

# STUDI EXPERIMENTAL FATIK KOROSI ALUMINIUM PADUAN 7075-T6 PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN INHIBITOR Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

Priyani Budiarti<sup>1)</sup> dan M. N Ilman<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Mesin Akademi Maritim Nusantara, Cilacap

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM

e-mail: pipietbudiarti@yahoo.com

**Abstract:** AA7075-T6 aluminum alloy is a material that widely used in the aircraft industry because aluminum as a lightweight metal, good machinability, good corrosion resistance and good castability and non-magnetic metals. Aluminum also has high tenacity, is easy to form and is easy to connect. Aluminum has good resistance to corrosion, however aluminum has effect to corrosion if it is on corrosive environment including AA7075-T6 aluminum alloy which used in the aircraft industry. Inhibitor is used to control a corrosion. The aims of these researchs were to investigate the effect of inhibitors on corrosion rates and the rate of fatigue crack corrosion propagation on AA7075-T6 aluminum alloys. This research is used Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> inhibitors with variety of concentrations of 0.1%, 0.3%, 0.5% and 0.7% added to 3.5% NaCl solution. Corrosion rate test is used a method of potential dynamic polarization. Corrosion fatigue testing is carried out with constant amplitude at a frequency of 10 Hz and a voltage ratio (R) 0.1. Specimens were used cracked specimen centers (CCT) on orientation in the direction of rolling. The supporting data of the research were the mechanical properties of the material included optical microstructure observation, tensile testing and hardness testing. The results have shown that the optimal concentration of Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> inhibitors was achieved at 0.5% which was characterized by a decreasing in corrosion rate and slower corrosion rate of fatigue cracking.

**Keywords:** Aluminum 7075, corrosion, fatigue, inhibitor, cromat, plane.

## PENDAHULUAN

Aluminium adalah logam ringan dengan berat sepertiga dari berat baja dan kekuatan sebanding dengan baja yaitu sebesar 572 MPa. Karena sifat ringan inilah maka industri pesawat terbang menggunakan aluminium untuk material struktur pesawat. Hal ini akan mempengaruhi penggunaan bahan bakar sehingga biaya operasional menurun. Kelebihan lain yang dimiliki aluminium adalah konduktivitas *thermal* yang baik. Aluminium juga konduktor listrik yang baik, mudah di-fabrikasi/dibentuk dengan semua proses pengerjaan logam serta mudah di daur ulang [1]. Aluminium juga tahan terhadap korosi. Kekuatan spesifiknya diukur dari perbandingan kekuatan tarik terhadap berat. Untuk meningkatkan kekuatan mekanik aluminium dengan penambahan paduan. Unsur paduan yang digunakan pada aluminium paduan meliputi silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan dan juga litium. Aluminium paduan yang banyak digunakan pada industri pesawat terbang adalah aluminium paduan seri 7xxx karena kompromi yang baik antara kekuatan, tahan korosi dan toleransi kerusakan [2]. Meskipun aluminium tahan terhadap korosi, aluminium tetap akan mengalami serangan korosi jika berada pada lingkungan korosif seperti pada lingkungan garam (air laut) dan lingkungan atmosfer [3] lembab dan hujan.

Proses korosi atau oksidasi adalah penurunan kualitas logam. Korosi pada aluminium disebabkan oleh air dan udara (oksigen) yang menghasilkan senyawa aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) membentuk lapisan tipis dan transparan yang sangat kuat, tidak berpori serta merata pada permukaan aluminium sehingga permukaan aluminium dibawah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terlindungi. Tebal lapisan oksida 1-10 nm (10<sup>-8</sup> m). Lapisan oksida yang terbentuk disebut pasifan (*passivity*). Korosi dapat mengakibatkan kerusakan pada material dan akan berakibat fatal pada material pesawat. Korosi tidak dapat dihindari, tetapi bisa dikendalikan. Salah satu cara mengendalikan atau menghambat laju korosi adalah dengan penambahan inhibitor.

Inhibitor adalah zat kimia, jika ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan korosif dapat memperlambat laju korosi secara efektif [4]. Inhibitor akan membentuk lapisan oksida untuk mengganti bagian-bagian yang terkorosi dan mempengaruhi proses anoda katoda. Efisiensi inhibitor dapat dihitung dengan persamaan [5]:

$$IE \text{ (Inhibitor Efficiency)} = \frac{i_o - i_{corr}}{i_o} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana  $i_o$  adalah arus pengukuran tanpa inhibitor dan  $i_{corr}$  adalah arus pengukuran dengan inhibitor.

