

PERBAIKAN KETAHANAN KOROSI DAN FATIK KOROSI LAS MIG AA5083 MELALUI INHIBITOR MOLYBDATE

Zulfikram

Departemen Teknik Mesin Dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
e-mail: Fahrul06@yahoo.co.id

M.N. Iman

Departemen Teknik Mesin Dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
e-mail: ilman_noer@ugm.ac.id

Abstrak

Aluminium dan paduannya adalah logam non besi (non-ferrous) yang banyak digunakan di industri perkapalan. Salah satu di antaranya adalah aluminium paduan AA5083 yang memiliki sifat mampu las baik. Sambungan las aluminium dapat mengalami korosi akibat kondisi lingkungan yang korosif seperti lingkungan air laut. Kombinasi antara tegangan dinamis dan lingkungan korosif dapat mengakibatkan fatik korosi (corrosion fatigue) sehingga diperlukan cara untuk menghambat laju korosi. Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh inhibitor molybdate terhadap laju korosi dan laju perambatan retak fatik korosi sambungan las MIG (metal inert gas) aluminium 5083. Eksperimen yang dilakukan meliputi pengamatan mikrostruktur, pengujian kekerasan dan uji tarik, korosi pada media NaCl 3,5% yang menggunakan molybdate 0.3% dan uji perambatan retak fatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan inhibitor molybdate 0.3% dapat mengurangi laju korosi dan laju perambatan retak fatik-korosi las MIG pada bahan AA5083.

Kata Kunci: Aluminium, Fatik, Inhibitor korosi.

Abstract

Aluminium and alloys are non-ferrous metals that are widely used in the shipping industry. One of them is aluminium alloy AA5083 which has good weldability properties. Aluminium welding joints can be corroded due to corrosive environmental conditions such as seawater environments. The combination of dynamic stress and corrosive environment can result in corrosion fatigue, so there is a need to inhibit the rate of corrosion. The purpose of research is studying the effect of molybdate inhibitor on the corrosion rate and fatigue corrosion crack propagation rate of weld joints (metal inert gas) MIG aluminium 5083. The experiments include microstructure observation, hardness testing and tensile test, corrosion on 3.5% NaCl media using Molybdate 0.3% and fatigue crack propagation test. The results showed that the addition of 0.2% molybdate inhibitors could reduce the corrosion rate and crack propagation rate of fatigue-corrosion of MIG welding on AA5083 material.

Keywords: Aluminium, Fatigue, Corrosion Inhibitor.

PENDAHULUAN

Aluminium paduan seri 5xxx (Al-Mg) banyak digunakan di industri. Salah satu di antaranya adalah aluminium paduan AA5083 yang merupakan paduan Al-(4-5,5%)Mg (Polmear, 1995). Aluminium seri 5xxx khususnya 5083 memiliki kekuatan tarik tinggi 124-352 MPa, ketangguhan yang baik pada temperatur kriogenik (dibawah 0 °C), sifat mampu las (*weldability*) yang baik, tahan terhadap korosi bahkan pada kondisi lingkungan air laut (Mandall, 2005) sehingga banyak di aplikasikan pada konstruksi kapal, bejana tekan (*pressure vessel*) pada kapal, kapal berkecepatan tinggi dan pelat pada lambung kapal. Jenifer, dkk (2012), meneliti pengaruh penggunaan inhibitor korosi molybdate terhadap laju perambatan retak fatik pada material dengan precipitasi Al-Cu-Li. Penambahan ion *molybdate* efektif menghambat laju perambatan retak fatik akibat lingkungan pada material paduan dengan proses aging Al-2.6 Cu-1.6 Li (wt pct. 2199-T86) diberi tegangan selama proses perendaman dalam larutan klorida. *Molybdate* juga sepenuhnya menghambat EFCP pada frekuensi rendah untuk material 2199-T86 dengan menghambat laju perambatan retak fatik pada kondisi *ultra-high vacuum*.

