

ANALISIS LAJU KOROSI MATERIAL AA7050 DI LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN PENAMBAHAN INHIBITOR Na₂WO₄

Anita Susiana¹, M.N Ilman²

¹Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I.Yogyakarta 55281

²Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2, Yogyakarta 55281

¹Email: anita@itny.ac.id

Abstrak

Aluminium merupakan salah satu logam ringan yang paling banyak digunakan di dunia industri termasuk industri pesawat terbang saat ini karena beberapa keunggulan diantaranya memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, mempunyai sifat mampu bentuk (formability) yang baik, bersifat non magnetik serta tahan terhadap korosi. Aluminium merupakan logam yang sangat aktif, karena apabila berada di lingkungan yang mengandung oksigen, akan bereaksi untuk membentuk lapisan tipis oksida transparan diseluruh permukaannya yang terbuka. Selaput inilah yang mengendalikan laju korosi dan melindungi logam dibawahnya. Oleh karena itu, komponen-komponen yang terbuat dari aluminium dan paduan-paduannya biasanya memiliki umur yang panjang. Tetapi, jika selaput ini rusak dan tidak dapat dipulihkan lagi, korosi logam akan terjadi dengan cepat termasuk logam aluminium paduan 7050. Penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk melindungi logam dari korosi. Inhibitor ditambahkan untuk mengurangi reaksi antarmuka logam dengan lingkungan, dimana terbentuk lapisan pasif yang menghambat laju pertukaran ion-ion pada logam.

Metode penelitian uji laju korosi menggunakan metode polarisasi potensiodinamik dilingkungan 3,5% NaCl. Jenis Inhibitor yang digunakan adalah inhibitor anorganik Na₂WO₄ dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7%. Pengujian material yang dilakukan sebagai data penunjang meliputi uji komposisi, uji tarik, uji kekerasan dan uji struktur mikro.

Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa konsentrasi optimal inhibitor untuk material aluminium paduan 7050 dilingkungan 3,5% NaCl yaitu pada konsentrasi 0,3% Na₂WO₄ dengan angka laju korosi sebesar 0,28 mpy. Angka ini lebih rendah jika dibandingkan dengan spesimen uji korosi tanpa menggunakan inhibitor yaitu sebesar 2,42 mpy. Penurunan laju korosi terjadi karena adanya inhibitor yang ditambahkan untuk mengurangi reaksi antarmuka logam dengan lingkungan. Terjadinya penurunan angka laju korosi menunjukkan adanya pergeseran ke arah positif yang berarti terjadi proses adsorpsi dan terbentuk lapisan pelindung pada permukaan logam sehingga proses oksidasi dapat ditahan. Penurunan laju korosi terjadi karena adanya inhibitor yang ditambahkan untuk mengurangi reaksi antarmuka logam dengan lingkungan.

Kata kunci: Aluminium 7050, pesawat, korosi, inhibitor, Na₂WO₄

Abstract

Aluminum is one of the light metals that are most widely used in the industrial world including the aircraft industry today because of several advantages of having relatively high strength, good formability, both nonmagnetic and corrosion's resistant. Aluminum is a very active metal because it is stored in an oxygen-containing environment, making it easy to form a thin layer of transparent oxide on its exposed surface. It is this membrane that controls the rate of corrosion and protects the metal underneath. Therefore, components made of aluminum and its alloys have a long life. However, if this membrane is damaged and cannot be recovered again, metal corrosion will occur quickly including 7050 aluminum alloy metal. The use of inhibitors is one way that can be used to use metals from corrosion. Inhibitors are added to reduce reactions between metals and the environment when they are formed.

The research method of corrosion rate testing uses the potentiodynamic polarization method in the environment of 3.5% NaCl. The type of inhibitors used are inorganic Na₂WO₄ inhibitors with various concentrations of 0.1%, 0.3%, 0.5% and 0.7%. Material testing is performed as a support for composition test data, tensile testing, and microstructure testing.

The results of this study prove that the optimal inhibitor concentration for 7050 aluminum alloy material in a 3.5% NaCl environment is at a concentration of 0.3% Na₂WO₄ with a corrosion rate of

0.28 mpy. This value is lower than the correlation test specimens without using inhibitors of 2.42 mpy. The decrease in speed occurs due to the presence of inhibitors added to reduce reactions in metals with the environment. There is a reduction in the number of corrective movements in the positive direction which means an adsorption process and a protective layer is formed on the metal surface so that the oxidation process can be improved. The decrease in speed occurs due to the presence of inhibitors added to reduce reactions in metals with the environment.

