

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGENDALIAN LAJU KOROSI FATIK
PADA ALUMINIUM 2024-T3 DI LINGKUNGAN AIR LAUT
MELALUI PENAMBAHAN INHIBITOR
KALIUM KROMAT (K_2CrO_4)**

Waris Wibowo

Akademi Maritim Yogyakarta
e-mail : waris.amy68@gmail.com

ABSTRACT

Aluminum alloy 2024-T3 is widely used in manufacturing industries such as aircraft, automotive and ship industries due to its character as a good mechanical property. Aluminum alloy 2024-T3, however, is easily suffered from corrosion attack when it is applied in corrosive environment such as sea water. One of the corrosion rate control methods is by applying inhibitor addition. This research aims to study the effect of K_2CrO_4 inhibitor in controlling the rate of corrosion of Al 2024-T3 in sea water.

In this research, K_2CrO_4 was added to sea water environment with various concentrations of 0.1 %, 0.3% and 0.5%. Subsequently the corrosion rates were measured using a three-electrode potential technique with saturated calomel (Hg_2Cl_2) as a referenced electrode whereas the auxiliary electrode was platinum (PT). Fatigue corrosion experiments was done using servo hydraulic testing engine, sinusoidal load was chosen with the stress ratio of $R = S_{min}/S_{maks} = 0,1$, and the frequency of 15 Hz, the voltage level used was 20%. Composition analyses, micro structure examination with Scanning Electron Microscope (SEM) were also done to get the supporting data.

The results show that fatigue corrosion rate of aluminum alloy 2024-T3 with the additions of K_2CrO_4 inhibitor in the sea water tends to reduce at the optimum concentration of 0.5% of K_2CrO_4 . It is indicated by the reduction of fatigue corrosion rate as amount of 32.13%. This inhibitor may hamper the rate of fatigue corrosion by oxidation so that it produces a compound (passive film) which covers the surface of Aluminum alloy 2024-T3 which is in turn it will reduce the attack of corrosion.

Keywords : Aluminum Alloy 2024-T3, Fatigue Corrosion, K_2CrO_4 Inhibitor

ABSTRAK

Aluminium paduan seri 2024-T3 telah banyak diaplikasikan pada industri pesawat terbang, otomotif, dan kapal laut karena memiliki sifat mekanik yang baik. Namun demikian aluminium paduan 2024-T3 rentan terhadap korosi bila diaplikasikan di lingkungan yang korosif seperti air laut. Salah satu upaya untuk mengendalikan laju korosi adalah dengan penambahan inhibitor. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh inhibitor kalium kromat (K_2CrO_4) dalam mengendalikan laju korosi Al 2024-T3 di lingkungan air laut.

Pada penelitian ini, jenis inhibitor yang dipakai adalah kalium kromat (K_2CrO_4) yang ditambahkan di media air laut dengan variasi konsentrasi 0,1%; 0,3%; dan 0,5%. Selanjutnya laju korosi diukur dengan menggunakan metode sel potensial tiga elektroda yang menggunakan kalomel jenuh (Hg_2Cl_2) sebagai elektroda baku sedangkan elektroda tambahan digunakan platina. Pengujian korosi fatik dengan mesin uji servohidrolik, beban sinusoidal dipilih rasio tegangan $R = S_{min}/S_{maks} = 0,1$ dan frekuensi 15 Hz, level tegangan yang digunakan adalah 20%. Sebagai data pendukung dilakukan uji komposisi dan uji struktur mikro dengan Scanning Electron Microscope (SEM).

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa laju korosi fatik Al 2024-T3 dengan penambahan inhibitor kalium kromat (K_2CrO_4) di media air laut cenderung menurun pada konsentrasi optimum 0,5% K_2CrO_4 , ditandai dengan penurunan laju korosi fatik sebesar 32,13%. Inhibitor ini dapat menghambat laju korosi fatik dengan cara mengoksidasi sehingga menghasilkan produk senyawa (lapisan pasif) yang dapat menutup permukaan Al 2024-T3 yang dapat mengurangi serangan korosi.