Teknik las *metal inert gas* (MIG) merupakan salah satu jenis pengelasan yang biasa digunakan dalam pengelasan Aluminium seri 5083, karena sesuai untuk pelat aluminium yang tipis (3mm) (Mandall, 2005). Pengelasan MIG sangat efisien dan mempunyai konsentrasi sumber panas yang sangat baik dibandingkan dengan jenis pengelasan gas lainnya. Gas pelindung yang biasa digunakan pada pengelasan MIG yaitu argon (Ar) dan helium (He). Kedua jenis gas ini memiliki karakteristik penetrasi pengelasan yang berbeda, sehingga bisa

disesuaikan dengan kebutuhan pengelasan yang dilakukan. Kombinasi dari komposisi gas dan sumber arus yang berbeda juga menghasilkan karakteristik yang berbeda juga, sehingga bisa disesuaikan dengan kebutuhan. Oleh karena itu pengelasan MIG banyak digunakan dalam pengelasan aluminium.

Pada penelitian ini, proses pengelasan dengan penerapannya dimana aluminium dapat mengalami korosi akibat kondisi lingkungan yang korosif seperti lingkungan air laut. Korosi juga dapat mengakibatkan leleh korosi (*corrosion fatigue*) sehingga diperlukan cara untuk menghambat laju korosi dimana salah satunya dengan menggunakan inhibitor. Lingkungan korosif juga merupakan salah satu penyebab terjadinya korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) dan fatik korosi (*corrosion fatigue*) disamping jenis material dan tegangan statis (Davis, 1999). SCC merupakan retakan atau perpatahan yang timbul akibat interaksi tegangan, sedangkan korosi fatik akibat interaksi tegangan konstan dengan lingkungan korosif (Jones, 1992). Korosi adalah proses perusakan logam, dimana logam akan mengalami penurunan mutu (*degradation*) karena bereaksi dengan lingkungan baik secara kimia atau elektrokimia (Jones, 1992). Hal ini terjadi akibat terbentuknya lapisan pasif yang menghambat laju pertukaran ion-ion pada logam. Inhibitor korosi merupakan bahan organik maupun anorganik yang dapat menghambat laju serangan korosi, dirancang untuk melindungi logam dengan membentuk suatu lapisan/film hidrofobik pada permukaan logam (Roberge, 2000).

Fatik korosi merupakan kerusakan pada logam akibat mengalami tegangan dimana besar dan arahnya berubah-ubah serta adanya serangan kimia (Threthewey, 1991) sedangkan fatik hanya disebabkan adanya tegangan yang berulang.

METODE

1. Proses pengelasan

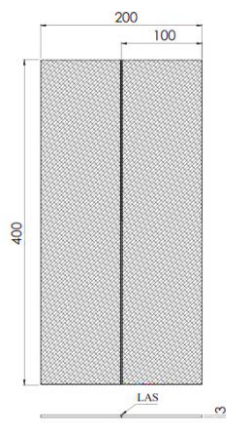
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan AA 5083 dan logam pengisi yang digunakan adalah ER 5356 dengan komposisi kimia terdapat dalam Tabel 1. Plat aluminium dengan panjang 400 mm, lebar 100 mm dan tebal 3 mm. Parameter untuk pengelasan terdapat pada Tabel 2.

Table 1. Komposisi kimia (dalam % berat)

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
AA 5083	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,25	0,15	0,10
Filler ER 5356	0,25	0,40	0,10	0,50-0,20	4,5-5,5	0,10	0,05-0,20	0,06-0,20

Tabel 2. Parameter las

Arus	100 A (DC)
Tegangan	6 Volt
Kecepatan las	10 mm/s
Kecepatan kawat pengumpan	8 mm/s
Gas/debit	Argon (14 l/menit)
Debit air pendingin	1200 l/jam



Gambar 1. Skema pengelasan

2. Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik diambil dari penampang las. Spesimen yang telah disiapkan dengan teknik metalografi standar dengan etsa yang digunakan adalah Keller reagen dengan komposisi 20 ml H₂O + 20 ml HNO₃ + 20 ml HCL + 5 ml HF (ASM vol 9,2004)

3. Uji Sifat Mekanis

Uji tarik dilakukan dengan menggunakan spesimen las melintang menurut ASTM E8M. Sedangkan pengujian kekerasan pada daerah logam las, daerah HAZ dan logam induk diukur menggunakan *beuhler microhardness tester* dengan beban 100 GRF. Uji Kekerasan pada penelitian ini menggunakan mesin *Beuhler microhardness tester* dengan metode *Vickers*. Uji kekerasan pada permukaan material dari daerah logam induk, HAZ dan daerah las dengan jarak antara injakan 500 µm (0,5 mm). Untuk menghitung kekerasan *Vickers* menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