Keywords: Aluminum 7050, aircraft, corrosion, inhibitors, Na₂WO₄

1. Pendahuluan

Memilih material yang tepat adalah bagian penting dari hampir semua perancangan. Semakin banyak material maka semakin banyak informasi yang kita dapatkan termasuk material Aluminium. Aluminium merupakan logam ringan dengan berat jenis sebesar 2,7 g/cm³. Aluminium adalah salah satu material yang paling banyak digunakan saat ini karena beberapa keunggulan diantaranya memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, bersifat non magnetik serta tahan terhadap korosi. Kekuatan aluminium dapat ditingkatkan dengan cara diberi unsur paduan (*alloying element*) dan perlakuan panas (*heat treatment*) sehingga membuat aluminium menjadi pilihan di dunia industri termasuk industri pesawat terbang.

Aluminium dan paduannya terus menerus berkembang terutama dibidang transportasi, bangunan, listrik dan pengemasan. Aluminium seri 7xxx merupakan paduan Al-Zn dengan kadar Zn sebesar 3-7% dan merupakan aluminium paduan yang sifat mekanisnya bisa ditingkatkan melalui perlakuan panas (*heat treatable*). Aluminium paduan seri 7xxx biasanya digunakan untuk industri pesawat terbang karena menawarkan kompromi yang baik antara kekuatan, toleransi kerusakan (*damage tolerance*) dan ketahanan korosi Marlaud dkk [1]. Aplikasi aluminium seri 7xxx pada industri pesawat seperti pada *fuselage (skin)*, *empennage (tail)*, dan *wing upper skin* [2]. Salah satu aluminium paduan seri 7xxx adalah 7050.

Aluminium merupakan logam yang sangat aktif, karena apabila berada di lingkungan yang mengandung oksigen, akan bereaksi untuk membentuk lapisan tipis oksida transparan diseluruh permukaannya yang terbuka. Selaput inilah yang mengendalikan laju korosi dan melindungi logam dibawahnya. Oleh karena itu, komponen-komponen yang terbuat dari aluminium dan paduan-paduannya biasanya memiliki umur yang panjang. Tetapi, jika selaput ini rusak dan tidak dapat dipulihkan lagi, korosi logam akan terjadi dengan cepat.

Korosi didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya [3]. Korosi berlangsung ketika logam bereaksi dengan udara lembab, larutan asam lemah atau larutan garam yang akhirnya mengakibatkan kebocoran pada material. Pada keadaan praktis serangan korosi tidak dapat dicegah, tetapi hanya bisa dikendalikan sehingga struktur atau komponen memiliki umur pakai yang panjang.

Penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk melindungi logam dari korosi. Inhibitor adalah zat kimia yang apabila ditambahkan/dimasukkan dalam jumlah sedikit kedalam zat koroden (lingkungan yang korosif), dapat secara efektif memperlambat atau mengurangi laju korosi yang terjadi [4]. Inhibitor ditambahkan untuk mengurangi reaksi antarmuka logam dengan lingkungan, dimana terbentuk lapisan pasif yang menghambat laju pertukaran ion-ion pada logam. Pada penelitian ini, inhibitor digunakan untuk menghambat laju korosi pada material aluminium paduan 7050 di lingkungan 3,5% NaCl.

Abedin [5] melakukan penelitian tentang pengaruh anion CrO₄²⁻, MoO₄²⁻, dan WO₄²⁻ untuk mencegah korosi aluminium dalam larutan 0,5M NaCl menggunakan polarisasi potensiostatik dan pengukuran potensiostatik arus-waktu yang dilengkapi dengan SEM, EDAX dan XPS. Anion kromat mampu mengoksidasi tempat yang korosi dan memberikan lapisan film Al₂O₃ yang stabil. Penambahan anion molibdat dapat membentuk lapisan molibdat yang secara selektif menghambat masuknya ion Cl⁻ dan menghambat serangan *pitting*. Penelitian yang dilakukan oleh Ilman [6] menunjukkan bahwa penambahan inhibitor kromat 0,1 % hingga 0,5% dalam larutan 3,5% NaCl menurunkan laju korosi dan meningkatkan kapasitan pada AA 2024-T3. Ion-ion kromat secara efektif mencegah EAFCP (*Environmentally Assisted Fatigue Crack Propagation*) dalam larutan 3,5% NaCl karena pembentukan lapisan pasif yang bertindak sebagai penghalang difusi hidrogen ke ujung retak sehingga mengurangi kerapuhan hidrogen. Penambahan konsentrasi inhibitor kromat meningkatkan kapasitan AA 2024-T3 dan menurunkan EAFCP. Sementara Li dkk [7] mengatakan bahwa inhibitor sodium molibdat (Na₂MoO₄) merupakan inhibitor yang baik untuk korosi aluminium pada larutan H₃PO₄ 1,0 M. Efisiensi inhibitor meningkat dengan adanya peningkatan konsentrasi inhibitor dan efisiensi maksimum diperoleh dari

