

Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Anodizing Terhadap Ketebalan Lapisan Aluminium Oksida pada Aluminium Paduan AA 2024-T3

Fajar Nugroho

Jurusan Teknik Mesin STT Adisutjipto

Jl. Janti Blok-R Lanud Adi Sucipto Yogyakarta.

e-mail : mas_noeg@yahoo.com

Abstrak

Aluminium paduan AA 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 lapisan pasif yang terbentuk secara alami ini memiliki ketebalan yang relatif sangat tipis. Salah satu usaha untuk meningkatkan ketebalan aluminium oksida adalah dengan proses anodizing. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh rapat arus dan waktu anodizing dalam meningkatkan ketebalan lapisan aluminium oksida pada aluminium paduan AA 2024-T3

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 ketebalan lapisan aluminium oksida yang terbentuk diukur dengan menggunakan alat Dual Scope Mpor dalam skala μm . Sebagai data pendukung dilakukan uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan Vickers dan uji tarik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan aluminium oksida pada aluminium paduan AA 2024-T3 dapat ditingkatkan dengan proses anodizing. Anodizing mampu meningkatkan ketebalan lapisan aluminium oksida sehingga laju korosi menurun.

Kata kunci: AA 2024-T3, Anodizing, Rapat Arus, Waktu, Ketebalan

1. 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.

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. Selain dipengaruhi oleh larutan elektrolit dan tegangan breakdown, Apachitei dkk (2006) menyatakan bahwa pembentukan lapisan aluminium oksida juga 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 (H_2SO_4). 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. Selanjutnya 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.

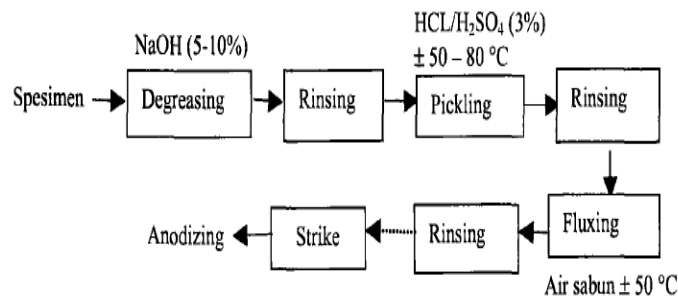
2. Metodologi

2.1. Karakterisasi Material

Karakterisasi material yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji komposisi, pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik. Uji komposisi material dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui jenis dan spesifikasi dari material yang digunakan. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada tiga bidang yaitu permukaan, melintang dan membujur. Preparasi spesimen dengan cara dipoles dan dietsa dengan cairan kimia Keller's reagent selama 10-20 detik. 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. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan material awal aluminium paduan AA 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.

2.2. Anodizing.

Spesimen uji adalah aluminium paduan AA 2024-T3 dengan dimensi 100 mm x 40 mm 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* 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 1).



Gambar 1. Skema tahapan preparasi pada proses anodizing

Proses anodizing dilakukan dengan memasukkan 2 (dua buah) spesimen aluminium paduan AA 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.

2.3. Pengujian Ketebalan Lapisan Aluminium oksida

Pengujian ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan setelah proses anodizing dilakukan dengan menggunakan alat uji ketebalan lapisan jenis *Dual Scope Mpor*. Pengujian ketebalan lapisan aluminium oksida ini untuk mengetahui besarnya peningkatan ketebalan aluminium oksida Al₂O₃.

3. Hasil dan Pembahasan.

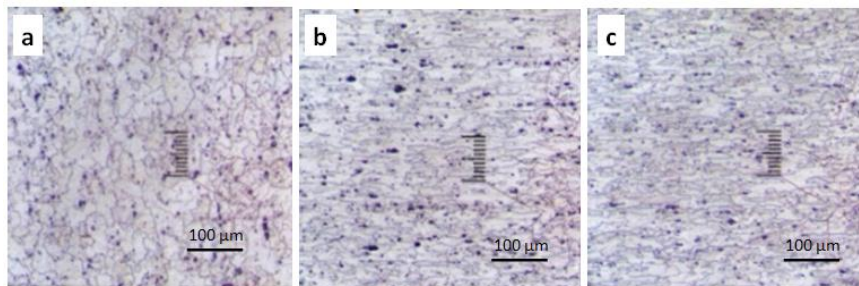
3.1. Karakterisasi Material

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 aluminium paduan AA 2024-T3. Hasil uji komposisi yang telah dilakukan adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia AA 2024-T3

