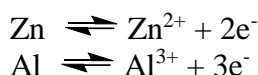
$$\% \text{ Efisiensi Inhibisi} = \frac{CR_0 - CR_i}{CR_0} \quad (2)$$

dengan CR_0 = laju korosi tanpa inhibitor; dan CR_i = laju korosi dengan adanya inhibitor

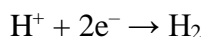
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 PENGKOROSIAN SPESIMEN

Untuk memodelkan tangki penyimpanan biosolar yang terkorosi, logam Al dan Zn direndam dalam H_2SO_4 12%. Setelah dikontakkan dengan media H_2SO_4 12%, mulai terbentuk lapisan produk korosi yang didistribusikan terlokalisasi secara acak (Gambar 1.) Logam Zn lebih mudah terkorosi daripada logam Al, hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian lain [11]. Selama korosi, setengah reaksi oksidasi terjadi pada logam yang menyebabkan berkurangnya massa logam dengan reaksi sebagai berikut[14]:

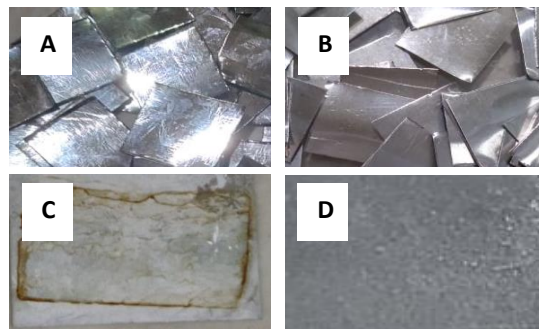


Adapun reaksi setengah reduksi dalam asam kuat adalah sebagai berikut[14]:



Lebih lanjut, sebagian ion logam membentuk oksida. Semua produk korosi pada logam aluminium terdiri dari Al dan O, sesuai dengan keberadaan Al_2O_3 , $AlOOH$ atau $Al(OH)_3$ [15], sedangkan produk korosi logam seng berupa lapisan kompleks yang tersusun atas ZnO dan $Zn(OH)_2$ [16]. Produk korosi berupa aluminium oksida (Al_2O_3) membentuk sebuah lapisan planar yang memiliki stabilitas tinggi [17] dan dapat melapisi permukaan logam hingga melindungi dari korosi lebih lanjut karena

memiliki sifat tahan korosi, dan tahan tekanan[18].



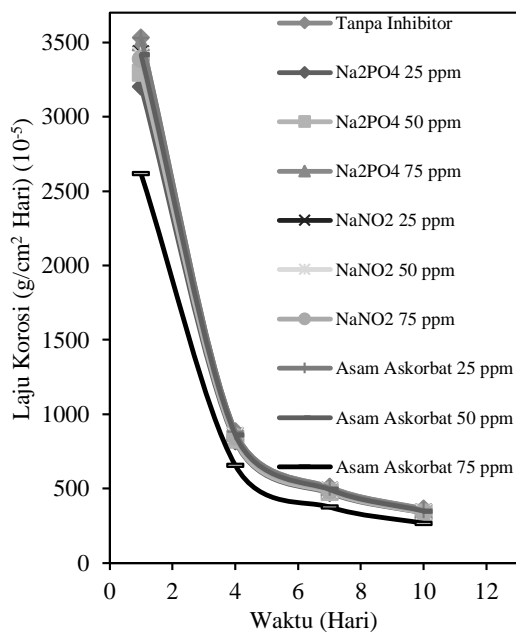
Gambar 1. Foto seng (A) dan aluminium (B) awal dan foto seng (C) dan aluminium (D) setelah mengalami korosi oleh H_2SO_4 12% .

3.2 PENGARUH INHIBITOR DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI ALUMINIUM DAN EFISIENSI INHIBISI

Gambar 2 menunjukkan laju korosi aluminium dalam media biosolar dengan penambahan inhibitor maupun tanpa penambahan inhibitor. Aluminium yang digunakan yaitu telah mengalami proses pengkorosian terlebih dahulu menggunakan H_2SO_4 12%. Laju korosi aluminium tanpa penambahan inhibitor memiliki nilai tertinggi dengan penurunan laju korosi yang terjadi secara signifikan dari waktu ke waktu, hal ini dibuktikan dengan uji one-sample test pada SPSS yang memiliki nilai signifikansi $> 0,05$ yaitu sebesar 0,173. Laju korosi cukup tinggi pada 4 hari pertama dilanjutkan laju korosi yang melambat. Hal ini menunjukkan bahwa inhibitor baru dapat bekerja dengan baik setelah hari ke-4. Dibutuhkan waktu agar inhibitor teradsorpsi atau menghasilkan film oksida logam pada permukaan aluminium untuk dapat menghambat laju korosi.

