

PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU ANODIZING TERHADAP LAJU KOROSI PADA ALUMINIUM PADUAN 2024-T3 DI LINGKUNGAN AIR LAUT

Fajar Nugroho ^{a)}, Mochammad Noer Ilman ^{b)}

a) Jurusan Teknik Industri Fak. Teknik Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

Jl. Kusumanegara No. 157 Yogyakarta 55165.

e-mail : mas_noeg@yahoo.com

b) Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fak. Teknik UGM

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55281

Abstrak

Aluminium seri 2024-T3 banyak diaplikasikan secara luas pada industri pesawat terbang karena memiliki sifat mekanik yang baik seperti ; bobot yang ringan, kekuatan tarik relatif tinggi dan adanya ketahanan korosi yang disebabkan pembentukan lapisan pasif berupa aluminium oksida. Namun demikian Aluminium 2024-T3 rentan terhadap serangan korosi bila berada di lingkungan yang korosif seperti air laut. Salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan korosinya adalah dengan proses anodizing. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh rapat arus dan waktu anodizing dalam mengendalikan laju korosi di lingkungan air laut.

Proses anodizing menggunakan larutan asam sulfat 10% dengan rapat arus antara $0,75 \text{ A/dm}^2$ sampai 3 A/dm^2 dengan waktu pencelupan 30, 40, 50 dan 60 menit. Selanjutnya laju korosi diukur dengan menggunakan metode sel potensial tiga elektrode yang menggunakan kalomel jenuh (Hg_2Cl_2) sebagai elektroda baku dan platina (Pt) sebagai elektroda tambahan. Sebagai data pendukung dilakukan uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan Vickers dan uji tarik.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju korosi Al 2024-T3 di air laut tanpa proses anodizing sebesar $0,03043 \text{ mm/yr}$. Proses anodizing cenderung menurunkan laju korosi dan pada rapat arus $2,25 \text{ A/dm}^2$ dengan waktu 30 menit menunjukkan hasil yang optimum dengan laju korosi sebesar $0,00795 \text{ mm/yr}$. Korosi yang terjadi pada Al 2024-T3 merupakan korosi sumuran (pitting corrosion) yang disebabkan oleh rusaknya selaput pasif. Anodizing mampu meningkatkan ketebalan lapisan aluminium oksida sehingga laju korosi menurun.

Kata kunci: Aluminium Paduan 2024-T3, Anodizing, Rapat Arus, Waktu, Korosi

I. Pendahuluan

Aluminium merupakan logam ringan, kekuatan tarik relatif tinggi dan tahan korosi. Ketahanan korosi ini disebabkan adanya lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium. Ketebalan lapisan oksida ini dapat ditingkatkan dengan proses anodizing. Anodizing merupakan proses pembentukan lapisan oksida dalam suatu sistem elektrolisa. Lapisan oksida yang dihasilkan memiliki ketahanan terhadap pengaruh perubahan cuaca. Ketebalan yang terbentuk pada proses anodizing dipengaruhi oleh konsentrasi larutan elektrolit, rapat arus, dan waktu pencelupan dalam larutan elektrolit.

Penelitian mengenai korosi pada aluminium seri Al 2024-T3 di lingkungan air laut telah dilakukan oleh Ilman dkk., 2009. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju korosi sebesar $I_{corr} 144,91 \mu\text{A/cm}^2$ ekuivalen dengan laju korosi $0,649 \text{ mpy}$ atau $0,0165 \text{ mm/tahun}$ dan pemasifan terjadi pada rentang potensial -400 mV sampai dengan -750mV. Selanjutnya

Yu dkk (2002) meneliti perilaku korosi pada Al seri 2024 setelah proses anodizing dengan larutan elektrolit asam sulfat H_2SO_4 di lingkungan 3,5% NaCl. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa coating yang dihasilkan menjadi pasif pada interval potensial -780 mV sampai dengan -250 mV. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa jika potensialnya dibawah -200mV korosi dapat terjadi pada lapisan oksida.

Selanjutnya Shulgov dkk (2006) melakukan penelitian tentang hubungan kondisi pembentukan lapisan aluminium oksida dengan tegangan breakdown. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya tegangan breakdown tergantung pada larutan elektrolit pada saat proses anodizing.