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
Standar (Wt. %)	≤0,5	≤0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	≤0,25	≤0,1	≤0,15	90,7-94,7
Spesimen (Wt. %)	0,5	0,5	3,9	0,6	1,5	0,25	0,1	0,15	92,5

Hasil uji tarik terhadap material spesimen ternyata juga menunjukkan masih mempunyai tegangan tarik maksimal (σ_T) 463 Mpa tegangan luluh (σ_y) 360 Mpa dan *elongation* (ϵ) 17,8% masih termasuk berada dalam batasan material standar Al 2024-T3. Selanjutnya dari hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan pada permukaan pengerolan sebesar 136 HVN, kekerasan pada penampang melintang sebesar 118 HVN dan kekerasan pada penampang membujur sebesar 135 HVN.

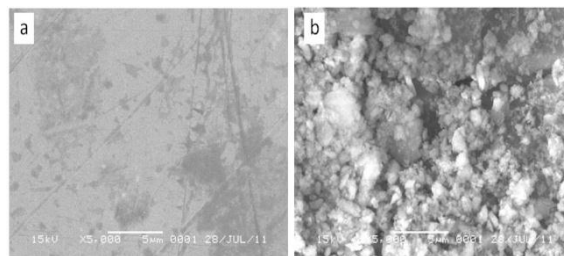


Gambar 2. Struktur mikro AA 2024-T3
(a) permukaan, (b) membujur, dan (c) melintang

Hasil uji struktur mikro aluminium paduan AA 2024-T3 seperti ditunjukkan pada Gambar 2. 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 aluminium paduan AA 2024-T3.

3.2. Pengaruh anodizing terhadap Ketebalan Lapisan Aluminium oksida

Aluminium paduan AA 2024-T3 tanpa perlakuan proses anodizing memiliki lapisan Al_2O_3 yang tipis dengan permukaan seperti pada Gambar 3(a). Dari pengamatan hasil foto SEM menunjukkan bahwa pada permukaan aluminium paduan AA 2024-T3 tanpa anodizing terlihat rata. Jika dibandingkan dengan Gambar 3(a), hasil foto SEM aluminium paduan AA 2024-T3 setelah anodizing seperti terlihat pada Gambar 3(b), memperlihatkan adanya lapisan permukaan yang tidak merata dan bersifat porous atau berpori-pori. Permukaan yang berpori merupakan karakteristik dari material yang mengalami proses anodizing.



Gambar 3. Foto SEM permukaan AA 2024-T3
(a) tanpa anodizing, (b) dengan anodizing

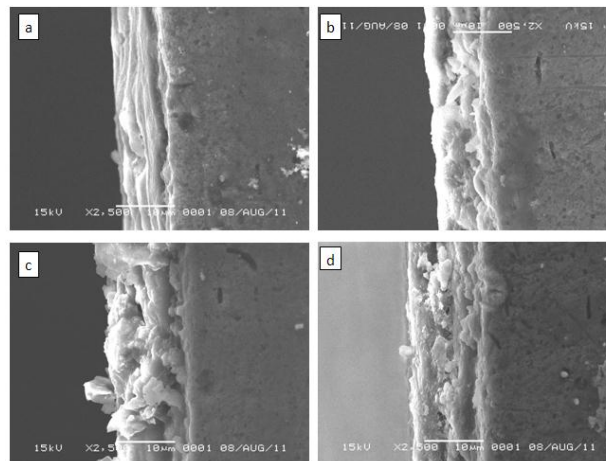
Gambar 3(b). menunjukkan pelat paduan aluminium paduan AA 2024-T3 setelah proses anodizing pada rapat arus $2,25 A/dm^2$ dengan waktu pencelupan selama 30 menit. Pengamatan terhadap foto SEM permukaan menunjukkan adanya bentuk lapisan aluminium oksida Al_2O_3 .