Penggunaan asam askorbat 75 ppm sebagai inhibitor mampu menurunkan laju korosi paling optimal dibanding natrium nitrit dan natrium fosfat. Hal ini dapat disebabkan oleh 2 hal, pertama asam askorbat dapat teradsorpsi pada permukaan logam sehingga menjadi penghalang terjadinya reaksi

oksidasi yang menyebabkan korosi alumunium terhambat. Kedua, asam askorbat mudah teroksidasi sehingga memberi proteksi logam yang dilapisinya tidak teroksidasi dan berkarat. Asam askorbat diketahui dapat membentuk kelat melalui gugus hidroksil dari cincin lakton, sehingga dapat teradsorpsi pada permukaan logam melalui pembentukan khelat stabil dengan ion Al-permukaan tak jenuh secara koordinatif [19]–[21]. Adapun ion nitrit dan posphat dapat menurunkan laju korosi karena dapat menghasilkan lapisan oksida yang menutupi permukaan logam sehingga menghambat korosi [22], [23].

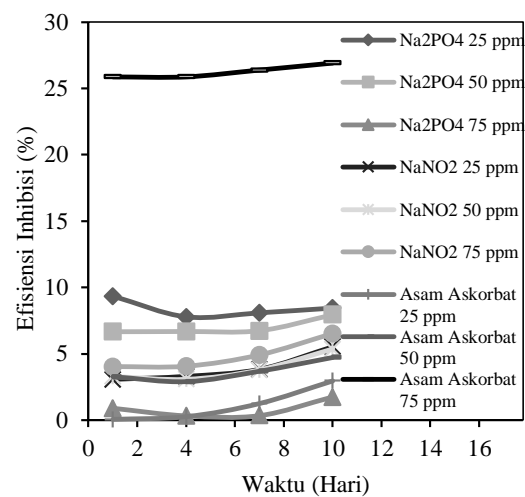


Gambar 2. Pengaruh waktu perendaman (hari) dan penambahan inhibitor terhadap laju korosi alumunium pada media biosolar.

Berdasarkan Gambar 3, penambahan asam askorbat 75 ppm memiliki nilai efisiensi inhibisi korosi alumunium yang paling tinggi pada perendaman hari ke-10 yaitu sebesar 26,92%, sedangkan natrium nitrit 75 ppm menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 6,53% dan natrium fosfat 75 ppm menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 1,743%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan konsentrasi yang sama, asam askorbat lebih

berpotensi sebagai inhibitor alumunium yang terendam dalam media biosolar dengan pH asam.

Penurunan laju korosi pada alumunium dengan penambahan asam askorbat 75 ppm ini terjadi secara signifikan dari waktu ke waktu, hal ini dibuktikan dengan uji one-sample test pada SPSS yang memiliki nilai signifikansi > 0,05 yaitu sebesar 0,174. Sedangkan peningkatan konsentrasi pada natrium pospat dan natrium nitrit tidak mempengaruhi peningkatan nilai efisiensi inhibitor secara signifikan.

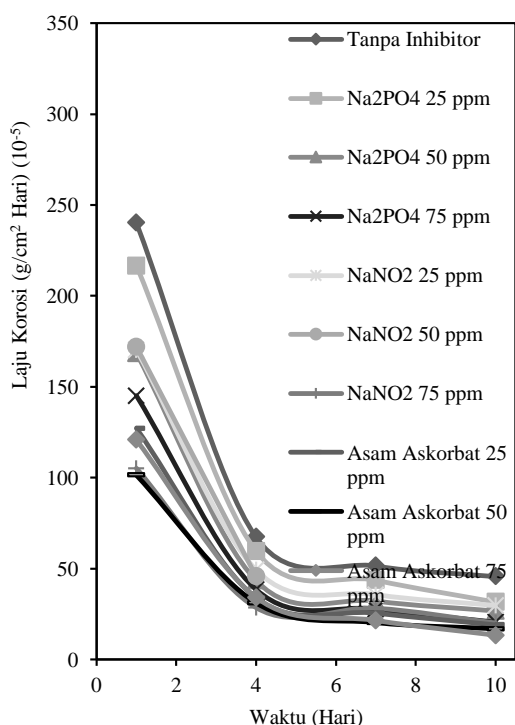


Gambar 3. Pengaruh waktu perendaman (hari) dan penambahan inhibitor terhadap efisiensi inhibisi alumunium pada media biosolar