metode kehilangan berat yaitu lebih tinggi dari 91% pada 20mM. Sodium molibdat bertindak sebagai inhibitor anodik. Penelitian yang dilakukan oleh Sharma dkk [8] menjelaskan jika penambahan jumlah kecil tungstate bersama dengan molibdat meningkatkan stabilitas film jangka panjang pada baja ringan. Efek penghambatan menurun dengan peningkatan konsentrasi hingga 0,1 M dan jauh lebih meningkat pada konsentrasi 0,3 M dan 0,6 M. Deaerasi negatif mempengaruhi sifat film dan tidak membentuk film yang stabil. Deaerasi mengurangi efisiensi inhibisi dari molibdat. Ion klorida dalam jumlah kecil mungkin menguntungkan untuk meningkatkan efisiensi inhibisi molibdat untuk baja.

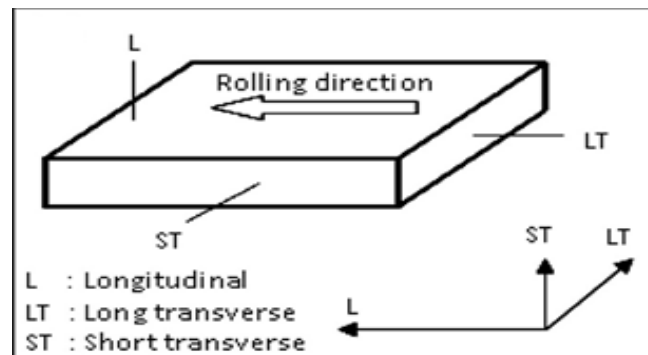
2. Metode Penelitian

2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah AA 7050.

2.2 Struktur mikro

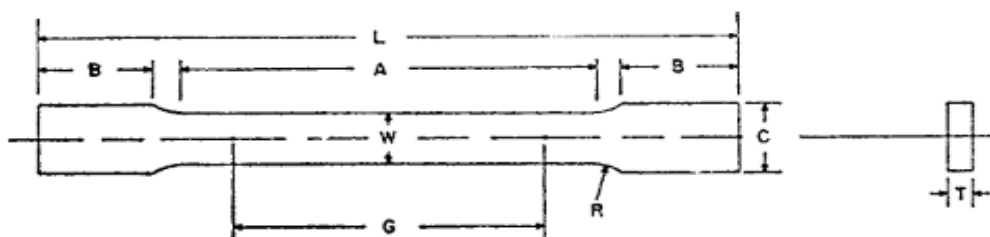
Uji struktur mikro dilakukan untuk melihat struktur mikro spesimen penelitian. Alat yang digunakan untuk mengamati struktur mikro spesimen adalah mikroskop optik. Pengamatan dilakukan pada tiga bidang yaitu bidang permukaan, bidang melintang dan bidang membujur (Gambar 1). Sebelum diuji spesimen terlebih dahulu dipoles hingga benar benar halus menggunakan autosol kemudian baru dietsa dengan *Keller's reagent* (1 ml HF + 1,5 ml HCl + 2,5 ml HNO₃ dan 95 ml H₂O) selama 10 – 20 detik agar batas butir bisa terlihat..



Gambar 1. Posisi spesimen AA 7050 untuk uji struktur mikro dan kekerasan pada tiga arah bidang

2.3 Pengujian Tarik

Spesimen uji tarik pada penelitian ini mengacu pada ASTM E8M [9]. Uji tarik yang dilakukan menggunakan mesin uji tarik untuk mengetahui sifat mekanis material. Dari pengujian akan diperoleh grafik *yield stress* (tegangan luluh) dan *ultimate tensile stress* (tegangan tarik maksimum). Dari hasil uji tarik ini kita bisa mengetahui seberapa besar tegangan dan regangan yang terjadi pada material. Uji tarik yang dilakukan menggunakan alat dengan merk *Servopulser*.