Apachitei dkk (2006) meneliti pengaruh komposisi substrat, rapat arus, perubahan tegangan dan temperatur selama proses anodizing. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur elektrolit meningkat dengan meningkatnya rapat arus yang digunakan,

sedang ketebalan lapisan yang dihasilkan lebih dipengaruhi oleh besarnya tegangan anodizing dan tidak tergantung pada substrat. Vrublevsky dkk. (2007) melakukan penelitian tentang mekanisme pertumbuhan lapisan oksida aluminium yang porous dengan larutan elektrolit asam sulfat (H₂SO₄). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa porositas yang dihasilkan dalam lapisan tidak dipengaruhi oleh besarnya tegangan anodizing tetapi lebih dipengaruhi oleh jenis material dari substrat.

Mukhurov dkk. (2008) menyelidiki pengaruh komposisi larutan elektrolit pada proses anodizing aluminium. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan sangat bervariasi tergantung pada jenis dan komposisi elektrolit yang digunakan. Dalam penelitian ini juga disebutkan bahwa ketebalan yang dihasilkan juga disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur elektrolit.

Pooladi dkk. (2009) meneliti proses anodizing aluminium seri 1100 dengan variabel tegangan anodizing dan waktu anodizing. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa lapisan aluminium oksida yang dihasilkan tergantung pada temperatur elektrolit, rapat arus, dan proses polishing dari permukaan substrat. Selanjutnya Masruri (2010) menyelidiki pengaruh variasi konsentrasi elektrolit dan rapat arus pada proses anodizing aluminium seri 1xxx. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kekerasan meningkat secara signifikan sebesar ± 20 % pada larutan elektrolit 10% H₂SO₄ dengan rapat arus 3A/dm² dan ketahanan terhadap korosi juga meningkat.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, penelitian pengaruh rapat arus dan waktu anodizing untuk mengendalikan laju korosi aluminium paduan 2024-T3 dalam media korosi air laut belum pernah dilakukan sehingga menjadi obyek dari penelitian ini.

II. Metode Penelitian

2.1. Karakterisasi Material

Material

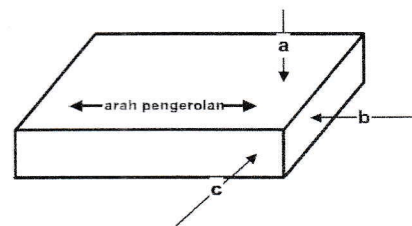
Uji komposisi material dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui jenis dan spesifikasi dari material yang digunakan.

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada tiga bidang yaitu permukaan, melintang dan membeujur. Preparasi spesimen dengan cara dipoles dan dietsa dengan cairan kimia Keller's reagent selama 10-20 detik.

Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan awal dan kekerasan setelah spesimen mengalami proses anodizing. Peralatan yang digunakan untuk uji kekerasan Buehler Microhardness Tester dengan metode Vickers. Posisi pengujian ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1. Posisi pengujian kekerasan mikro

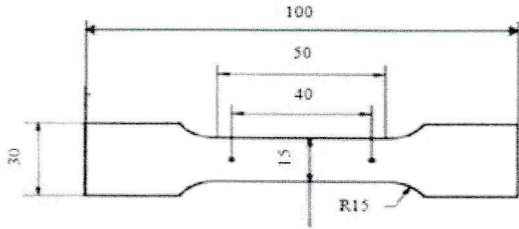
Nilai kekerasan mikro didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana: *VHN* = Nilai kekerasan spesimen
P = Beban terpasang (gram)
d = diagonal bekas injakan penetrator (mm)

Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan material awal Aluminium paduan seri 2024-T3. Sehingga diperoleh sifat mekanis bahan uji seperti ; batas elastisitas, kekuatan luluh dan kekuatan tarik. Dalam uji tarik ini dilakukan sesuai dengan arah pengerolan material. Spesimen dibuat menurut standar JIS Z2201 material non ferrous nomor 6. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan uji tarik adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Spesimen Uji tarik Sesuai standar JIS Z2201 non ferrous metal no.6

$$\text{Engineering stress : } \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

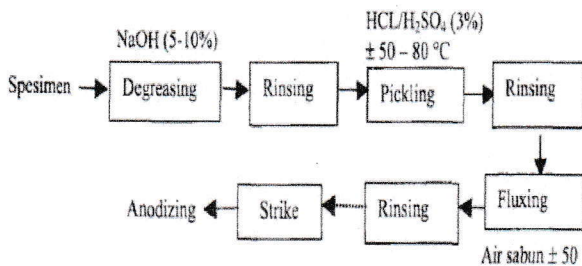
$$\text{Engineering Strain : } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (3)$$

Dimana :

- σ : tegangan (kgf/mm²)
- F : beban (kgf)
- A₀: Luas penampang patah (mm²)
- ε : regangan (%)
- ΔL : pertambahan panjang (mm)
- L₀ : panjang mula-mula (mm)
- L : panjang benda uji setelah pengujian.