Selain korosi, pesawat akan mengalami beban dinamik dan berulang, yang mengakibatkan material pesawat mengalami kerusakan fatik. Fatik adalah bentuk kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi atau dalam lingkungan yang korosif serta temperatur tinggi. Kebanyakan kegagalan terjadi akibat tegangan-tegangan tarik [6].

Warner dkk [6]. melakukan penelitian molibdat sebagai penghambat korosi fatik dalam persipitasi mengeras Al-Cu-Li. Persipitasi mengeras pada aluminium termasuk Al-Cu-Li yang digunakan dalam struktur kedirgantaraan rentan terhadap kelelahan korosi perambatan retak dan keletihan lingkungan perambatan retak. Penambahan ion molibdat secara efektif menghambat keletihan lingkungan. Penghambatan diatur oleh keseimbangan antar pecahan film pasif. Penelitian yang dilakukan Li dkk [7] tentang *sodium* molibdat sebagai inhibitor korosi untuk aluminium dalam larutan  $H_3PO_4$ . Asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) banyak digunakan untuk membersihkan dan *electropolishing* aluminium, tapi masih menunjukkan korosif yang kuat. Untuk mengatasi hal tersebut maka digunakan inhibitor natrium molibdat ( $Na_2MoO_4$ ), dalam larutan 1,0 M  $H_3PO_4$ . Effisiensi penghambatan meningkat dengan konsentrasi inhibitor dan maksimal. Effisiensi penghambatan didapat dari penurunan berat. Metode ini lebih tinggi dari 91% pada 20mM. Penelitian yang dilakukan Gupta dkk [8] tentang pengaruh kromat terhadap kerentanan *pitting* AA7075-T651 dengan menggunakan transien potentiostatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis transien yang terjadi karena polarisasi potentiostatik bisa digunakan untuk membandingkan efek dari kromat (dan mungkin penghambat lain) pada metastabil perilaku *pitting*. Kromat sangat efektif mengurangi laju *pitting* metastabil ke stabil setelah perendaman. Dari beberapa konsentrasi  $Na_2CrO_4$  dan perendaman, untuk paduan AA7075-T651 disarankan pada 0,01 M NaCl. Kromat pada konsentrasi ini menurunkan laju *pitting* metastabil dari sekitar 41 lubang sampai 2 lubang metastabil/cm<sup>2</sup>/detik. Ilman [9] melakukan penelitian tentang pengaruh inhibitor kromat terhadap perambatan retak fatik peka lingkungan pada AA2024-T3 dalam larutan 3,5% NaCl. Penambahan inhibitor kromat dari 0,1% sampai 0,5% dalam larutan 3,5%NaCl menurunkan laju korosi dan menaikkan kepasifan 2024-T3. Ion kromat secara efektif menghambat EAFCP (*Environmentally Assisted Fatigue Crack Propagation*) AA 2024-T3 dalam larutan 3,5% NaCl karena pembentukan film pasif sebagai penghalang untuk difusi hidrogen ke ujung sehingga mengurangi kerapuhan hidrogen. Meningkatkan konsentrasi inhibitor kromat akan meningkatkan kepasifan AA 2024-T3 dan menurunkan EAFCP. Waris [10] melakukan studi eksperimental pengendalian korosi pada aluminium 2024-T3 di lingkungan air laut melalui penambahan inhibitor kalium kromat ( $K_2CrO_4$ ). Korosi Al 2024-T3 di lingkungan air laut sebesar 0,0216 mm/tahun, dengan penambahan inhibitor  $K_2CrO_4$  menurunkan laju korosi sebesar 0,0134 mm/tahun pada kondisi optimal 0,5%  $K_2CrO_4$ . Inhibitor  $K_2CrO_4$  menghambat korosi melalui oksidasi yang menghasilkan produk senyawa yang menutup permukaan Al 2024-T3.

## METODE PENELITIAN

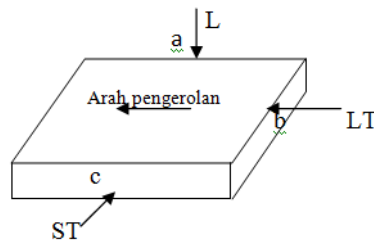
### Material

Material yang digunakan adalah aluminium paduan 7075-T6. Uji komposisi aluminium paduan 7075-T6 dilakukan dengan menggunakan spectrometer.