Kata kunci : Aluminium Paduan 2024-T3, Korosi Fatik, Inhibitor K_2CrO_4

Pendahuluan

Aluminium (Al) merupakan material yang banyak digunakan di bidang industri karena memiliki beberapa keunggulan yaitu aluminium merupakan logam ringan, konduktivitas panas dan listrik tinggi, sifat mampu mesin (*machinability*) baik, ketahanan korosi baik akibat terbentuknya lapisan pasif Al_2O_3 , dan sifat mampu cor (*castability*) baik. Selanjutnya untuk lebih meningkatkan sifat-sifat tersebut aluminium telah banyak dikembangkan dengan menambahkan paduan unsur-unsur lain. Salah satu aluminium paduan yang paling banyak dipergunakan adalah aluminium paduan seri 2024-T3 yang merupakan paduan logam Al-Cu dengan tembaga berkisar 3,8 – 4,9%, sedangkan T3 adalah proses perlakuan panas yang terdiri dari pelarutan padat (*solid solution*), *quenching* dan proses penuaan (*aging*) untuk mencapai tingkat kekerasan yang lebih baik (Polmear, 1981). Namun demikian aluminium paduan 2024-T3 rentan terhadap korosi fatik (*fatigue corrosion*) atau perambatan retak fatik bila logam ini diaplikasikan pada lingkungan yang bersifat korosif seperti air laut.

Kelelahan (fatik) suatu struktur diawali dengan pembentukan awal retak dilanjutkan dengan perambatan retak hingga struktur mengalami patah. Telaah tentang laju perambatan retak plat aluminium paduan 2024-T3 dengan beban *fatigue uniaksial*, specimen dibuat lubang terbuka diameter konstan dengan jarak antar lubang berbeda, hasil penelitian yang dilakukan Sanyoto, dkk (2008) menunjukkan bahwa jarak lubang yang kecil menimbulkan distribusi tegangan yang besar, sehingga laju perambatan retak yang terjadi lebih besar. Menurut Prihatno (2009) dalam penelitiannya perilaku perambatan retak fatik pada sambungan las FSW tak sejenis antara Al2024-T3 dan Al1100 dalam media korosif hasilnya menunjukkan umur fatik dengan

konsentrasi 3,5% NaCl mengalami penurunan siklus fatik sebesar 61,7% dan untuk media 5% NaCl mengalami penurunan siklus fatik sebesar 68,2%.

Sejumlah komponen mesin yang menggunakan bahan Al 2024-T3 di lingkungan korosif seperti lingkungan air laut akan mempercepat terjadinya korosi. Proses tersebut berakibat rusaknya lapisan pasif pada permukaan material Al 2024-T3. Permasalahan ini perlu diperhatikan sehingga laju korosi dapat dihambat dan dikendalikan pada komponen yang menggunakan bahan Al 2024-T3. Pengendalian korosi menurut Davis (2000), dapat dilakukan dengan metode pemilihan material, pelapisan, *inhibitor*, dan desain. Salah satu cara yang dapat dipergunakan untuk menghambat laju korosi pada Al 2024-T3 dengan menggunakan *inhibitor*. Sementara itu Fontana (1987) menjelaskan sejumlah *inhibitor* menghambat korosi melalui cara memodifikasi polarisasi katodik dan anodik, mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam, menambah hambatan listrik pada permukaan logam, dan menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa tidak agresif, sehingga pembahasan tentang peran *inhibitor* masih sangat diperlukan.