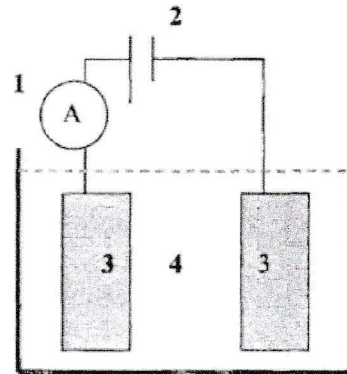
2.2. Anodizing.

Spesimen uji adalah Aluminium 2024-T3 dengan dimensi 100 x 40 x 1,7 mm. Preparasi dilakukan adalah degreasing, pickling fluxing, strike, anodizing dan sealing. Pembersihan permukaan dilakukan dengan merendam spesimen uji dalam larutan NaOH kadar 5 -10% selama 10 - 20 menit. Pembersihan spesimen uji dari scale (*pickling*) dilakukan dengan merendam dalam larutan H₂SO₄ (5 - 15 %). Pembersihan permukaan spesimen uji dari sisa-sisa asam sulfat sehabis proses pickling, dilakukan dengan merendam spesimen uji dalam larutan air sabun (*fluxing*) sehingga terjadi proses penetralan asam oleh sabun dengan temperatur air ± 50°C (Gambar 3).



Gambar 3. Skema tahapan preparasi pada proses anodizing

Proses anodizing dilakukan dengan memasukkan 2 spesimen aluminium 2024-T3 ke dalam bak yang berisi larutan asam dengan variasi waktu anodizing pada asam sulfat (H₂SO₄) dengan konsentrasi 10%. Selanjutnya aluminium ini berfungsi sebagai elektroda (anoda dan katoda) yang dihubungkan dengan rectifier, selama 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit dengan variasi arus 0,75 A/dm², 1,50 A/dm², 2,25 A/dm² dan 3,00 A/dm² (Gambar 4)



Gambar 4. Skema peralatan

1. Avometer
2. Rectifier
3. Elektroda
4. Larutan elektrolit

2.3. Pengujian Korosi.

Pengujian korosi dilakukan dengan Pengujian korosi menggunakan mesin uji korosi sel tiga elektroda yang merupakan alat uji korosi sederhana sebagai penyempurnaan dari sel korosi basah. Alat ini terdiri dari 3 elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding (kalomel) dan elektroda pembantu (platina) yang dirangkai dengan unit komputer. Sistem kerjanya, benda kerja berbentuk lingkaran dengan diameter 14 mm dengan ketebalan 3 mm ditempatkan pada elektroda kerja sebagai anoda kemudian diberi media larutan elektrolit berupa air laut. Laju korosi dalam dihitung menurut persamaan berikut :

$$= 0,129 \frac{i(EW)}{D} \quad (4)$$

- Dimana ; i : rapat arus korosi (A/cm²)
 EW : berat ekuivalen
 D : Berat jenis sampel (g/cm³)

III. Hasil dan Pembahasan.

3.1. Karakterisasi Material

Hasil uji komposisi dibandingkan dengan komposisi material standar. Dari hasil uji komposisi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen yang akan diteliti mempunyai komposisi yang masuk dalam batasan dari komposisi material standar Al 2024-T3 (asm.matweb.com, 2011). Hasil uji komposisi yang telah dilakukan adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia

Komposisi Kimia	Standar (Wt %)	Spesimen (Wt %)
Si	≤0.5	0.5
Fe	≤0.5	0.5
Cu	3.8-4.9	3.9
Mn	0.3-0.9	0.6
Mg	1.2-1.8	1.5
Zn	≤0.25	0.25
Cr	≤0.1	0.1
Ti	≤0.15	0.15
Al	90.7-94.7	92.5

Hasil uji tarik terhadap material spesimen ternyata juga menunjukkan masih mempunyai tegangan tarik maksimal (σ_T), tegangan luluh (σ_y) dan *elongation* (ϵ) masih termasuk berada dalam batasan material standar Al 2024-T3 (asm.matweb.com, 2011) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