### Pengamatan Struktur Mikro

Prosedur metalografi standart yaitu grinding dan polishing, kemudian dietsa dengan Keller's reagent dengan komposisi (1 ml HF + 1,5 ml HCL + 2,5 ml HNO<sub>3</sub> dan 95 ml H<sub>2</sub>O) selama 10 – 20 detik agar terjadi korosi batas butir. Alat yang digunakan untuk mengamati struktur mikro adalah mikroskop optik. Pengamatan dilakukan pada bidang permukaan (*longitudinal*), bidang

melintang (*long transverse*) dan bidang membujur (*short transverse*). Uji struktur mikro dilakukan untuk melihat struktur mikro specimen.



Gambar 1. Posisi specimen uji kekerasan dan struktur mikro

### Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan masing-masing permukaan material untuk mengetahui tingkat kekerasan. Uji kekerasan dilakukan pada permukaan, arah melintang dan membujur menggunakan *Buehler microhardenes tester* dengan metode Vickers.

Untuk menghitung kekerasan Vickers menggunakan persamaan [3] berikut:

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

Dimana:

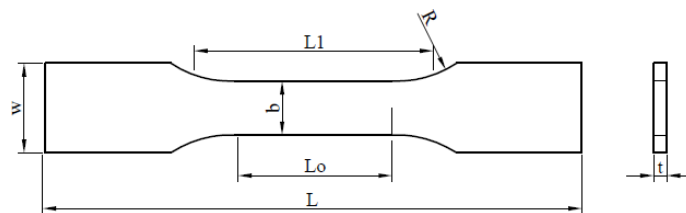
VHN : angka kekerasan Vickers ( $\text{kg/mm}^2$ )

P : beban (kg)

d : diagonal injakan (mm)

### Pengujian Tarik

Specimen uji tarik menggunakan standar ASTM E8. Tujuan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanis dari material yaitu seberapa besar tegangan dan regangan yang terjadi. Grafik yang dihasilkan dari pengujian adalah grafik tegangan luluh (*yield stress*) dan tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile stress*). Uji tarik menggunakan alat uji tarik dengan merk *Servopulser*.



Gambar 2. Specimen uji tarik ASTM E8

Besarnya tegangan dan regangan dihitung dengan menggunakan persamaan [3]:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4)$$

Dimana:

$\sigma$  : tegangan tarik ( $\text{N/mm}^2$ )

$\varepsilon$  : regangan (%)

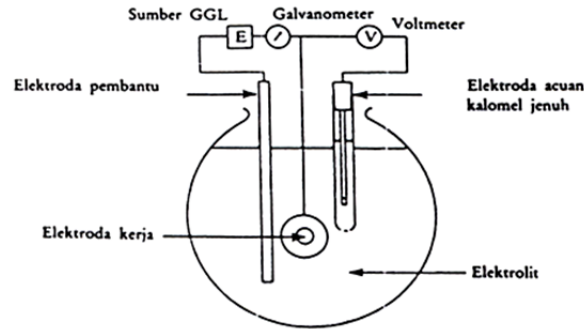
F : beban (N)

$A_0$  : luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

- L : panjang setelah ditarik (mm)
- L<sub>0</sub> : panjang mula-mula (mm)

### Pengujian korosi

Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar laju korosi yang terjadi pada material. Alat uji korosi yang digunakan adalah potensial tiga elektroda yang dihubungkan dengan potensiostat/Galvanostat Model 273, merk: EG & G Princeton Applied Research) dan seperangkat komputer untuk mengolah data.