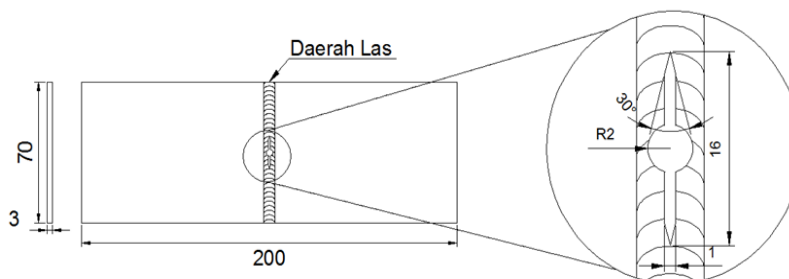
Dimana VHN (Vickers hardness number. kg/mm²), P adalah beban (kg) dan d adalah diagonal rata-rata injakan (mm).

4. Uji Korosi

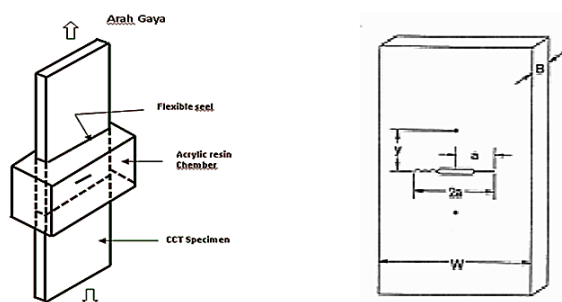
Uji korosi dengan menggunakan media korosi NaCl 3,5% dan Molybdate 0,3%. Pengujian korosi material menggunakan potensiostat/Galvanostat Model 273 dan seperangkat komputer bertempat dilaboratorium bahan teknik mesin universitas gadjah mada, dan waktu pengambilan data selama 1 bulan.

5. Uji Rambat Retak Fatik – Korosi

Pengujian laju rambat retak fatik dilakukan menggunakan mesin servopulser. Spesimen dibuat menurut standard ASTM E-647 dibuat dengan tebal 3 mm, panjang 200 mm dan lebar 70 mm dengan retak awal di bagian tengah (*center cracked tension atau CCT*). Pengujian dilaksanakan dengan R = 0,1 frekuensi 10 Hz dengan *stress* level sekitar 15 s/d 20 %. Retak awal dibuat tegak lurus dengan arah pengerolan. Selanjutnya permukaan retak dilihat pada daerah perambatan retak linear atau daerah II dari kurva da/dN – ΔK.



Gambar 2. Spesimen Uji Fatigue (ASTM E-647)

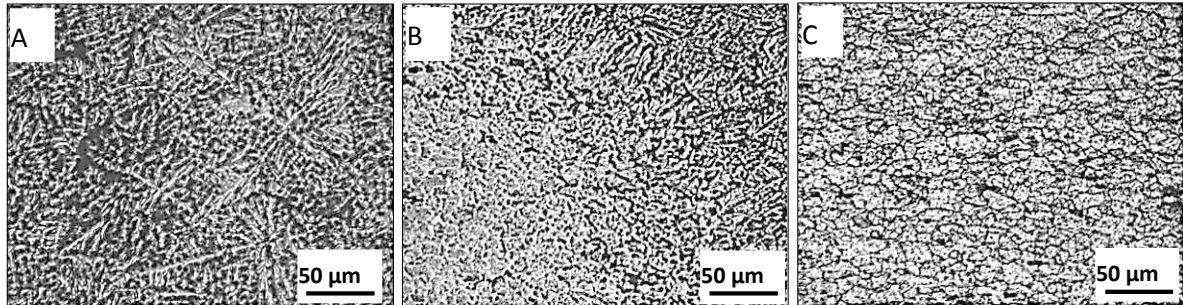


Gambar 3. Spesimen ASTM E-647 *Centre –cracked tension* (CCT), (a) *crack length*, (B) *specimen thickness*, (W) *specimen width*, (y) *half gage length*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