Metodologi

Material dan Karakterisasi Mikrostruktur

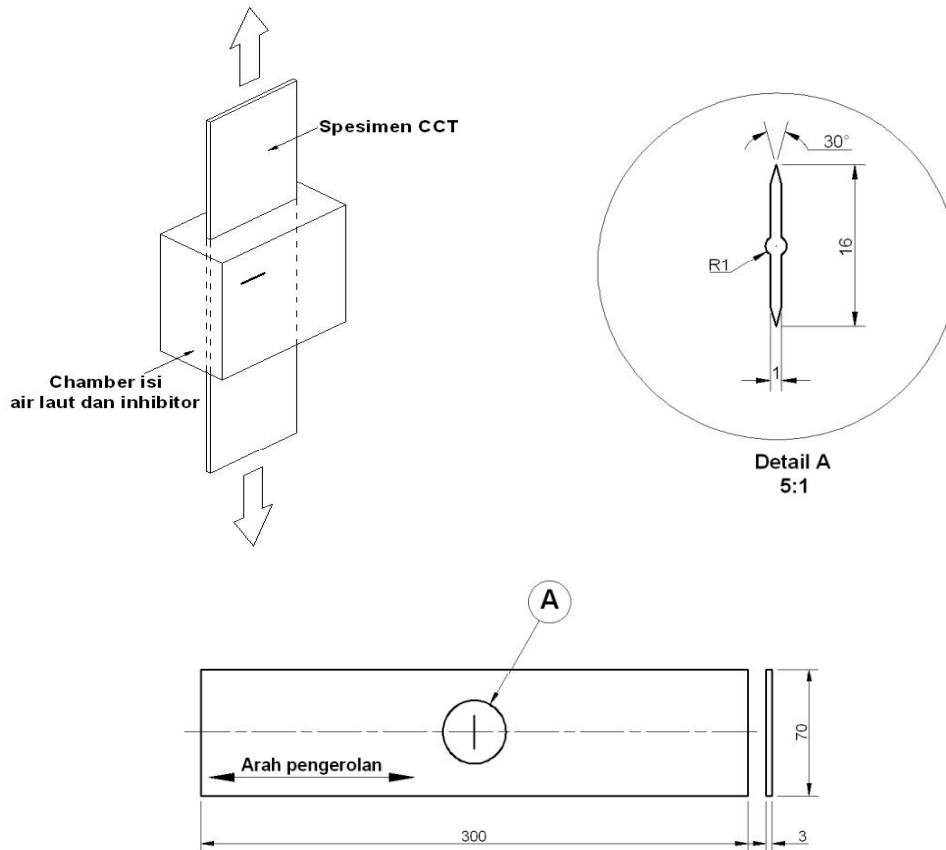
Uji komposisi material dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui jenis dan spesifikasi material yang digunakan.

Laju Korosi Fatik

Spesimen untuk uji laju korosi fatik disiapkan sesuai dengan standar dari ASTM E-647. Spesimen yang memiliki

retak memusat (*Center Cracked Tension* atau CCT) dipilih dengan retakan awal yang berlokasi ditengah-tengah pelat seperti terlihat pada Gambar 1. Eksperimen fatik dilakukan menggunakan mesin uji servohidraulik beban sinusoidal dipilih rasio tegangan $R = S_{\min}/S_{\max} = 0,1$ dan frekuensi 15 Hz. Level tegangan yang digunakan adalah 20%. Retak awal dibuat tegak lurus dengan arah pengerolan pelat. Sedangkan untuk memudahkan pengamatan, bahan chamber dibuat dari *arylic resin* yang transparan. Laju

perambatan retak fatik (da/dN) dari hukum kekuatan Paris dianalisa dengan metode Secant. Untuk grafik hubungan antara laju perambatan retak (da/dN) terhadap selang faktor intensitas tegangan (ΔK) dapat dihitung berdasarkan rekomendasi ASTM E-647. Metode secant merupakan cara perhitungan dengan menggunakan titik ketitik (*point to point*) atau dengan menggunakan metode pertambahan polinomial (*incremental polynomial method*).



Gambar 1. Spesimen CCT dan Chamber, (ASTM E-647, 2003)

Pengujian dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk mengamati perbedaan struktur mikro dari hasil penelitian laju korosi pada: (a) tipe tiga sel potensiostat, (b) rendaman selama 12 jam, dan (c) perambatan retak fatik. Pelaksanaan pengujian ketiga perilaku tersebut dipilih dari hasil korosi yang paling optimal terhadap pengaruh penambahan inhibitor Kalium kromat di lingkungan air laut pada aluminium seri AL2024-T3.

Inhibitor

Inhibitor korosi diukur melalui efisiensinya (E) yaitu dengan membandingkan laju korosi dari sistem yang ditinjau merumuskan sebagai berikut (Widharto, 2001) :

$$E = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \times 100\%$$

dengan K_0 dan K_1 masing-masing adalah laju korosi tanpa dan dengan inhibitor.