3.3 PENGARUH INHIBITOR DAN WAKTU PERENDAMAN TERHADAP LAJU KOROSI SENG DAN EFISIENSI INHIBISI

Gambar 4 menunjukkan laju korosi seng dalam media biosolar dengan penambahan inhibitor maupun tanpa penambahan inhibitor. Seng yang digunakan yaitu telah mengalami proses pengkorosian terlebih dahulu menggunakan H₂SO₄ 12%. Laju korosi seng tanpa penambahan inhibitor memiliki nilai yang tinggi dan menurun seiring berjalannya waktu. Penurunan laju korosi seng tanpa penambahan inhibitor ini terjadi secara signifikan dari waktu ke waktu,

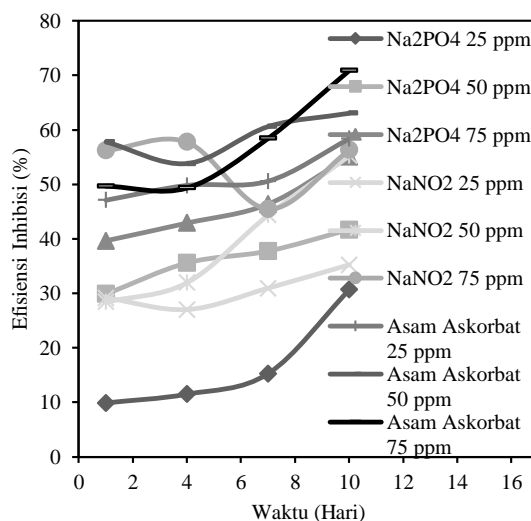
hal ini dibuktikan dengan uji one-sample test pada SPSS yang memiliki nilai signifikansi > 0,05 yaitu sebesar 0,118. Jika dilihat dari kemiringan garis waktu perendam seng (hari) dengan konsentrasi inhibitor yang lebih besar dibandingkan dengan kemiringan garis tanpa inhibitor, menunjukkan adanya penambahan inhibitor dalam media biosolar mampu menurunkan laju korosi yang terjadi pada seng.



Gambar 4. Pengaruh waktu perendaman (hari) dan penambahan inhibitor terhadap laju korosi seng pada media biosolar.

Berdasarkan Gambar 5 asam askorbat 75 ppm mampu menurunkan laju korosi paling banyak dengan nilai efisiensi inhibisi yang paling tinggi pada perendaman hari ke-10 yaitu 70,90%, sedangkan natrium nitrit 75 ppm menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 56,29% dan natrium fosfat 75 ppm menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 55,04%. Penurunan laju korosi seng dengan penambahan inhibitor asam askorbat 75 ppm ini terjadi secara signifikan dari waktu ke waktu, hal ini dibuktikan dengan uji one-sample test pada SPSS yang memiliki nilai signifikansi > 0,05 yaitu sebesar 0,153.

Asam askorbat 75 ppm mampu menurunkan laju korosi pada seng secara optimal karena asam askorbat dalam konsentrasi ini sudah teradsorpsi secara sempurna di permukaan seng dalam kurun waktu 10 hari dalam lingkungan korosif berupa biosolar. Pada konsentrasi tersebut asam askorbat sudah teradsorpsi secara sempurna di permukaan aluminium melalui ikatan logam heteroatom yaitu berupa oksigen dan karbon yang memiliki ikatan rangkap. Ikatan ini memiliki sifat mudah terputus pada reaksi kimia dan membuat lingkungan menjadi basa sehingga dapat menghambat bakteri untuk mereduksi asam yang berada pada lingkungannya yang mengakibatkan menurunnya laju korosi.



Gambar 5. Pengaruh waktu perendaman (hari) dan penambahan inhibitor terhadap efisiensi inhibisi seng pada media biosolar

4. KESIMPULAN

Inhibitor terbaik dalam media biosolar pada aluminium dan pada seng yaitu asam askorbat 75 ppm. Sebaiknya penelitian ini dilanjutkan dengan menganalisa komposisi biosolar (B30) yang berada pada tangki penyimpanan. Sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan inhibitor terhadap komposisi biosolar yang disimpan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari dana DIPA penelitian kerjasama industri Politeknik