Gambar 2. Spesimen uji tarik (ASTM E8M) [9]

Untuk tegangan dan regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2)$$

dimana: σ : tegangan tarik (N/mm²), ε : regangan (%), F: beban (N), A₀: luas penampang (mm²), L: panjang setelah ditarik (mm), L₀: panjang mula-mula (mm).

2.4 Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan masing-masing permukaan material. Uji kekerasan dilakukan pada permukaan, arah melintang dan membujur pada permukaan spesimen (Gambar 1) dengan menggunakan *Beuhler microhardenes tester* dengan metode *Vickers*.

$$\text{VHN} = 1,854 \frac{P}{D^2} \quad (3)$$

$$D = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (4)$$

dimana VHN: angka kekerasan *Vickers* (kg/mm²), P: beban (Kg), D: diagonal injakan rata-rata (mm)

2.5 Pengujian Korosi

Uji korosi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar laju korosi yang terjadi pada material. Uji korosi ini menggunakan sel tiga elektroda yang dihubungkan dengan potensiostat/Galvanostat Model 273, merk: *EG & G Princeton Applied Research* (Gambar 3) dan seperangkat komputer sebagai pengolah data. Elektroda kerja yang diukur laju korosinya adalah spesimen aluminium paduan 7050. Elektroda acuan yang digunakan pada pengujian sel elektrokimia adalah elektroda kalomel jenuh. Antara elektroda kerja dan elektroda acuan diberi tegangan, sehingga mempercepat terjadinya korosi. Saat terjadi korosi, arus dihasilkan dari elektroda kerja yang kemudian akan dialirkan ke luar larutan oleh elektroda pembantu yang terbuat dari karbon. Arus yang dialirkan ini akan terukur oleh potensiostat, maka laju korosi pada spesimen dapat dihitung dan disajikan dalam bentuk tabel plot.

Laju korosi (*corrosion rate*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{CR (corrosion rate)} = 0,129 \frac{(EW)i_{\text{corr}}}{D} \quad (5)$$

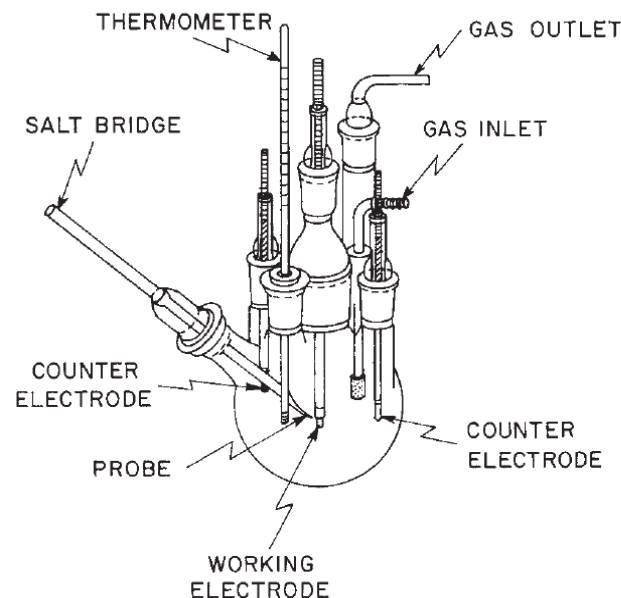
dimana i_{corr} : rapat arus korosi ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$), D : berat jenis (gr/cm^3) dan EW adalah berat ekuivalen yang ditentukan dengan persamaan (Jones, 1992) :

$$EW = (N_{\text{eq}})^{-1} \quad (6)$$

dimana N_{eq} adalah bilangan ekuivalen yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$N_{\text{eq}} = \sum \left[\frac{\omega_i}{a_i / n_i} \right] n_i = \sum \left[\frac{\omega_i \cdot n_i}{a_i} \right] \quad (7)$$

dimana ω_i , a_i , n_i masing-masing adalah fraksi berat, massa atom unsur dan jumlah elektron valensi.