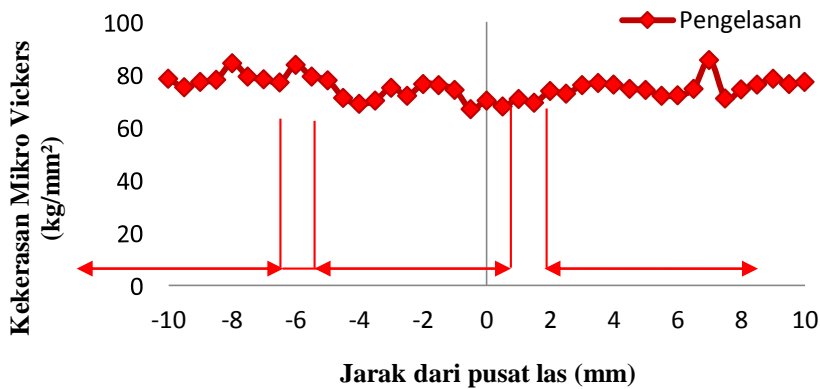
1. Pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro pada penelitian dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses pengelasan yang berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil pengelasan.



Gambar 4. Struktur mikro pada : (A) daerah las, (B) HAZ (Heat affected zone) dan (C) logam induk (Base material).

Gambar 4 menunjukkan struktur mikro yang terbentuk pada daerah las, HAZ dan logam induk. Dimana pada (gambar 4.A) menunjukkan struktur mikro pada daerah las berupa struktur *equiaxed dendritic*. Pada (gambar 4.B) menunjukkan HAZ berupa struktur *cellular* yang tersusun dari butir-butir kecil (*subgrain*) dan sejajar satu dengan yang lain dari butir-butir pada fusion line menuju pusat logam las. Tetapi daerah logam induk yang dipengaruhi panas tidak sampai mencair karena suhunya berada pada garis solidus. Sedangkan (gambar 4.C) menunjukkan struktur mikro pada logam induk yang tidak terpengaruh suhu dari proses pengelasan butirannya dan memanjang sejajar dengan arah pengerolan.

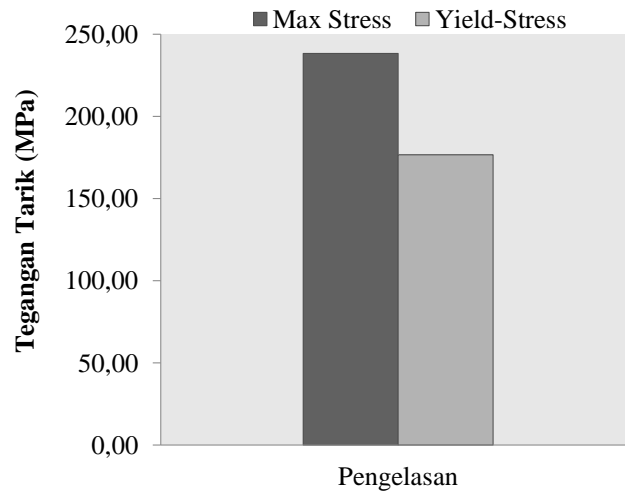


Gambar 5. Nilai kekerasan pada daerah las, HAZ dan logam induk (*Base Material*)

Gambar 5. Memperlihatkan distribusi nilai kekerasan pada daerah las, *heat affected zone* (HAZ) dan logam induk. Pada daerah logam induk (*base material*) nilai kekerasan pengelasan *as welded* memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada daerah logam induk sebesar 78,65 kg/mm² dan daerah HAZ memiliki nilai kekerasan sebesar 75,40 kg/mm². Sedangkan pada daerah logam las memiliki nilai kekerasa terendah dengan nilai 72,93 kg/mm².

2. Uji Tarik

Hasil pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menghasilkan tegangan tarik dan tegangan luluh ditunjukkan pada Gambar 6.