Bentuk lapisan aluminium oksida yang terbentuk berupa lapisan yang berpori-pori dan tidak merata pada permukaan.

Semakin lama proses anodizing maka akan menyebabkan pori-pori bertambah semakin banyak dan ukuran pori-pori semakin besar. Pada proses anodizing dengan rapat arus $0,75 \text{ A/dm}^2$ telah terbentuk lapisan aluminium oksida Al_2O_3 pada permukaan aluminium paduan AA 2024-T3 dengan jumlah pori-pori yang relatif kecil. Selanjutnya untuk proses anodizing yang lebih lama menyebabkan bertambahnya jumlah pori-pori yang terbentuk pada lapisan aluminium oksida Al_2O_3 . Proses anodizing dengan rapat arus yang semakin besar ternyata juga memberikan hasil memiliki kecenderungan yang sama, yaitu semakin besar rapat arus yang digunakan pada proses anodizing maka akan menghasilkan pori-pori dalam jumlah yang lebih besar.

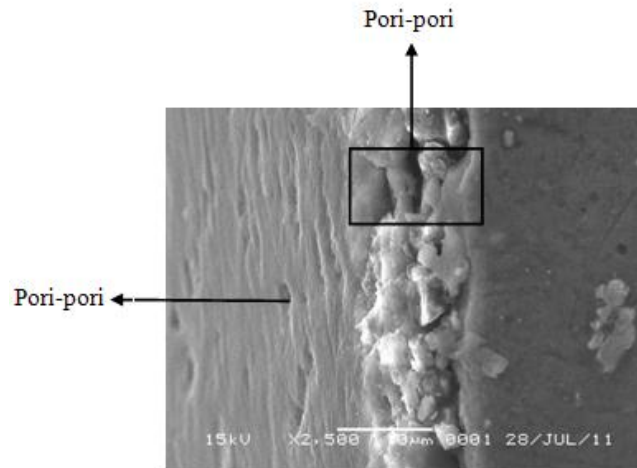
Ukuran dan jumlah pori-pori pada proses anodizing aluminium merupakan indikasi terbentuknya lapisan aluminium oksida. Namun demikian pengamatan struktur mikro permukaan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan menunjukkan adanya permukaan lapisan yang tidak rata. Ketidakrataan lapisan aluminium oksida ini disebabkan adanya arus dan energi yang berlebihan sehingga terjadi proses peluruhan kembali lapisan aluminium oksida ke dalam larutan elektrolit yang cukup besar, dan menyebabkan terbentuknya pori-pori pada lapisan aluminium oksida yang terlalu besar. Lapisan aluminium oksida yang terbentuk ini sangat berpengaruh pada sifat ketahanan korosi pada aluminium paduan AA 2024-T3. Namun demikian, jika pori-pori yang dihasilkan terlalu besar atau melampaui ukuran optimumnya maka akan menyebabkan ketahanan korosinya tidak optimum atau kembali meningkat, meskipun masih tetap lebih tahan terhadap korosi bila dibandingkan dengan *raw material*. Sedang jumlah dan ukuran pori-pori sangat menentukan dalam proses pewarnaan aluminium sebagai proses akhir anodizing.

Gambar 4. menunjukkan ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan selama proses anodizing dengan rapat arus $2,25 \text{ A/dm}^2$ dengan variasi waktu 30, 40, 50, dan 60 menit. Aluminium paduan 2024-T3 tanpa anodizing tidak memiliki lapisan aluminium oksida yang tebal dan hanya memiliki sedikit lapisan aluminium oksida yang terbentuk secara alami. Namun dengan proses anodizing maka ketebalan lapisan oksida Al_2O_3 dapat ditingkatkan ketebalannya, hal ini dapat dilihat dari foto hasil SEM yang menunjukkan adanya peningkatan ketebalan dari lapisan aluminium oksida yang cukup besar pada aluminium paduan AA 2024-T3. Lapisan aluminium oksida yang terbentuk pada proses anodizing dengan rapat arus $2,25 \text{ A/dm}^2$ memiliki ketebalan antara $8 \mu\text{m}$ sampai dengan $15 \mu\text{m}$. Bentuk lapisan yang terbentuk tidak merata dan cenderung membentuk pori-pori. Ukuran dan jumlah pori-pori yang terbentuk tergantung pada rapat arus dan waktu anodizing yang digunakan. 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.