Gambar 3. Potensial tiga elektroda (Tretheweyn, 1991)

Metode yang digunakan polarisasi potensiodinamik. Elektrode acuan kolomel jenuh ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ). Larutan elektrolit yang digunakan adalah 3,5%NaCl dengan inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  dengan variasi konsentrasi. Pengujian yang dilakukan adalah korosi pada 3,5%NaCl tanpa inhibitor, dilanjutkan dengan penambahan inhibitor dengan konsentrasi 0,1%; 0,3%; 0,5% dan 0,7%. Untuk menghitung laju korosi dengan persamaan laju korosi [11]:

$$CR = 0,129 \frac{ai_{corr}}{Dn} \text{ (mpy)} \tag{5}$$

Dimana:

- CR : laju korosi (mpy)
- a : nomor masa atom
- $i_{corr}$  : rapat arus korosi ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
- n : valensi atom
- D : berat jenis specimen ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Untuk laju korosi paduan, terlebih dahulu menghitung *Equivalent Weight (EW)* atau berat ekivalen dengan persamaan [11]:

$$EW = \frac{1}{N_{EQ}} \tag{6}$$

$$N_{EQ} = \sum \left[ \frac{\omega_i}{a_i / n_i} \right] = \sum \left[ \frac{\omega_i n_i}{a_i} \right] \tag{7}$$

Dimana:

- EW : berat ekivalen (*equivalent weight*)
- $N_{EQ}$  : nilai ekivalen total
- $\omega_i$  : fraksi berat
- $a_i$  : nomor masa atom

$n_i$  : elektron valensi

sehingga laju korosi paduan:

$$CR = 0,129 \frac{i_{corr}(EW)}{D} \text{ (mpy)} \quad (8)$$

$$1 \text{ mpy} = 0,0254 \text{ mm/th}$$

### Pengujian Perambatan Retak Fatik Korosi

Pengujian perambatan retak fatik korosi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan inhibitor di lingkungan 3.5%NaCl terhadap laju rambat retak korosi pada aluminium paduan seri 7075. Spesimen yang dibuat mengacu pada standart ASTM E-647 dengan tebal 3 mm, panjang 185 mm dan lebar 70 mm. Retak awal (*initial crack*) ada di bagian tengah dan dibuat tegak lurus dengan arah pengerolan material. Pengujian dilakukan pada udara terbuka, dalam larutan 3,5% NaCl dan dalam larutan 3,5% NaCl+0,3% Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Grafik hasil pengujian yaitu jumlah siklus (N) terhadap panjang rambatan retak (a) dan grafik hubungan percepatan rambat retak (da/dN) dengan factor intensitas tegangan ( $\Delta K$ ). Faktor intensitas tegangan ( $\Delta K$ ) dapat dituliskan secara empiris [3]:

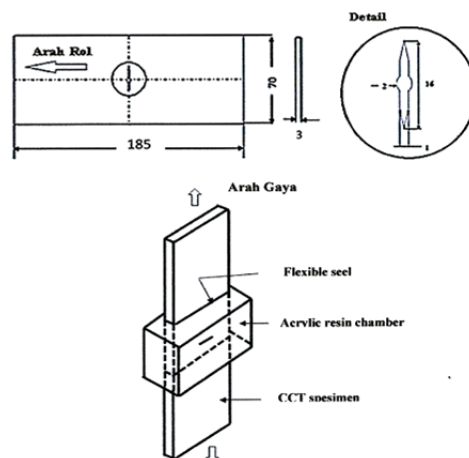
$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{n\alpha}{2W} \sec \frac{n\alpha}{2}} \quad (9)$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min}, R > 0 \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{2a}{w} \quad (11)$$

dengan:

- $\Delta K$  : faktor intensitas tegangan
- $\Delta P$  : beda pembebanan
- B : tebal benda uji
- $\alpha$  : perbandingan panjang retak dengan lebar benda uji
- a : panjang retak
- W : lebar benda uji



Gambar 4. Specimen uji fatik ASTM E647 CCT (*centre cracked tension*)

Laju pertambahan panjang retak dan menghitung *slope* dari garis lurus yang menghubungkan dua poin dalam grafik a-N, di hitung dengan persamaan [3]:

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_a = (a_{i+1} - a_i) / (N_{i+1} - N_i) \quad (12)$$