Hasil dan Pembahasan

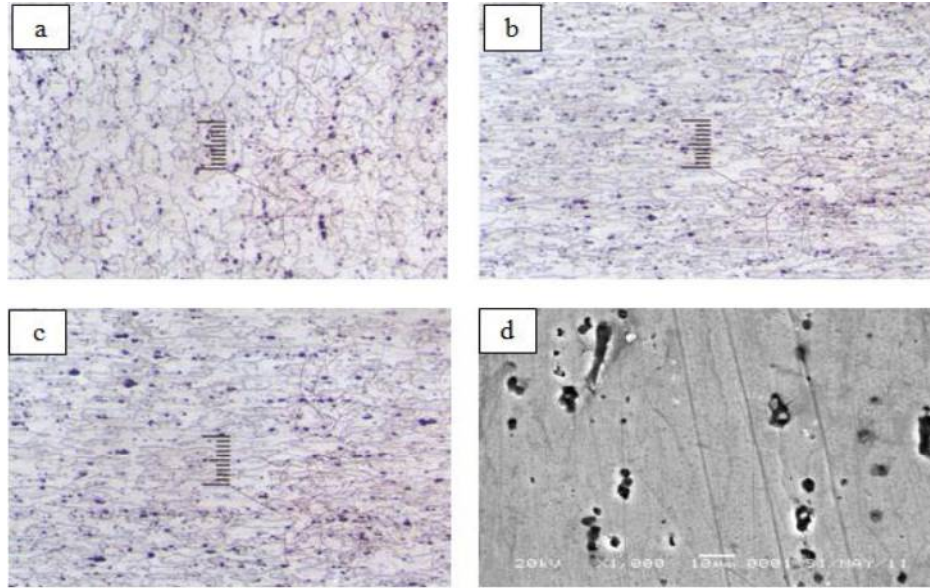
Karakterisasi Material

Hasil uji komposisi pada material yang diteliti dibandingkan dengan komposisi standar dari material tersebut. Hasil pengujian komposisi memperlihatkan bahwa spesimen yang diteliti mempunyai komposisi yang masih dalam batasan standar komposisi material AL2024-T3 (*asm.matweb.com*, (2011) ; Ilman, (2009)) seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Spesimen

Material	Komposisi Kimia (wt%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
Spesimen	0,5	0,5	3,9	0,6	1,5	0,25	0,1	0,15	92,5
Standar	max 0,5	max 0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	max 0,25	max 0,1	max 0,15	90,7-94,7

Hasil uji struktur mikro terhadap spesimen AL2024-T3 yang diambil dari bidang permukaan, bidang melintang dan bidang membujur ditunjukkan pada Gambar 2. di bawah ini.



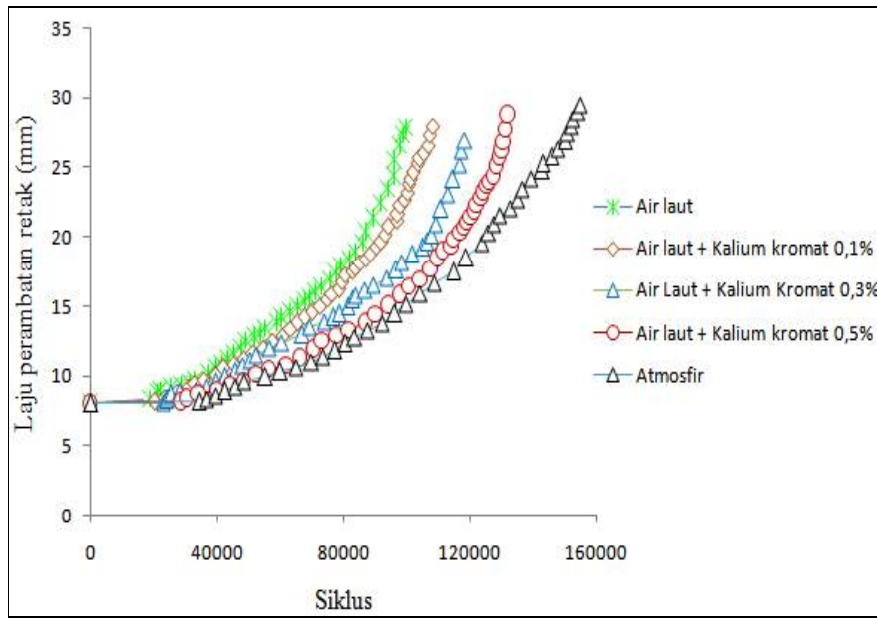
Gambar 2. Photo struktur mikro Al2024-T3 diambil dari bidang : (a) permukaan, (b) melintang, (c) membujur dan (d) membujur (SEM)