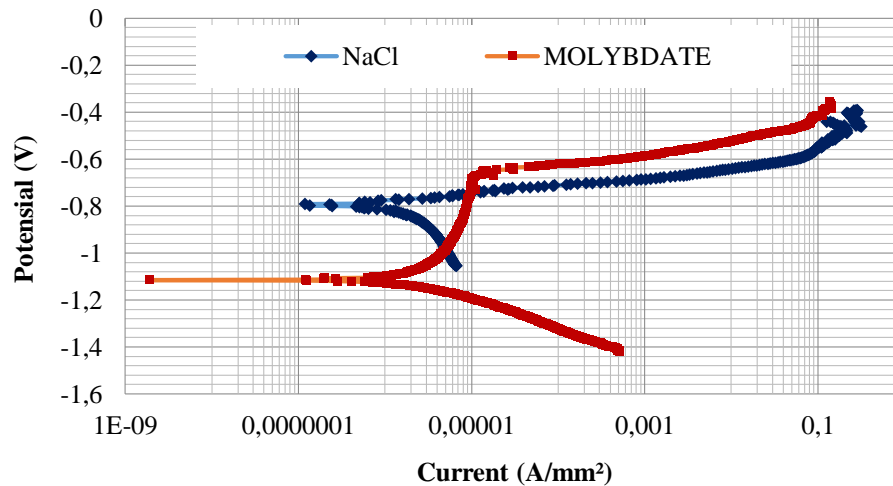


Gambar 6. Tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh pada specimen

Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian tarik dengan metode las MIG pada pelat Aluminium AA5083 mempengaruhi sifat kekuatan tarik material. Dimana perubahan struktur mikro yang terbentuk setelah pengelasan maka hasil yang didapat dari penelitian ini adalah nilai kekuatan tarik maksimum (σ_{max}) pada pengelasan sebesar 238.02 MPa dan tegangan luluh (*yield stress*) pada pengelasan sebesar 176.64 MPa dengan nilai $\Delta\sigma$ sebesar 1,35 MPa.

3. Pengujian korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan metode polarisasi potensiodinamik (*Tafel plot*). Gambar 7 dan Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian polarisasi potensiodinamik dengan menggunakan NaCl 3,5 % dan inhibitor korosi *molybdate* dengan konsentrasi 0,3 % sebagai berikut.



Gambar 7. Hasil pengujian polarisasi dengan konsentrasi inhibitor 0,3 %

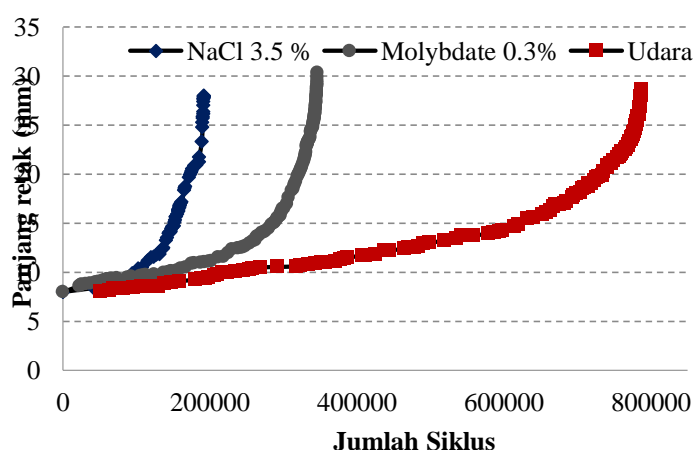
Tabel 3. Hasil pengujian polarisasi potensiodinamik

No	Nama sampel	E (i=0) mV	Icorr (uA/cm ²)	Corr rate (mpy)
1	NaCl 3.5 %	790,401	0,936	0,41183
2	Na - Molybdate 0.3 %	-1,109	0,910	0,40064

Gambar 7 dan Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian laju korosi menggunakan sel potensial tiga elektroda dengan metode polarisasi potensiodinamik menunjukkan laju korosi pada NaCl dengan konsentrasi 3,5% adalah 0,41183 mpy. Penambahan *inhibitor molybdate* dengan konsentrasi 0,3 % cenderung menurunkan laju korosi dengan hasil sebesar 0,40064 mpy. Dari hasil pengujian ini terlihat bahwa laju korosi dengan penambahan inhibitor molybdate dengan konsentrasi 0,3% mampu mengurangi laju korosi.

4. Uji perambatan retak fatik

Dalam Pengujian Rambat Retak Fatik Korosi dilakukan dengan beban berupa sinusoidal, amplitudo konstan dan frekuensi tetap. Untuk mengetahui pengaruh penambahan 0,3% *inhibitor molybdate* dilingkungan NaCl 3,5% terhadap laju perambatan retak AA 5083.