Gambar 3. Instrumen pengujian untuk polarisasi sel potensial tiga elektroda

3. Hasil dan Analisis

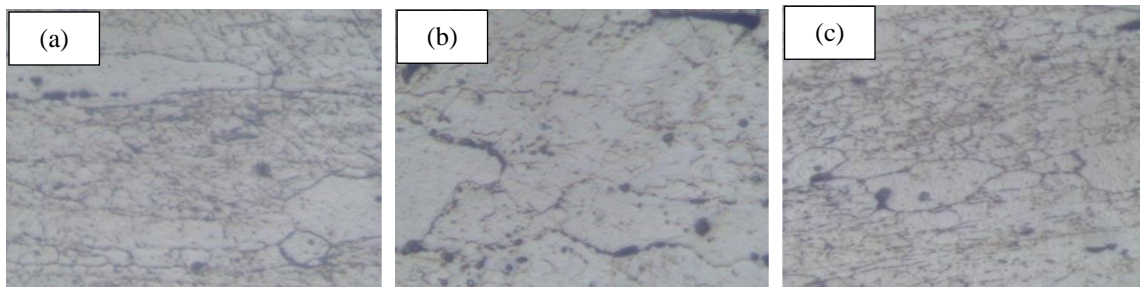
3.1 Karakterisasi Material

Spesimen uji pada penelitian ini menggunakan aluminium paduan 7050. Uji komposisi yang dilakukan pada spesimen uji AA 7050 menggunakan alat *atomic adsorption spectroscopy* (AAS) yang bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung di dalam spesimen uji. Hasil uji komposisi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia AA 7050 (wt %)

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Sampel Uji	0,06	0,09	1,93	0,007	2,0	0,005	8,29	0,03	87,5
Standar	0,12	0,15	2,0–2,6	0,10	1,9–2,6	0,04	5,7–6,7	0,06	87,3–90,3

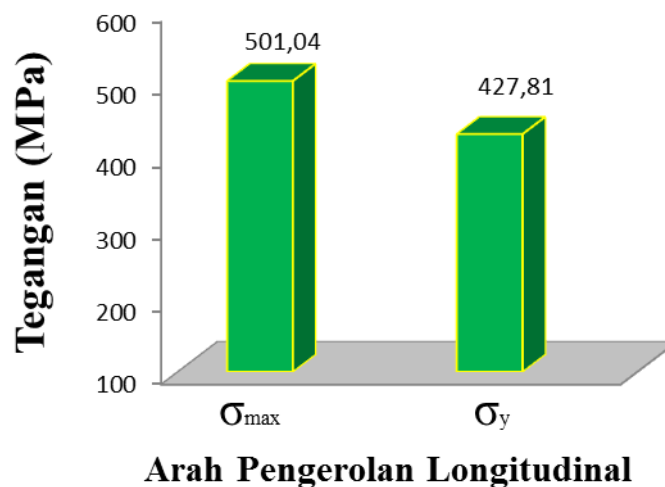
Pada spesimen uji AA 7050 dilakukan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik dan pengamatan dilakukan pada tiga arah bidang yaitu arah *longitudinal* (L), *long transverse* (LT) dan *short transvers* (ST) seperti yang terlihat pada Gambar 4. Pada spesimen uji dilakukan persiapan spesimen yang mengikuti prosedur metalografi standar meliputi proses *grinding*, *polishing* dan etsa menggunakan *Keller reagent* (1 ml HF + 1,5 ml HCl + 2,5 ml HNO₃ dan 95 ml H₂O).



Gambar 4. Foto struktur mikro AA 7050 diambil pada arah bidang
a. *longitudinal* (L), b. *long transverse* (LT), dan
c. *short transverse* (ST)