$$a' = \frac{1}{2} (a_{i+1} + a_i) \quad (13)$$

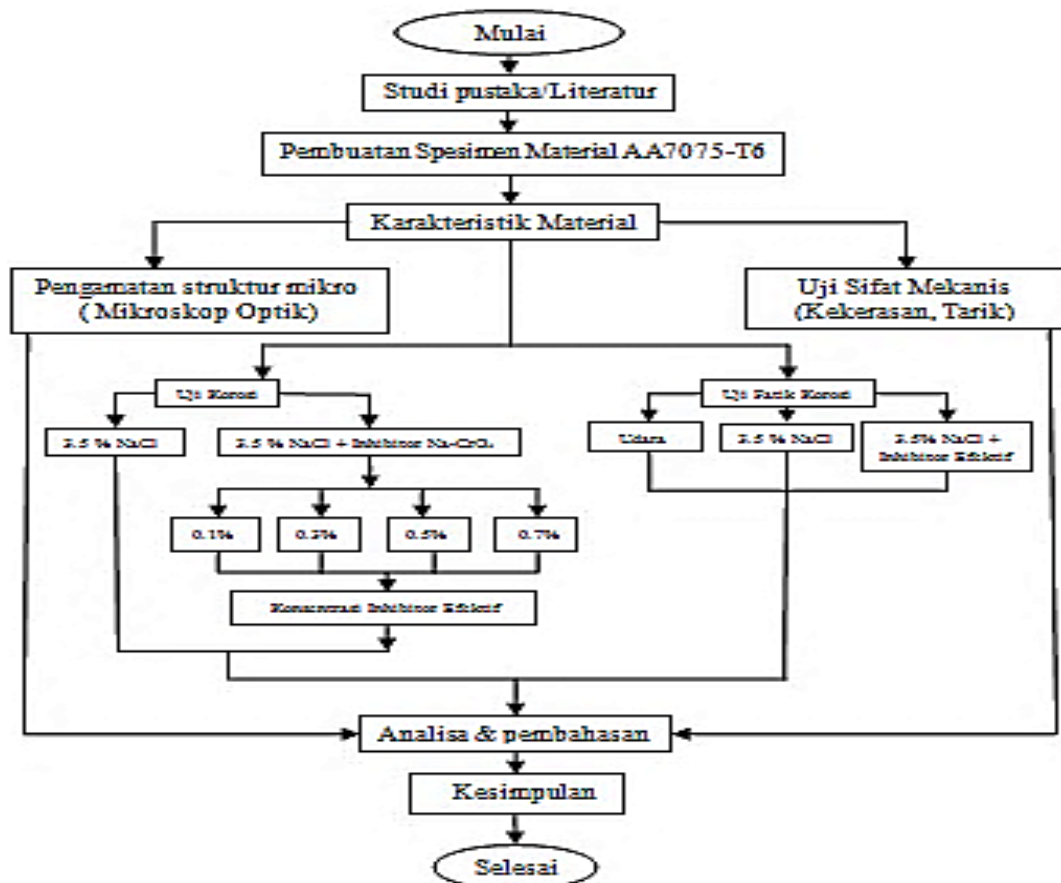
Keterangan:

$\frac{da}{dN}$  : laju perambatan retak

a : panjang retak

N : jumlah siklus

### Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Material

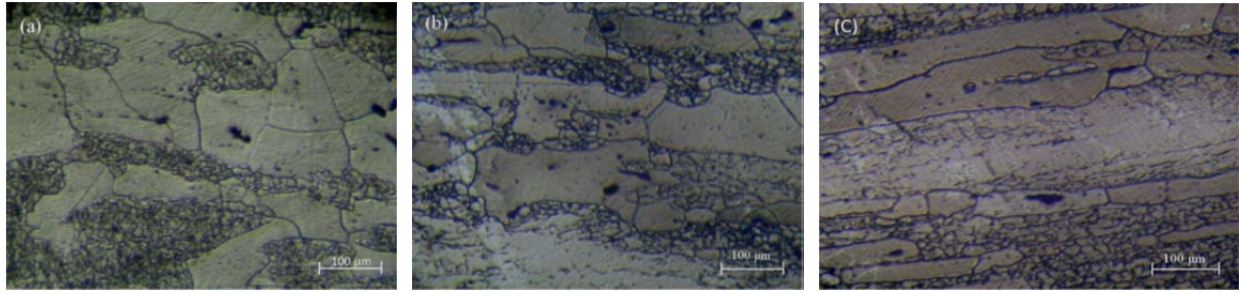
Hasil uji komposisi Kimia AA7075-T6 dengan menggunakan Spectrometer.