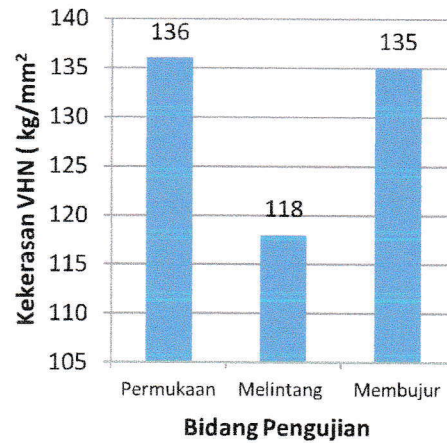
Tabel 2. Perbandingan kekuatan tarik dan elongation

Material	Stress (MPa)		Elongation
	σ_T	σ_y	(%)
Standar	482	345	18
Spesimen	463	360	17.8

Pengujian kekerasan Vickers Al 2024-T3 dilakukan pada bidang permukaan, membujur dan melintang pelat. Hasil dari pengujian ini terlihat pada Tabel 3.

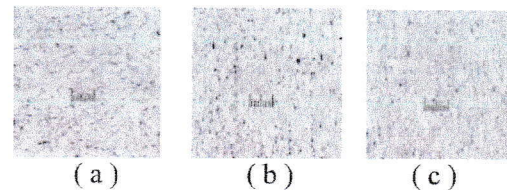
Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan

Bidang Uji kekerasan	Kekerasan VHN (Kg/mm ²)
Permukaan	136
Melintang	118
Membujur	135



Gambar 5. Grafik Kekerasan Al 2024-T3 tanpa anodizing

Hasil uji struktur mikro Al 2024-T3 seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur mikro Al 2024 T3 (a) permukaan, (b) membujur, dan (c) melintang

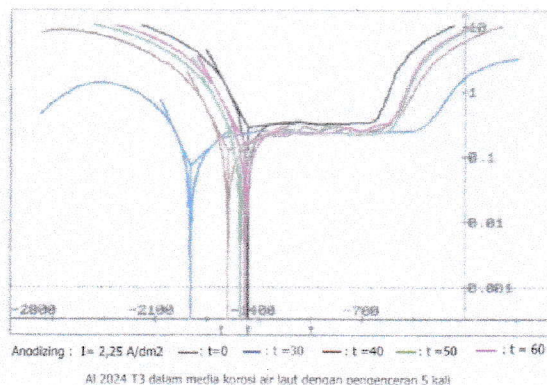
Foto struktur mikro menunjukkan bahwa bentuk butir untuk posisi yang berbeda juga memiliki bentuk yang berbeda. Hal kemungkinan disebabkan oleh adanya pengaruh gaya yang bekerja pada proses pengerolan pembentukan pelat Al 2024 T3.

3.2. Pengaruh anodizing terhadap Laju Korosi.

Al 2024-T3 yang telah diproses anodizing selanjutnya diuji korosi dengan menggunakan sel potensial tiga elektrode. Dari ekstrapolasi diagram Tafel menunjukkan bahwa proses anodizing dapat menurunkan laju korosi pada Al 2024-T3 dalam media korosi air laut.

Pengujian korosi Al 2024-T3 yang telah diproses anodizing dengan rapat arus 0,75 A/dm², 1,50 A/dm², 2,25 A/dm² dan 3,00 A/dm² dan waktu pencelupan selama 0, 30, 40, 50 dan 60 menit, memberikan data seperti dalam Tabel 4.

Laju korosi tanpa perlakuan anodizing adalah sebesar 0,03043 mm/yr, namun setelah mengalami proses anodizing, laju korosi pada Al 2024-T3 cenderung menurun. Penurunan laju korosi ini disebabkan adanya peningkatan ketebalan dari lapisan pasif berupa aluminium oksida Al₂O₃ pada Al 2024-T3 seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Tafel Al 2024-T3 anodizing dengan rapat arus 2,25 A/dm².

Hasil pengamatan bentuk kurva polarisasi seperti Gambar 7 di atas memperlihatkan bahwa dalam lingkungan air laut tanpa proses anodizing menghasilkan daerah pasif antara -1400 sampai dengan -700 mV. Setelah anodizing, daerah pasif Al 2024-T3 akan meningkat menjadi semakin besar. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa untuk proses anodizing dengan konsentrasi larutan elektrolit 10% H₂SO₄ maka besarnya rapat arus dan lamanya waktu pencelupan sangat berpengaruh terhadap penurunan laju korosi.