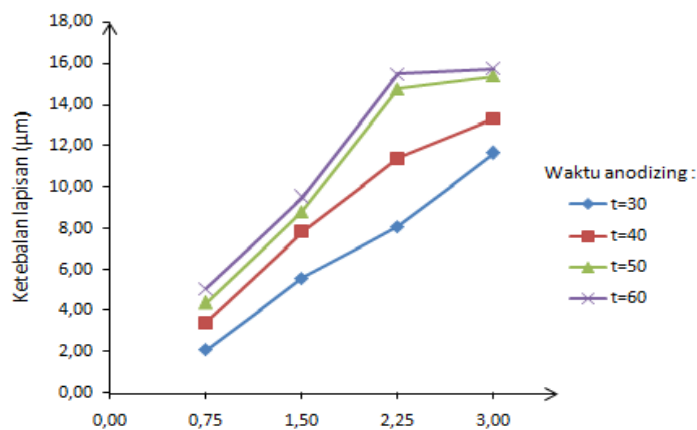
Gambar 4. Foto SEM ketebalan Al_2O_3 setelah anodizing dengan rapat arus $2,25 \text{ A/dm}^2$ dan waktu (a) 30 menit, (b) 40 menit, (c) 50 menit dan (d) 60 menit.

Gambar 5. merupakan foto SEM penampang pada spesimen aluminium paduan AA 2024-T3. Dari pengamatan foto SEM terlihat bahwa proses anodizing menghasilkan lapisan aluminium oksida yang cukup tebal. Namun demikian lapisan yang dihasilkan tidak merata tetapi berpori-pori. Ukuran sel, jumlah pori per satuan luas tergantung pada jenis elektrolit, rapat arus, temperatur operasi elektrolit dan waktu anodizing yang digunakan. Anodizing dengan menggunakan larutan elektrolit asam sulfat H_2SO_4 secara teoritis bisa menghasilkan pori-pori hingga 498×10^9 untuk setiap meter persegi.



Gambar 5. Foto SEM penampang Al 2024-T3 hasil anodizing

Ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan selama proses anodizing untuk variasi rapat arus $0,75 \text{ A/dm}^2$; $1,50 \text{ A/dm}^2$; $2,25 \text{ A/dm}^2$ dan $3,00 \text{ A/dm}^2$, dengan waktu anodizing 30, 40, 50 dan 60 menit, ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Gambar 7.

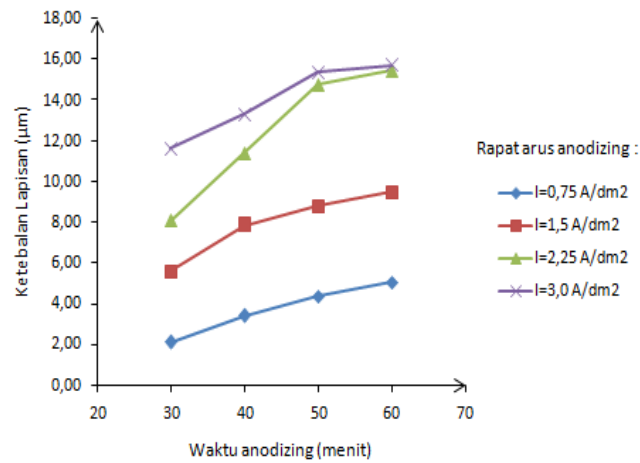


Gambar 6. Pengaruh rapat arus anodizing terhadap ketebalan lapisan.