Gambar 8. Hubungan pertambahan panjang retak (a) sebagai fungsi siklus (N)

Tabel 4. Jumlah siklus uji fatik

No	Spesimen	Jumlah siklus	Kenaikan
1	NaCl 3.5%	192170	-
2	Molybdate 0.3%	346217	80,16
3	Udara	787246	309,66

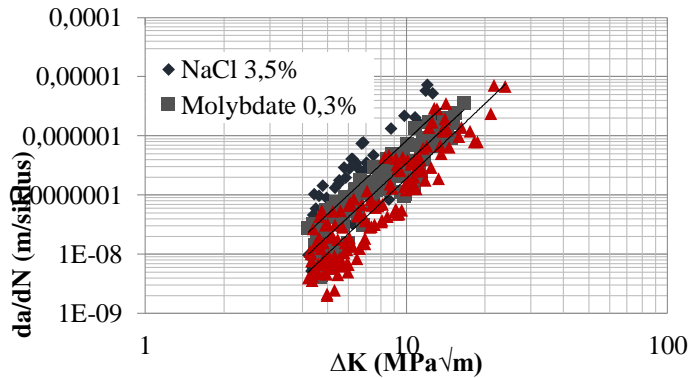
Gambar 8 dan Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian fatik pada udara, NaCl 3.5% dan molybdate 0,3%. Dimana jumlah siklus tertinggi terjadi pada pengujian udara sebesar 787246 siklus dengan peningkatan umur fatik sebesar 309,66%. Dibandingkan dengan pengujian fatik-korosi dengan konsentrasi NaCl 3,5 % yang memiliki jumlah sebesar 192170 siklus dan pengujian fatik-korosi dengan penambahan inhibitor molybdate dengan konsentrasi 0,3% memiliki jumlah sebesar 346217 siklus atau terjadi peningkatan umur fatik sebesar 80.16 %.

Laju perambatan retak fatik dapat dihitung dengan metode secant (ASTM E 647) sebagai berikut:

$$16. \quad \frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (2)$$

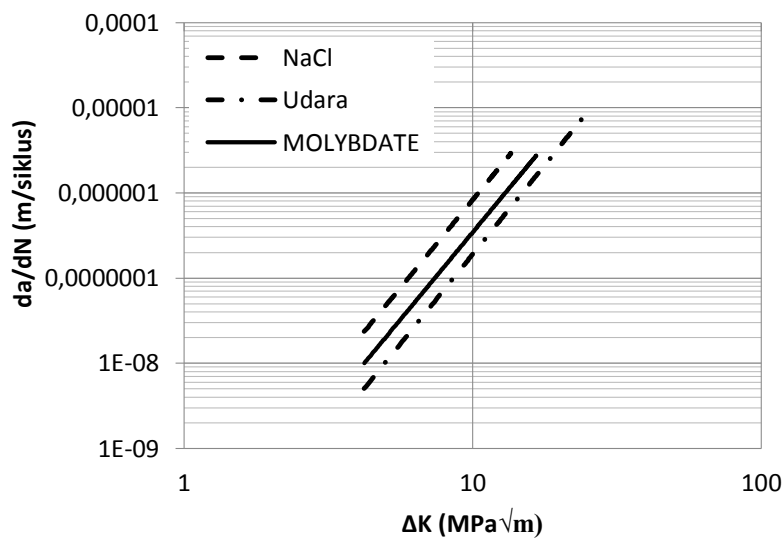
Dengan da/dN merupakan laju perambatan retak fatik ΔK ($K_{max} - K_{min}$) adalah interval factor intensitas tegangan (*stress intensity factor range*), C dan n adalah konstanta Paris yang bergantung pada material yang digunakan, lingkungan, frekuensi, temperatur dan rasio tegangan. Nilai konstanta paris ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 8 menunjukkan hasil uji fatik dinyatakan dengan panjang retak (a) sebagai fungsi dari siklus (N).

Laju perambatan retak fatik (da/dN) sebagai fungsi intensitas tegangan (ΔK) dalam skala log dapat ditunjukkan oleh Gambar 9 dan 10 berikut



Gambar 9. Hubungan antara laju perambatan retak dan faktor intensitas tegangan dalam skala log

Data hasil uji perambatan retak fatik merupakan hubungan linier antara $\log da/dN$ dan $\log \Delta K$ pada daerah II dimana hukum Paris berlaku. Pada penelitian ini daerah I dan III tidak bisa memperoleh data yang valid karena laju perambatan retak yang terjadi sulit diamati. Daerah I menunjukkan daerah awal perambatan retak dan daerah III memberi indikasi *fracture toughness* (KIC).



Gambar 10. Grafik trendline hubungan antara intensitas tegangan dan laju perambatan retak fatik dalam skala log.