Anodizing dengan Rapat arus 0.75 A/dm² menunjukkan kecenderungan bahwa semakin lama waktu anodizing akan semakin baik namun pada waktu tertentu akan dicapai nilai optimum.

Begitu juga untuk rapat arus 1,5 A/dm², 2,25A/dm² dan 3,00 A/dm² menunjukkan kecenderungan yang sama. Namun secara keseluruhan nilai optimum dicapai ketika digunakan rapat arus 2,25 A/dm² dengan waktu anodising 30 menit. Daerah pasif meningkat secara signifikan dan berada pada range yang cukup lebar antara -1800 sampai dengan -350 mV, dengan laju korosi sangat rendah yaitu 0,0079 mm/yr.

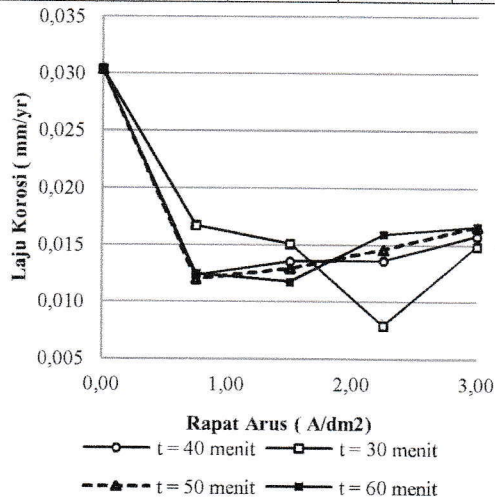
Tabel 4. Data pengujian korosi Al 2024-T3 dalam air laut

Rapat Arus Anodizing (A/dm ²)	Waktu Anodizing (menit)	Laju Korosi	
		E (i=0) E (mV)	I (i=0) I (µA/Cm ²)
0,75	0	-1477,9	267,48
	30	-1717,7	146,78
	40	-1725,4	108,45
	50	-1650,7	105,88
	60	-1675,6	109,97
1,50	0	-1477,9	267,48
	30	-1480,1	132,68
	40	-1612,8	119,36
	50	-1646,0	113,71
	60	-1721,1	108,44
2,25	0	-1477,9	267,48
	30	-1875,0	69,82
	40	-1611,4	119,95
	50	-1524,5	128,65
	60	-1494,2	140,24
3,00	0	-1477,9	267,48
	30	-1573,9	130,91
	40	-1546,9	138,85
	50	-1470,7	146,08
	60	-1473,0	146,27

Besarnya laju korosi untuk berbagai arus dan lamanya waktu anodizing dapat dilihat dalam Tabel 5 dan Gambar 8 dan 9.

Tabel 5. Hubungan antara rapat arus dan waktu anodizing Terhadap Laju Korosi

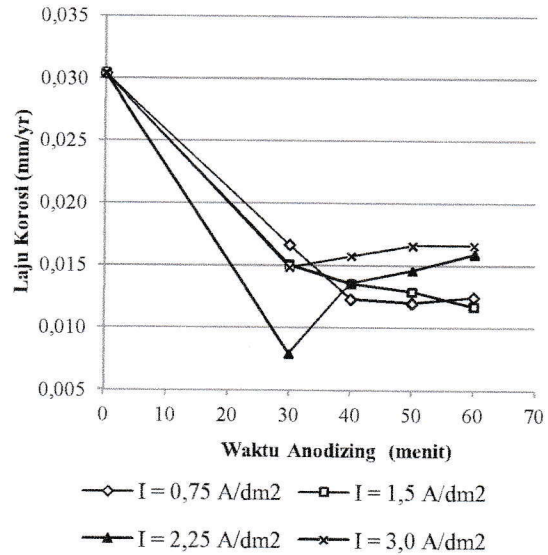
Waktu Anodizing (menit)	Laju Korosi			
	I=0,75 A/dm ² (mm/yr)	I=1,5 A/dm ² (mm/yr)	I=2,25 A/dm ² (mm/yr)	I=3,00 A/dm ² (mm/yr)
0	0,03043	0,03043	0,03043	0,03043
30	0,01670	0,01510	0,00795	0,01490
40	0,01234	0,01358	0,01365	0,01580
50	0,01203	0,01294	0,01464	0,01662
60	0,01251	0,01177	0,01596	0,01664