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui metalurgi permukaan material sehingga dapat diketahui sifat mekaniknya. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* (SEM). Pengamatan dilakukan pada tiga bidang seperti pada Gambar 2. yaitu : (a) permukaan, (b) melintang dan (c) membujur. Hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen Al 2024-T3 yang diambil dari bidang permukaan, bidang melintang dan bidang membujur dengan mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 2 (a), (b) dan (c) sedangkan Gambar 2 (d) diambil dengan SEM. Dari Gambar 2 terlihat bahwa struktur mikro bidang permukaan Gambar 2(a) berbentuk poligonal (*equiaxed*) sedangkan pada bidang melintang Gambar 2(b) dan membujur Gambar.2(c) memiliki bentuk butir memanjang sejajar atau paralel dengan arah pengerolan yang dinamakan *texture*. Hal ini disebabkan adanya deformasi memanjang selama proses

pengerolan. Hasil pengamatan SEM Gambar 2 (d) memperlihatkan butiran fasa kedua berwarna gelap dalam bentuk inklusi (oksida) atau endapan halus (*precipitate*) dari material tersebut. Menurut Polmear (1981), perbedaan struktur mikro ini tidak berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi. Disamping itu dapat dijelaskan bahwa proses perlakuan panas T3 tidak menyebabkan terjadinya rekristalisasi pada Al 2024-T3.

Analisa Korosi Fatik

Perilaku laju perambatan retak fatik (korosi fatik) di lingkungan udara, air laut dan air laut yang ditambahkan dengan *inhibitor* kalium kromat dapat dijelaskan dengan merepresentasikan hubungan panjang retakan (a) dan jumlah siklus (N). Disamping itu juga dapat ditentukan hubungan antara faktor intensitas tegangan (ΔK) dengan laju perambatan retak (da/dN), sehingga dapat untuk memperkirakan umur suatu material.



Gambar 3. Grafik gabungan uji di udara, air laut dan *inhibitor* hubungan perambatan retak dengan jumlah siklus

Berdasarkan hasil pengujian laju korosi fatik di lingkungan udara, air laut dan air laut yang ditambahkan *inhibitor* kalium kromat dengan konsentrasi 0,1%; 0,3% dan 0,5% diperlihatkan pada Gambar 3. hubungan panjang retakan (a) dan jumlah siklus (N). Terlihat bahwa umur retakan yang terdapat pada Al 2024-T3 di udara adalah sekitar 154572 siklus, di media air laut sebesar 99807 siklus, penambahan konsentrasi *inhibitor* 0,1% jumlah siklus 108275, konsentrasi *inhibitor* 0,3% sebesar 118296 dan untuk media konsentrasi *inhibitor* 0,5% sebesar 131873 siklus. Jumlah siklus terendah dari pengujian rambat retak fatik di lima lingkungan yang berbeda menunjukkan lingkungan air laut memiliki jumlah siklus terendah. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan air laut dengan pH 7,64 memiliki kecenderungan sebagai media yang korosif. Ilman (2009) menyatakan

penurunan umur retakan yang tinggi diamati saat logam diuji di air laut dengan pH 7,94 sebesar 58,5% lebih rendah dari pada logam yang diuji di udara.

Pada Gambar 3., memperlihatkan hubungan laju perambatan retak fatik dengan siklus di lima lingkungan, terlihat bahwa di lingkungan udara kurva menunjukkan laju perambatan retak fatik yang paling rendah dan siklus terpanjang. Penggunaan *inhibitor* dapat memperlambat laju perambatan retak fatik seiring penambahan konsentrasi *inhibitor* ditunjukkan dengan kurva *inhibitor* 0,1%; 0,3%; 0,5%, sedangkan di lingkungan air laut memiliki kurva laju perambatan retak tinggi dan siklus terpendek sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2. Dengan demikian laju perambatan retak fatik (da/dN) pada logam ini di lingkungan air laut lebih tinggi daripada laju perambatan retak fatik yang diujikan di udara.