Negeri Malang Nomor SP DIPA 023.18.2.677606/2021 dengan Surat Perjanjian No : 5478/PL2.1/HK/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Yanuar, H. Pratikno, H. S. Titah, Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan, *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, hal. 8–13, 2017.
- [2] S. T. Suparman, R. Magga, M. Zuchry, Laju Korosi Pada Stainless Steel Dalam Media Peralite, *J. Mek.*, vol. 10, no. 1, hal. 948–954, 2019.
- [3] D. S. Rahayu, M. Joko Puspito, Kajian Analisis Pertumbuhan Bakteri Penyebab Bio-Korosi Di Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas, *Semin. Nas. Teknol. Pengelolaan Limbah XV tahun 2017*, hal. 215–222, 2017.
- [4] D. Sari, S. Handani, Y. Yetri, Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 Dalam Medium Asam Klorida Dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Camelia Sinensis*), *J. Fis. Unand*, vol. 2, no. 3, hal. 204–211, 2013.
- [5] S. Utomo, Pengaruh Konsentrasi Larutan NaNO₂ sebagai Inhibitor terhadap Laju Korosi Besi dalam Media Air Laut, *J. Teknol.*, vol. 7, no. March, hal. 93–103, 2015.
- [6] M. F. Sidiq, Analisa Pengendalian Laju Korosi pada Pipa Minyak Bumi Lepas Pantai, *Sains dan Teknol.*, vol. X, no. 1, hal. 1–12, 2011.
- [7] A. Nikitasari, M. S. Anwar, Sundjono, Evaluasi Inhibitor Sodium Nitrit Di Dalam Larutan Beton Sintetis, *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 16, no. 1, hal. 12–18, 2014.
- [8] D. S. Fardhyanti, Uji Efektivitas Natrium Fosfat sebagai Inhibitor pada Korosi Baja Tulangan Beton, *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 7, no. 2, hal. 28–34, 2004.
- [9] S. Robiati, Pengaruh Konsentrasi Asam Askorbat (Vitamin C) Sebagai Inhibitor Korosi pada Baja Karbon dalam Lingkungan yang Mengandung Klorida menggunakan Metode Immersi, Skripsi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2011.
- [10] G. Muyzer, A. J. M. Stams, The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria, *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 6, no. 6, hal. 441–454, 2008.
- [11] F. T. Owoeye, O. R. Adetunji, A. Omotosho, A. P. Azodo, P. O. Aiyedun, Investigation of corrosion performance of aluminum and zinc alloys in three acidic media, *Eng. Reports*, vol. 2, no. 1, hal. 1–12, 2020.
- [12] P. N. Aripin, I. Purnawan, Pengaruh Waktu Perendaman Ekstrak Kopi untuk Menginhibisi Korosi pada Besi, *Konversi*, vol. 4, no. 1, hal. 17–24, 2015.
- [13] F. A. Zahra, B. Aliyah, L. O. Nurhadi, Ekstrak Kafein Ampas Kopi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Murni Dalam, in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2019, vol. 002, no. 2019, hal. 1–9.
- [14] E. E. Stansbury, R. A. Buchanan, *Fundamentals of electrochemical corrosion*. ASM International, 2000.
- [15] D. de la Fuente, E. Otero-Huerta, M. Morcillo, Studies of long-term weathering of aluminium in the atmosphere, *Corros. Sci.*, vol. 49, no. 7, hal. 3134–3148, 2007.

- [16] S. Huang, W. Wu, Y. Su, L. Qiao, Y. Yan, Insight into the corrosion behaviour and degradation mechanism of pure zinc in simulated body fluid, *Corros. Sci.*, vol. 178, hal. 109071, 2021.
- [17] T. T. Song, M. Yang, J. W. Chai, M. Callsen, J. Zhou, T. Yang, Z. Zhang, J. S. Pan, D. Z. Chi, Y. P. Feng, S. J. Wang, The stability of aluminium oxide monolayer and its interface with two-dimensional materials, *Sci. Rep.*, vol. 6, no. March, hal. 1–9, 2016.
- [18] A. Ehsani, M. G. Mahjani, M. Nasser, M. Jafarian, Influence of electrosynthesis conditions and Al₂O₃ nanoparticles on corrosion protection effect of polypyrrole films, *Anti-Corrosion Methods Mater.*, vol. 61, no. 3, hal. 146–152, 2014.
- [19] J. Xu, R. B. Jordan, Kinetics and mechanism of the reaction of aqueous iron(III) with ascorbic acid, *Inorg. Chem.*, vol. 29, no. 21, hal. 4180–4184, 2002.
- [20] B. Bänisch, P. Martinez, D. Uribe, J. Zuluaga, R. van Eldik, Is the oxidation of L-ascorbic acid by aquated iron(III) ions in acidic aqueous solution substitution- or electron-transfer-controlled? A combined chloride, pH, temperature, and pressure dependence study, *Inorg. Chem.*, vol. 30, no. 24, hal. 4555–4559, 2002.
- [21] A. E. Martell, "Chelates of Ascorbic Acid", in *Ascorbic Acid: Chemistry, Metabolism, and Uses*, American Chemical Society, 1982, hal. 153–178.
- [22] M. Murmu, S. K. Saha, N. C. Murmu, P. Banerjee, "Nitrate as corrosion inhibitor" in *Inorganic Anticorrosive Material*, Elsevier, 2022, hal. 269–296, 2022.
- [23] L. Yohai, M. B. Valcarce, M. Vázquez, Testing phosphate ions as corrosion inhibitors for construction steel in mortars, *Electrochim. Acta*, vol. 202, hal. 316–324, 2016.