Tabel 1. Komposisi kimia aluminium paduan 7075-T6

Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Other each	Other total	Si	Ti	Zn
Standart	87,1	0,18	1,2	Max	2,1	Max	Max	Max	Max	Max	5,1
Wt. %	-	-	-	0,5	-	0,3	0,05	0,15	0,4	0,2	-
	91,4	0,28	2		2,9						6,1
Sampel uji	89,22	0,23	1,45	0,42	2,73	0,12	<0,05	<0,05	0,18	<0,1	5,45

## Hasil Pengamatan Mikrostruktur AA7075-T6

Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada arah L (*longitudinal*), LT (*long transverse*) dan ST (*short transverse*). Hasil pengamatan;



Gambar 6. Hasil pengamatan struktur mikro pada arah bidang (a) *Longitudinal*, (b) *Short Transverse* dan (c) *Long Transverse*.

Bentuk batas butir menunjukkan arah memanjang dan sejajar dengan arah pengerolan yang berarti bahwa terjadi deformasi pada saat pengerolan dan adanya persipitat yang terbentuk pada saat perlakuan panas.

## Pengujian Kekerasan AA7075-T6

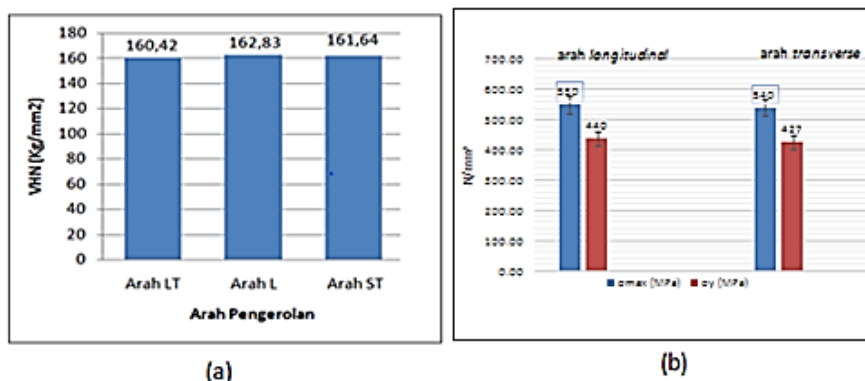
Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga arah bidang yaitu arah *longitudinal*, arah *long transverse* dan arah *short transverse*. Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 6 (a) dan nilai kekerasan yang hampir sama pada semua arah dengan rata-rata  $161,63 \text{ kg/mm}^2$ .

## Pengujian Tarik AA7075-T6

Pengujian tarik untuk mengetahui besar tegangan dan regangan pada material. Pengujian yang dilakukan searah dengan pengerolan (*longitudinal*) dan melintang (*transverse*). Hasil pengujian tarik diperlihatkan pada Gambar 6 (b).

## Analisis Hasil Uji Korosi AA7075-T6

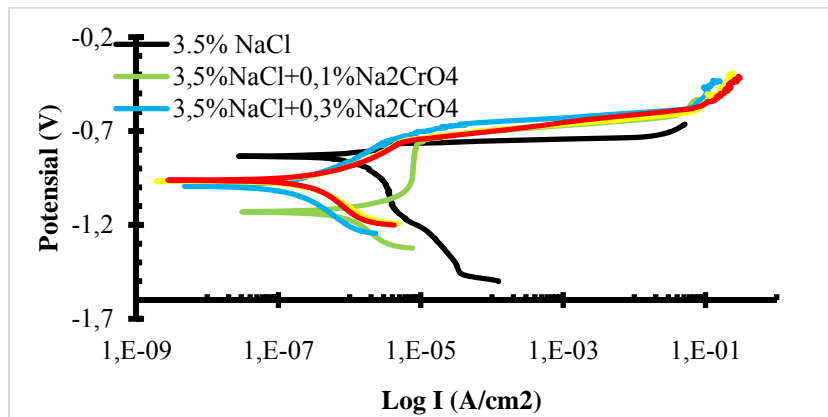
Metode yang digunakan untuk pengujian korosi yaitu dengan metode polarisasi potensiodinamik. Media elektrolit berupa larutan 3,5% NaCl dan ditambahkan inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7%. Kurva polarisasi dapat dilihat pada Gambar 8.