Tabel 2. Perbandingan kekuatan tarik dan perpanjangan (*elongation*)

No	Media Spesimen	Jumlah Siklus	Efisiensi (%)
1	Air laut (0% <i>inhibitor</i>)	99807	0
2	Air laut + 0,1% kalium kromat	108275	8,48
3	Air laut + 0,3% kalium kromat	118296	18,52
4	Air laut + 0,5% kalium kromat	131873	32,13
5	Udara	154572	54,87

Penggunaan *inhibitor* kalium kromat efektif memperlambat laju korosi fatik seiring dengan penambahan konsentrasi, terlihat bahwa konsentrasi 0,5% dapat meningkatkan siklus 32,13% lebih tinggi dari lingkungan air laut. *Inhibitor* kalium kromat dapat

meningkatkan ketahanan korosi fatik karena menutup lapisan pasif yang rusak dari permukaan Al 2024-T3. Sementara itu untuk laju perambatan retak yang paling cepat merambat adalah di lingkungan air laut. Untuk konstanta Paris diperlihatkan pada Tabel 3.

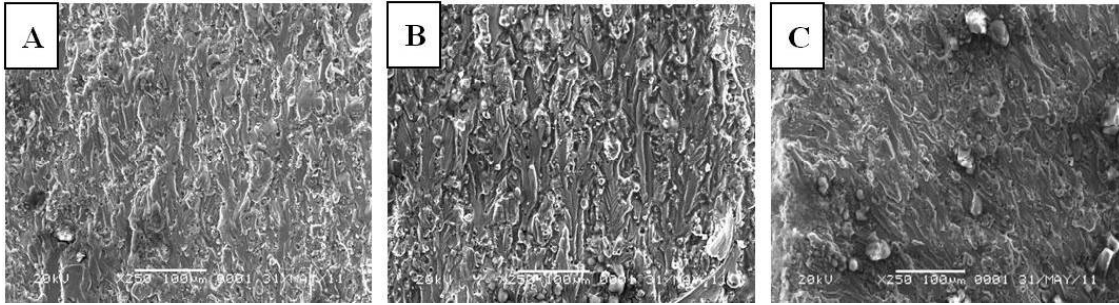
Tabel 3. Konstanta Paris

No	Media Spesimen	C	n
1	Udara	$8,0544^{-7}$	1,8430
2	Air laut (0% <i>inhibitor</i>)	$5,8538^{-7}$	2,1458
3	Air laut + 0,1% kalium kromat	$4,1084^{-7}$	2,2548
4	Air laut + 0,3% kalium kromat	$2,2933^{-7}$	2,4920
5	Air laut + 0,5% kalium kromat	$1,2033^{-7}$	2,6897

Analisa struktur makro dan mikro

Pengujian SEM dilakukan dengan mengambil 3 buah sampel dari lima variasi lingkungan pengujian, yaitu di lingkungan udara, air laut dan air laut yang ditambahkan dengan *inhibitor* dengan

konentrasi 0,5% dengan pembesaran 250x. Hasil yang diperoleh dari uji SEM menunjukkan bahwa jalur retak umumnya memotong butir (*transkristalin*) ke arah pembebanan tarik sebagaimana lazimnya jalur retak akibat pembebanan fatik.



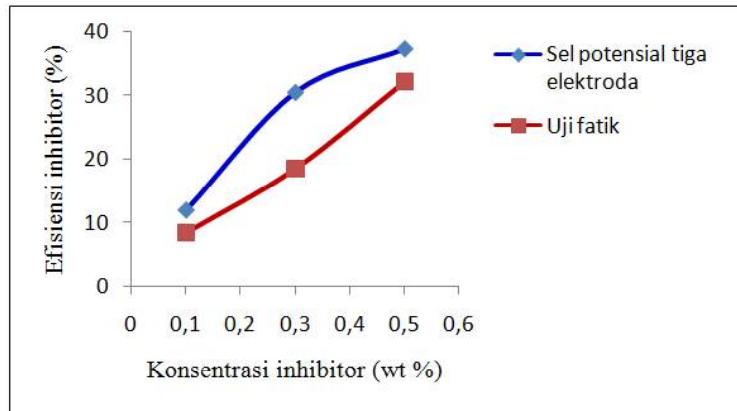
Gambar 4. Photo daerah ujung retak di lingkungan: (A) udara, (B) air laut, (C) air laut yang ditambahkan inhibitor konsentrasi 0,5%