Nilai C dan n dapat diperoleh dari garis-garis *trendline* tersebut, dimana nilai C merupakan perpotongan dengan sumbu tegak lurus dengan nilai $\Delta K = 1 MPa.m^{0.5}$ dan n menunjukkan gradien garis linier atau slope dari kurva. Nilai C dan n pada penelitian dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai konstanta paris

Daerah Las	C	n
NaCl	6,29E-11	4,12
Molybdate	2,78E-11	4,09
Udara	1,19E-11	4,20

Gambar 10 dan Tabel 5 memperlihatkan laju perambatan retak fatik untuk pengujian udara paling tinggi, sedangkan pada pengujian laju perambatan retak fatik-korosi pada NaCl 3,5% dan penambahan inhibitor molybdate dengan konsentrasi 0,3%. laju perambatan retak fatik-korosi pada NaCl 3,5% relatif lebih rendah dibandingkan laju perambatan retak fatik udara, atau bisa disimpulkan terjadi peningkatan ketahanan perambatan retak fatik-korosi pada NaCl 3,5%. Sebaliknya pada ketahanan terhadap laju perambatan retak fatik-korosi dengan penambahan inhibitor molybdate dengan konsentrasi 0,3% yang lebih baik. Hasil pengujian fatik di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan inhibitor molybdate dengan konsentrasi 0,3% dapat menyebabkan peningkatan kemampuan menahan laju perambatan retak fatik-korosi pada AA5083.

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan dari penelitian ini dimana laju perambatan retak di udara dibanding 3,5% NaCl dilingkungan air laut terjadi kenaikan umur perambatan retak sebesar 309,66%. Dengan perbandingan penambahan inhibitor molybdate 0,3% dengan 3,5% NaCl terjadi kenaikan umur perambatan retak sebesar 80,16 % sehingga dengan penambahan inhibitor molybdate dengan konsentrasi 0,3% sangat berpengaruh pada laju rambat retak. Dan penggunaan inhibitor korosi molybdate dengan konsentrasi 0,3% dapat mengurangi laju korosi.

Saran

Saran dari penelitian ini, dimana penggunaan inhibitor dengan konsentrasi berbeda maka sangat berpengaruh pada sifat mekanisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, 2004, *Metallography And Microstructures, Volume 9*, ASM International
- ASTM E8-04, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM Internasional.
- ASTM E- 647, *Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*, ASTM International.
- Davis, J.R., 1999, *Corrosion of Aluminium and Aluminium Alloys*, ASM Internasional.
- Guannan Mu , Xianghong Li, Qing Qu, Jun Zhou, 2006, *Molybdate and tungstate as corrosion inhibitors for cold rolling steel in hydrochloric acid solution*, Journal Corrosion Science
- Jenifer S. Warner, Richard P. Gangloff, 2012, *Molybdate inhibition of corrosion fatigue crack propagation in precipitation hardened Al-Cu-Li*, Jounar Corrosion Science
- Jones, D. A., 1992, *Principles And Prevention Of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York.
- K.A. Yasakau, J. Tedim, M.L. Zheludkevich, R. Drumm , M. Shem, M. Wittmar ,M.G.S. Ferreira, 2012, *Cerium molybdate nanowires for active corrosion protection of aluminium alloys*, Journal Corrosion Science
- Li, X., Deng, S.,Fu, H., 2011, *Sodium molybdate as a corrosion inhibitor for aluminium in H3 PO4 solution*, Corrosion Science

Mandal, N. R., 2005, *Aluminum Welding*. Narosa Publishing House, India

M.N. Ilman dkk., 2016, *Mitigating distortion and residual stress by static thermal tensioning to improve fatigue crack growth performance of MIG AA5083 welds*

Polmear, I. J., 1995, *Light Alloys: Metallurgy of the light metals*. Butterworth-Heinemann, Oxford

Roberge, P.R., 2000, *Handbook of Corrosion Engineering*, New York : McGraw Hill, p 157, 770.

Trethewey, K. R. & Chamberlain, J., 1991, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT. Gramedia PustakaUtama, Jakarta.

Zuchry, 2016, *Studi Komparasi Inhibitor Kromat (CrO_4^{2-}), Molybdat (MoO_4^{2-}) Dan Nitrat (NO_3) Terhadap Korosi Dan Laju Perambatan Retak Fatik - Korosi Aa 7050 Dalam Media 3,5 % NaCl*.