Gambar 8. Grafik Laju Korosi vs rapat arus anodizing

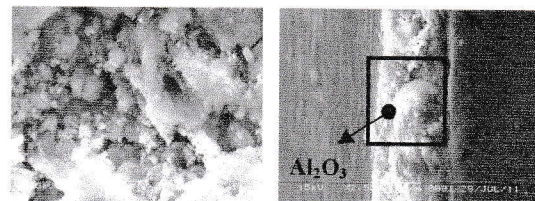
Berdasarkan pengamatan dari Gambar 8 di atas, dapat dilihat bahwa untuk waktu anodising yang tetap maka semakin besar rapat arus yang digunakan maka akan semakin turun laju korosinya. Namun demikian penurunan laju korosi ini tidak berjalan terus karena pada rapat arus tertentu akan dicapai hasil yang optimum. Selanjutnya laju korosi akan meningkat lagi meskipun masih jauh dibawah laju korosi Al 2024-T3 tanpa anodizing.

Pada Gambar 9 memperlihatkan hubungan antara laju korosi dengan waktu anodizing bahwa semakin lama waktu anodizing maka nilai optimum akan diperoleh dengan penggunaan rapat arus yang rendah dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 9. Grafik Laju Korosi vs Waktu Anodizing

Anodizing dengan rapat arus 0,75 A/dm² dan waktu pencelupan selama 50 menit mencapai laju korosi optimum sebesar 0,01203 mm/yr. Anodizing dengan rapat arus 1,5 A/dm² dan waktu pencelupan selama 60 menit mencapai laju korosi optimum sebesar 0,01177 mm/yr. Anodizing dengan rapat arus 2,25 A/dm² dan waktu pencelupan selama 30 menit, mencapai laju korosi optimum sebesar 0,00795 mm/yr. Selanjutnya Anodizing dengan rapat arus 3 A/dm² dan waktu pencelupan 30 menit mencapai laju korosi optimum sebesar 0,01490 mm/yr. Dari Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa laju korosi akan turun dengan bertambah tebalnya lapisan oksida yang terbentuk dan selanjutnya akan mencapai nilai optimum. Namun setelah mencapai nilai optimum maka laju korosi akan meningkat lagi yang kemungkinan disebabkan oleh jenuhnya lapisan aluminum oksida yang terbentuk. Anodizing Al 2024-T3 dengan larutan elektrolit asam sulfat 10% memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap penurunan laju korosi. Adanya pembentukan lapisan oksida terlihat seperti pada Gambar 10.



(a)

(b)



Gambar 10. Foto SEM Anodizing dengan rapat arus 2,25 A/dm² pada Al 2024-T3 :

- (a) SEM permukaan anodizing 5000X
- (b) SEM lapisan Al₂O₃ yang terbentuk 2500X
- (c) SEM lapisan Al₂O₃ anodizing selama 30 menit 2500X
- (d) SEM lapisan Al₂O₃ anodizing selama 60 menit 2500X

Aluminium paduan 2024-T3 tanpa anodizing tidak memiliki lapisan oksida yang tebal dan hanya memiliki sedikit lapisan oksida yang terbentuk secara alami. Namun dengan proses anodizing maka ketebalan lapisan oksida Al₂O₃ dapat ditingkatkan ketebalannya, hal ini dapat dilihat dari hasil SEM seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Permukaan Al 2024-T3 setelah proses anodizing memiliki lapisan oksida Al₂O₃ yang cukup tebal seperti ditunjukkan Gambar 10 (a) dan 10 (b). Peningkatan ketebalan lapisan oksida Al₂O₃ sebagai fungsi waktu dari proses anodizing yang menunjukkan adanya peningkatan ketebalan dari lapisan oksida yang cukup besar pada Al 2024-T3 dapat dilihat pada Gambar 10 (c) dan 10 (d). Lapisan oksida yang terbentuk pada rapat arus 2,25A/dm² dengan waktu anodizing 30 menit adalah sebesar 7-8 μm. Lapisan oksida yang terbentuk akan meningkat dengan semakin lamanya waktu anodizing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 (d), lapisan oksida yang terbentuk pada proses

IV. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dan pengamatan serta pembahasan terhadap parameter yang digunakan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Laju Korosi pada Al 2024-T3 dapat diturunkan dari 0,03043 mm/yr menjadi 0,00795 mm/yr dengan proses anodizing dengan rapat arus optimum 2,25 A/dm² dan waktu pencelupan 30 menit.
2. Waktu anodizing optimal untuk tiap rapat arus yang berbeda bervariasi. Semakin besar rapat arus yang digunakan maka waktu optimalnya cenderung semakin singkat

anodizing dengan rapat arus 2,25A/dm² dengan waktu anodizing 30 menit adalah sebesar 10-12 μm.