Berdasarkan hasil uji SEM Gambar 4 (A) di lingkungan udara terlihat bahwa fitur retakan cenderung memanjang dan merata ke arah pembebanan fatik, sedangkan untuk di lingkungan air laut fitur retakan pendek-pendek dan terbentuk butiran-butiran yang diinisiasikan sebagai slip dislokasi dan adanya penggetasan hidrogen ditunjukkan pada Gambar 4 (B). Sementara itu Gambar 4 (C), memperlihatkan fitur laju perambatan retak fatik di lingkungan air laut yang ditambahkan *inhibitor* kalium kromat dengan konsentrasi 0,5% memiliki kecenderungan luasan butiran sedikit dan

fitur retakan sedikit memanjang bila di bandingkan dengan fitur dari lingkungan tanpa *inhibitor*. Hal ini menunjukkan ada pengaruh *inhibitor* dalam pembentukan lapisan pasif di lingkungan air laut yang ditambahkan kalium kromat konsentrasi 0,5%.

Efisiensi Inhibitor

Inhibitor korosi diukur menggunakan efisiensinya, yaitu dengan membandingkan laju korosi dari sistem yang ditinjau. Hasil pengujian laju korosi memperlihatkan adanya pengaruh *inhibitor* terhadap penurunan laju korosi.



Gambar 5. Efisiensi *inhibitor* Kalium kromat

Gambar 5. memperlihatkan efisiensi *inhibitor* kalium kromat hasil dari pengujian sel potensial tiga elektroda dan pengujian fatik korosi yang semakin

meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi *inhibitor*. Pada *inhibitor* konsentrasi 0,5% K_2CrO_4 dapat menahan laju korosi 38% untuk pengujian yang

dilakukan dengan sel potensial tiga elektroda, sedangkan pengujian fatik korosi (perambatan retak fatik) menunjukkan penurunan laju korosi sebesar 32,13% jika dibandingkan di lingkungan air laut tanpa *inhibitor* pada material Al 2024-T3.

Penutup

Pengujian *inhibitor* terhadap laju fatik korosi pada Al 2024-T3 dengan *inhibitor* kalium kromat memiliki kecenderungan bahwa trend perlindungan terhadap fatik korosi dan efisiensi *inhibitor* akan naik seiring dengan naiknya konsentrasi kalium kromat, dimana pada K_2CrO_4 konsentrasi 0,5% merupakan *inhibitor* yang paling baik dalam menghambat laju fatik korosi sebesar 32,13%. *Inhibitor* kalium kromat (K_2CrO_4) dapat menghambat laju perambatan korosi fatik dengan cara mengoksidasi sehingga menghasilkan produk senyawa (lapisan pasif) yang dapat menutup permukaan Al 2024-T3 yang mendapat serangan korosi.

Daftar Pustaka

Aluminum 2024-T3,
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T3>, ASM Aerospace Specification Metals, Inc
 ASTM, 2003, “*Metal test Methods And Analytical Procedures*”, *Annual Book of ASTM Standard*, sc.3 Vol 03.01, E647-00, pp.615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken.

Davis, J.R., 2000, “*Corrosion Understanding The basics*”, ASM International, All Rights Reserved, Printed in the United States of America
 Fontana, M.G., 1987, “*Corrosion Engineering*”, McGraw-Hill, 3th ed., New York
 Ilman, Yustiasih P., Triono., 2009, “*Corrosion Fatigue Crack Growth Rate Behaviour of Al2024-T3 in Seawater Environment*”,
 Polmear, I.J., 1981, “*Light Alloy*”, 3th edition Arnold, London
 Prihatno K, 2009, “*Mekanisme Korosi dan perilaku Perambatan Retak Fatik Sambungan Las FSW Tak Sejenis Antara Al2024-T dan Al1100 Dalam Media Korosif Dengan Variasi Konsentrasi NaCl*”, Thesis, Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjahmada
 Sanyoto BL, Wajan Berata., 2008, “*Laju Perambatan Retak Plat Aluminium 2024-T3 dengan Beban Fatigue Uniaksial pada Rasio Beban dan Jarak Diameter Lubang Berbeda*”, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol.2 No. 2 ITS, pp.82-91
 Widharto, S., 2001, “*Karat dan Pencegahannya*”, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta
 Winston, R., 2000, “*Uhlig’s Corrosion Handbook*”, 2nd Edition, John Willey and Sons Inc., New York, p. 1091