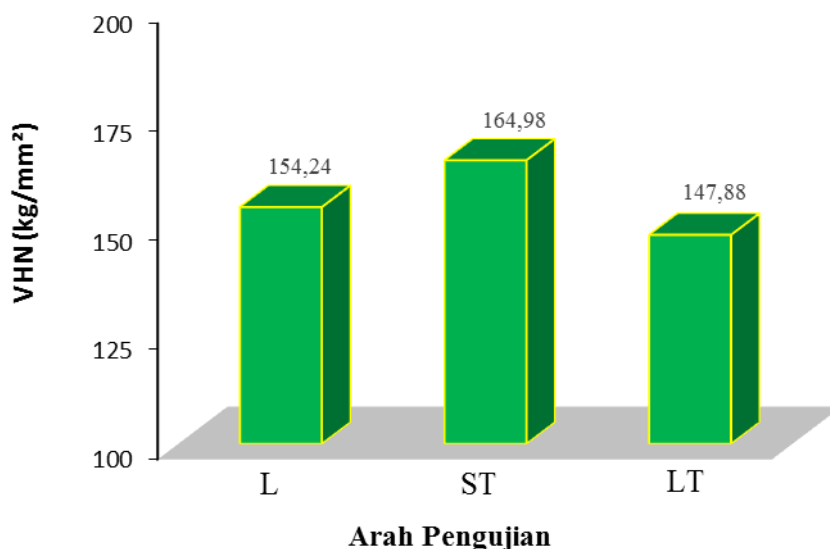
Gambar 4 memperlihatkan bentuk struktur mikro dari spesimen uji AA 7050 pada arah bidang *longitudinal* (L), *long transverse* (LT) dan *short transverse* (ST). Dari gambar terlihat bahwa material AA 7050 memiliki bentuk butir yang memanjang dan sejajar dengan arah pengerolan. Terbentuknya butir yang memanjang ini terjadi akibat adanya deformasi selama proses pengerolan.

Uji tarik yang dilakukan pada spesimen uji AA 7050 searah dengan arah pengerolan yaitu pada arah *longitudinal* (L). Hasil pengukuran yang diperoleh dari pengujian untuk nilai tegangan tarik maksimum (σ_u) sebesar 501,4 MPa dan untuk tegangan luluh (σ_y) sebesar 427,81 MPa. Angka ini masih dalam batas standar yang diijinkan untuk material AA 7050 yaitu 524 MPa untuk tegangan tarik maksimumnya dan 469 Mpa untuk tegangan luluhnya. Jika unsur Cu dan Mg dalam persentase yang kecil ditambahkan dengan unsur Zn dapat meningkatkan sifat mekanik material karena terbentuknya fasa presipitat CuAl₂ dan MgZn₂. Hasil uji tarik spesimen uji AA 7050 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian tarik material AA 7050

Pengujian kekerasan pada material AA 7050 dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan masing-masing permukaan material pada tiga arah bidang yaitu arah *longitudinal* (L), *long transverse* (LT) dan *short transverse* (ST) dengan menggunakan *Beuhler microhardenes tester* dengan metode *Vickers*. Hasil pengujian kekerasan spesimen uji pada tiga bidang permukaan material dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian kekerasan material AA 7050

Angka kekerasan VHN pada spesimen uji material AA 7050 untuk arah bidang *longitudinal* (L), *short transverse* (ST) dan *long transvers* (LT) dapat dilihat pada Gambar 6 terlihat bahwa angka kekerasan *longitudinal* (L) dan *short transverse* (ST) memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan arah bidang *long transverse* (LT). Hal ini disebabkan oleh proses pengerolan pada material sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan kerapatan dislokasi (*density dislocation*) yang mengakibatkan terjadinya pengerasan regangan (*strain hardening*) pada spesimen uji AA 7050.

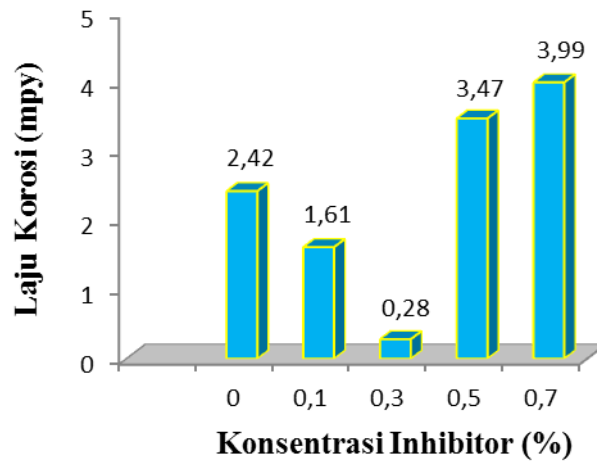
3.2 Analisis Laju Korosi

Pengujian korosi menggunakan metode polarisasi potensiodinamik dalam media 3,5% NaCl yang ditambahkan dengan inhibitor Na₂WO₄ dengan variasi konsentrasi inhibitor 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7%. Hasil uji korosi spesimen uji material AA 7050 dengan dan tanpa menggunakan inhibitor dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan uji laju korosi AA 7075