Selanjutnya lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan Al 2024-T3 ini tidak dalam bentuk merata, tetapi dalam bentuk yang berpori-pori, seperti ditunjukkan pada hasil SEM pada Gambar 10 (a). Besar dan jumlah pori-pori yang terbentuk tergantung pada rapat arus yang digunakan dan waktu anodizing. Jumlah pori-pori yang terbentuk akan semakin banyak apabila rapat arus proses anodizing semakin besar dan waktu anodizing juga semakin lama. Jumlah pori-pori yang telah melewati nilai optimumnya maka akan menyebabkan lemahnya ikatan lapisan pasif di permukaan aluminium sehingga akan menyebabkan laju korosinya akan meningkat. Namun demikian peningkatan laju korosi ini masih jauh di bawah dari laju korosi dari Aluminium Al 2024-T3 tanpa proses anodizing.

Pada penelitian ini proses anodizing yang optimal untuk mengendalikan laju korosi adalah pada rapat arus 2,25A/dm² dengan waktu pencelupan 30 menit.

Korosi yang terjadi pada aluminium umumnya berupa korosi sumuran (*pitting corrosion*). Berdasarkan pengamatan dari struktur mikro Al 2024-T3 setelah dilakukan perendaman selama 24 jam pada media korosi air laut terlihat bahwa bentuk serangan dari korosi berupa serangan lokal dengan bentuk korosi sumuran (*pitting corrosion*).

Daftar Pustaka.

- ASM Handbook, 1992, *Corrosion, Metal Handbook*, Vol.13.
- Apachitei, L.EF., Apachitei, I., Duszczyk, 2006, *Thermal Effects Associated with Hard Anodizing of Cast Aluminum Alloys*, Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 36, pp. 481-486.
- Canning, W., 1970, *Canning Hand Book on Elektroplating*, 2nd edition, pp. 695-706
- Fontana, M.G., 1986, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, 3th edition, New York.
- Hatch, E.J., 1984 *Aluminum Properties and Physical Metallurgy*, Ohio, American Society for Metal

- <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T3>
- Ilman, Yustiasih P., Triono., 2009, *Corrosion Fatigue Crack Growth Rate Behaviour of Al2024-T3 in Seawater Environment*,
- Jones, D.A., 1991, *Principle and Prevention of Corrosion*, Mc. Millan Publishing Company, New York
- Masruri, D., 2010, *Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Asam Sulfat dan Rapat Arus Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Ketahanan Korosi Hasil Proses anodisasi Aluminium*, Thesis, Universitas Gadjah Mada
- Mukhurov, N.I., Zhvayi, S.P., Terekhov, S.N., 2008, *Influence of Electrolyte Composition on Photoluminescent Properties of anodic Aluminum Oxide*, Journal of Applied Spectroscopy, Vol.75, pp. 214-217
- Pooladi, R., Rezai, H., Aezami, M., Sayyar, M.R., 2009, *Fabrication of Anodic Aluminum Oxide Nanotemplate and Investigation of Their Anodization Parameters*, Transaction of Indian Institute of Metals, Vol. 62, Issue 3, pp. 241-244.
- Shulgov, V., Ignasheve, E., Gurskaja, E., 2007, *Correlation Between Formation Condition and Breakdown Voltage of Anodic Films on Aluminum*, *Microchimica Acta*, Springer-Verlag, pp. 147-150.
- Uhlig, H.M., 2000, *Uhlig's Corrosion Handbook*, 2nd edition, John Wiley & Sons Inc.
- Vrublevsky, I., Parkoun, V., Sokol, V., Schreckenbach, J., Goedel, W.A., 2007, *Dissolution Behaviour of Anodic Oxide Film Formed in Sulfanic Acid on Aluminum*, *Microchimica Acta*, Springer-Verlag, pp. 173-179.