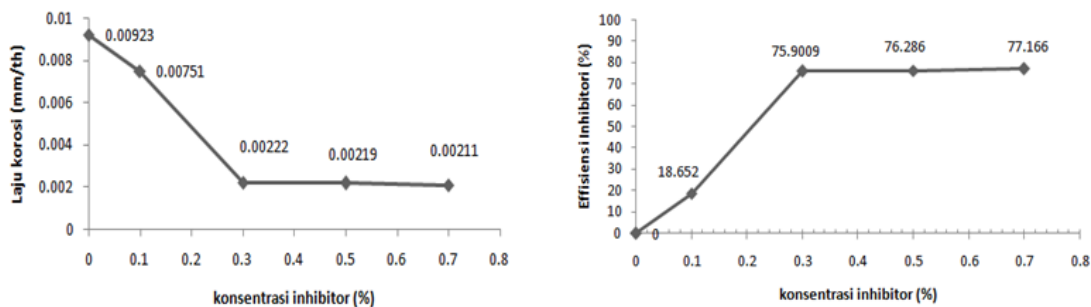
Gambar 7. (a) Hasil uji kekerasan dan (b) Hasil uji tarik.

Tabel 2. Hasil perhitungan laju korosi dan Efisiensi inhibitor (%)

Larutan 3,5% NaCl + inhibitor	Potensial (mV)	$I_{cor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	CR (mpy)	CR (mm/th)	Larutan 3,5% NaCl + inhibitor	CR (mm/th)	Effisiensi (%)
Larutan 3,5% NaCl	-839,794	0,793	0,3635	0,00923	Larutan 3,5% NaCl	0,00923	-
3,5% NaCl + 0,1% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	-1132	0,645	0,2957	0,00751	3,5% NaCl + 0,1% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	0,00751	18,652
3,5% NaCl + 0,3% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	-990,831	0,191	0,0876	0,00222	3,5% NaCl + 0,3% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	0,00222	75,900
3,5% NaCl + 0,5% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	-968,419	0,188	0,0862	0,00219	3,5% NaCl + 0,5% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	0,00219	76,286
3,5% NaCl + 0,7% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	-965,678	0,181	0,0830	0,00211	3,5% NaCl + 0,7% $\text{Na}_2\text{CrO}_4$	0,00211	77,166



Gambar 8. Kurva polarisasi hasil uji korosi (tafel plot)



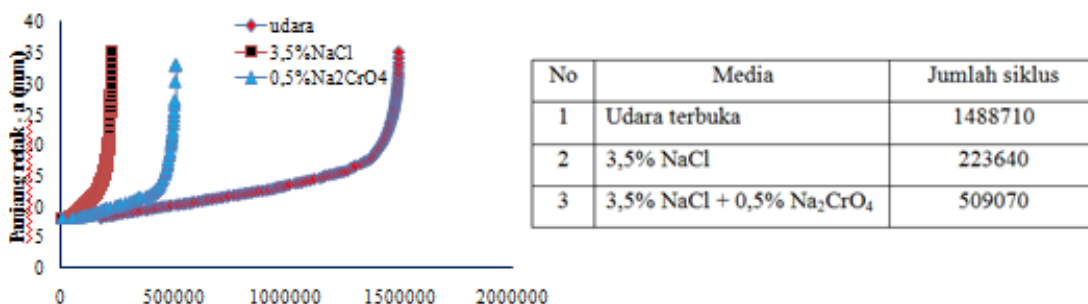
(a) Grafik laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor

(b) Efisiensi Inhibitor (%)

Gambar 9. (a) Grafik laju korosi terhadap konsentrasi inhibitor (b) Efisiensi inhibitor (%)

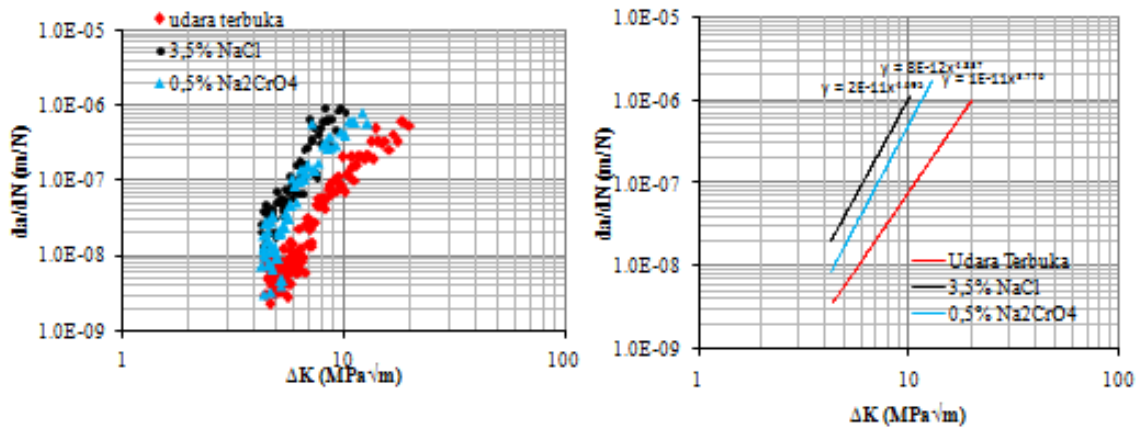
### Analisis Hasil Pengujian Perambatan Retak Fatik Korosi AA7075-T6