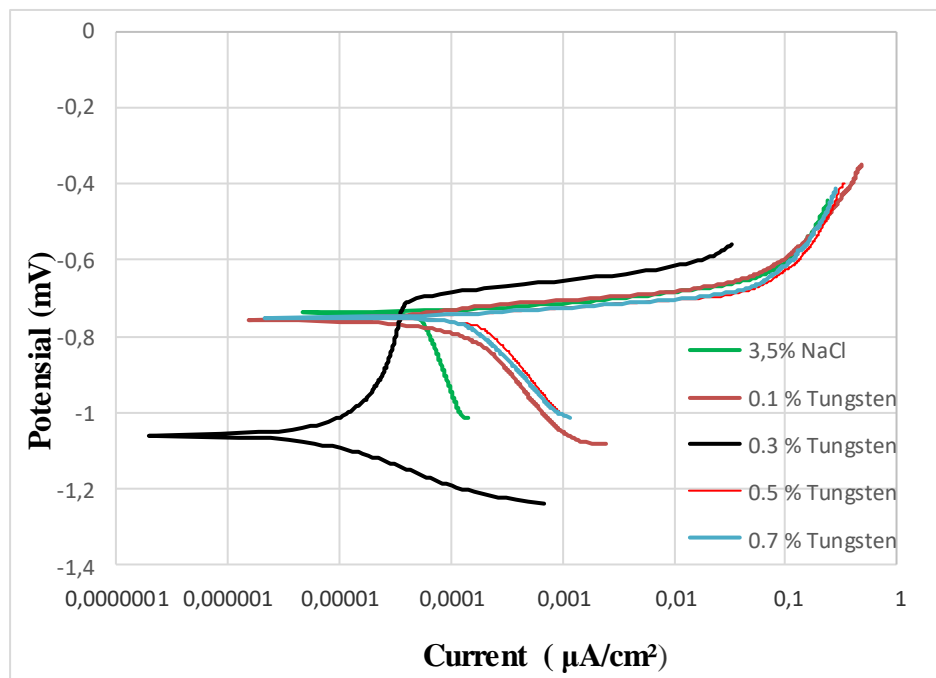
Jenis Larutan	Potential (mV)	I corr (μA)	Laju Korosi (mpy)	mm/year
3,5% NaCl	-737,32	56,39	2,425	0,061
3,5% NaCl + 0,1% Na ₂ WO ₄	-756,33	37,37	1,607	0,040
3,5% NaCl + 0,3% Na ₂ WO ₄	-1,06	6,49	0,279	0,007
3,5% NaCl + 0,5% Na ₂ WO ₄	-750,51	80,70	3,470	0,088
3,5% NaCl + 0,7% Na ₂ WO ₄	-749,28	92,90	3,994	0,101

Dari hasil pengujian korosi yang ditunjukkan pada Tabel 2 terlihat bahwa konsentrasi optimal untuk inhibitor dicapai pada konsentrasi 0,3 % Na₂WO₄ yaitu sebesar 0,279 mpy. Laju korosi ini lebih rendah bila dibandingkan dengan laju korosi pada spesimen uji tanpa menggunakan inhibitor yaitu sebesar 2,425 mpy.



Gambar 7. Pengaruh Inhibitor terhadap laju korosi

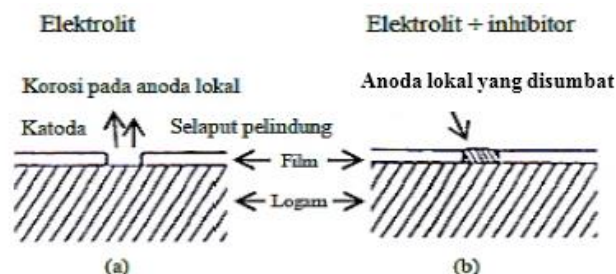
Konsentrasi inhibitor 0,3% merupakan konsentrasi optimal yang dicapai dengan angka laju korosi sebesar 0,28 mpy seperti yang terlihat pada Gambar 7. Angka ini lebih rendah jika dibandingkan dengan spesimen uji korosi tanpa menggunakan inhibitor yaitu sebesar 2,42 mpy. Dari data terlihat jika terjadi penurunan laju korosi sebesar 88,43%. Penurunan laju korosi terjadi karena adanya inhibitor yang ditambahkan untuk mengurangi reaksi antarmuka logam dengan lingkungan. Penambahan inhibitor menyebabkan terbentuknya lapisan pasif yang menghambat laju pertukaran ion-ion pada logam. Perlindungan secara optimal dapat dilakukan jika konsentrasi inhibitor melebihi harga kritis tertentu. Jika konsentrasi inhibitor berada dibawah harga kritis maka laju korosi akan meningkat. Menurut Revie [10], Konsentrasi kritis untuk WO_4^{2-} sekitar 10^{-3} sampai 10^{-4} M. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa laju korosi pada spesimen akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor. Ini berarti konsentrasi inhibitor diatas 0,1 % berada dibawah harga kritis.



Gambar 8. Hasil uji korosi menggunakan polarisasi potensiodinamik (Tafel plot)

Pada Gambar 8 terlihat bahwa ada pemasifan yang terjadi pada spesimen uji dimana nilai E_{corr} pada larutan 3,5% NaC + 0,1% tungsten sebesar -734,462 mV lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai

E_{corr} larutan 3,5% NaCl yaitu sebesar -738,519 mV. Terjadinya penurunan angka ini menunjukkan adanya pergeseran ke arah positif yang berarti terjadi proses adsorpsi dan terbentuk lapisan pelindung pada permukaan logam sehingga proses oksidasi dapat ditahan. Pengendalian korosi dengan penggunaan inhibitor pada permukaan logam terjadi dengan cara membentuk lapisan *film* pada permukaan logam atau lingkungan.



Gambar 9. Efek Konsentrasi Terhadap Inhibitor Anodik

Pada penelitian ini menggunakan inhibitor anodik dimana inhibitor ini biasanya digunakan pada larutan yang mendekati netral. Produk korosi yang dapat larut seperti oksida, hidroksida atau garam membentuk lapisan tipis pasif yang menghambat terputusnya reaksi anodik logam seperti yang terlihat pada Gambar 9. Inhibitor anodik akan meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Inhibitor anodik ini disebut juga dengan inhibitor pemasif.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu :

- Inhibitor jenis Na_2WO_4 yang ditambahkan ke dalam larutan 3,5% NaCl dapat menurunkan laju korosi material AA 7050.
- Konsentrasi optimal inhibitor diperoleh pada konsentrasi 0,3 % Na_2WO_4 dengan laju korosi sebesar 0,28 mpy. Angka ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan spesimen tanpa inhibitor yaitu sebesar 2,42 mpy.

Daftar Pustaka

- Marlaud, T., Malki, B., Henon, C., Deschamps, A., and Baroux, B., 2011, *Relationship Between Alloy Composition Microstructure and Exfoliation Corrosion in Al-Zn-Mg-Cu Alloys*, Corrosion Science 53 (2011)3139-3149.
- Polmear, I. J., 1995. *Light Alloys: Metallurgy of The Light Metals*, Butterworth-Heinemann: Oxford.
- Trethewey, K.R., Chamberlain, J., 1991, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT. Gramedia Pustaka utama, Jakarta.
- Widharto, S., 2001, *Karat dan Pencegahannya*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Abedin, S.Z.E., 2001, *Role of Chromate, Molybdate and Tungstate anions on The Inhibition of Aluminium in Chloride Solutions*, Journal of Applied Electrochemistry 31: 711-718.
- Ilman, M.N., 2014, *Chromate Inhibition of Environmentally Assisted Fatigue Crack Propagation of Aluminium Alloy AA 2024-T3 in 3.5% NaCl solution*, International Journal of Fatigue 62 (2014) 228-235.
- Li, X. Deng, S., and Fu, H., 2011, *Sodium Molybdate as a Corrosion Inhibitor for Aluminium in H_3PO_4 Solution*, Corrosion Science 53 (2011)2748- Marlaud, T., Malki, B., Henon, C., Deschamps, A., and Baroux, B., 2011, *Relationship Between Alloy Composition Microstructure and Exfoliation Corrosion in Al-Zn-Mg-Cu Alloys*, Corrosion Science 53 2753.
- Sharma, M., Ramesh, A.V., and Singh, N., 2008, *Electrochemical Evaluation of The Synergistic Effect of Molybdate Tungstate Inhibitor Mixtures In Chloride Ion Medium And Effect Of Cl^- Ion Inhibition Efficiency Of Molybdate*, Trans.Indian Inst.Met., Vol.61, Nos.2-3.
- ASTM E8M, 2009, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*
- Revie, R.W., and Uhlig. H.H., 2008, *An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.