Media udara terbuka digunakan sebagai referensi untuk mengetahui pengaruh inhibitor terhadap perambatan retak fatik korosi. Elektrolit 3,5% NaCl sebagai media korosif dan 0,3%  $\text{Na}_2\text{CrO}_2$  adalah inhibitor. Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian fatik yang dinyatakan dalam panjang retak (a) terhadap siklus (N).



Gambar 10. Hasil pengujian perambatan retak fatik korosi yang dinyatakan dalam panjang retak (a) terhadap siklus (N)





No	Media	C	n
1	Udara terbuka	1,395E-11	3,741
2	Larutan 3,5% NaCl	6,609E-11	4,057
3	Larutan 3,5% NaCl + 0,5% Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	0,8E-11	4,837

Gambar 11. Hubungan antara laju perambatan retak dan faktor intensitas tegangan, 3 garis *trendline* pengujian dan Nilai C dan n pada konstanta Paris.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Penambahan penghambat (*inhibitor*) Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dari 0,1% sampai 0,7% ke dalam larutan 3,5% NaCl menurunkan laju korosi pada AA7075-T6.
2. Inhibitor mulai efektif menahan laju korosi pada konsentrasi 0,3% yaitu sebesar 0,00222 mm/tahun.
3. Penambahan inhibitor 0,5% Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> pada larutan 3,5% NaCl dapat menghambat laju perambatan retak fatik korosi pada AA7075-T6 dan meningkatkan *cycle life* sebesar 127,6%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Shahnava. Z, Wan. J.B. and Sharifuddin. M.Z. (2010). *Aluminium Corrosion Inhibition Using Benzene-1,2,4,5 Tetracarboxylic Dianhydride (PMDH)*, Departement of Chemistry. Faculty of Science. University of Malaya, Kuala Lumpur Malaysia.
- [2]. Marlaud. T, Malki. B, Henon. C, Deschamps. A, and Baroux. B, (2011), *Relationship Between Alloy Composition Microstructure And Exfoliation Corroton in Al-Zn-Mg-Cu Alloys*, Corrosion Science 53 (2011)3139-3149.
- [3]. Callister. W. D. (2001). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons. Inc. New York.
- [4]. Widharto. S. (2001). *Karat dan Pencegahannya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- [5]. Roberge. P. R. (2008). *Corrosion Engineering Principles and Practice*. NewYork. McGraw-Hill. p 309. 725.
- [6]. Warner. S.J. and Gangloff. P.R. (2012). *Molybdate inhibition of corrosion fatigue crack propagation in precipitation hardened Al-Cu-Li*. Corrosion Science. Elsevier.
- [7]. Li, Xianghong, Deng. Shuduan. and Fu. Hui. (2011). *Sodium molybdate as a corrosion inhibitor for aluminium in H3PO4 solution*. Corrosion Science 53 (2011)2748-2753.
- [8]. Gupta. R.K, Hinton. B.R.W, and Birbilis. N. (2014). *The effect of chromate on the pitting susceptibility of AA7075-T651 studied using potentiostatic transients*. Corrosion Science 82(2014)197-207.

- [9]. Ilman. M.N. (2014). *Chromate inhibition of environmentally assisted fatigueCrack propagation of aluminium alloy AA 2024-T3 in 3.5% NaCl solution*. International Journal of Fatigue 62 (2014) 228-235.
- [10]. Waris. W. dan Ilman. M.N. (2011). *Studi eksperimental pengendalian korosi pada aluminium 2024-T3 di lingkungan air laut melalui penambahan inhibitor kalium kromat ( $K_2CrO_4$ )*. Jurnal Rekayasa Material, Vol. 5, No. 1, 2011.
- [11]. Tretheweyn, K.R dan Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.