Pengaruh rapat arus anodizing pada aluminium paduan AA 2024-T3 terhadap ketebalan aluminium oksida Al_2O_3 yang dihasilkan selama proses anodizing ditunjukkan Gambar 6. Rapat arus yang semakin besar pada proses anodizing, menghasilkan lapisan aluminium oksida yang semakin tebal. Namun dalam penelitian ini belum menghasilkan titik optimum dimana ketebalan yang dihasilkan mencapai titik jenuh.

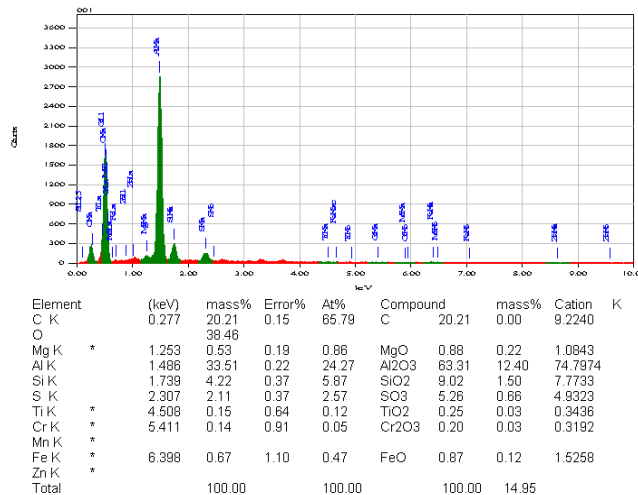
Hubungan pengaruh waktu anodizing terhadap ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan pada proses anodizing pada aluminium paduan AA 2024-T3 ditunjukkan pada Gambar 7. Ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan ternyata memiliki korelasi dengan waktu anodizing. Untuk berbagai rapat arus yang digunakan sebagai variabel tetap dan waktu anodizing 30, 40, 50, dan 60 menit, ternyata menunjukkan adanya kecenderungan bertambahnya ketebalan

lapisan yang dihasilkan. Semakin lama waktu yang digunakan pada proses anodizing maka akan dihasilkan ketebalan lapisan aluminium oksida yang semakin tebal. Kecenderungan ini ditunjukkan oleh semua variabel waktu anodizing untuk berbagai rapat arus.



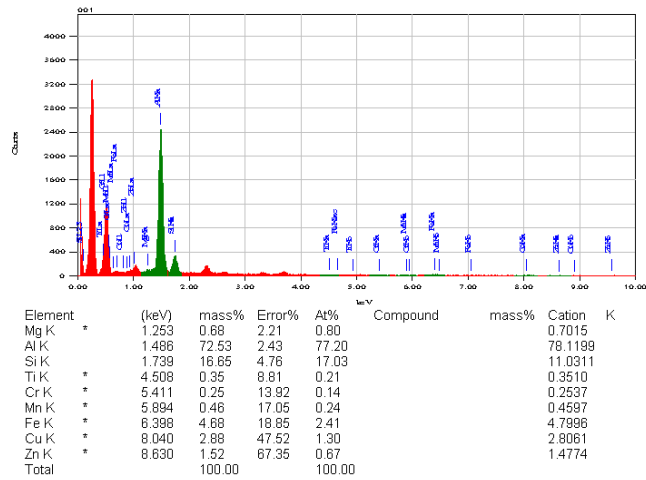
Gambar 7. Pengaruh waktu anodizing terhadap ketebalan lapisan Al₂O₃.

Lapisan pasif aluminium oksida pada *raw material* tidak dapat dilihat dengan mikroskop maupun dideteksi dengan uji EDX. Lapisan aluminium oksida yang dihasilkan pada proses anodizing merupakan lapisan permukaan aluminium oksida yang tidak merata. Setelah proses anodizing aluminium paduan AA 2024-T3 akan memiliki pori-pori dengan ukuran dan jumlah tertentu, namun ketebalan lapisan oksidanya meningkat. Adanya pori-pori inilah yang bisa menjelaskan fenomena menurunnya kandungan aluminium oksida setelah proses anodizing. Pori-pori yang dihasilkan pada proses anodizing akan sangat bermanfaat pada saat dilakukan pewarnaan pada material aluminium. Kualitas hasil pewarnaan umumnya juga ditentukan oleh kualitas proses anodizing, semakin banyak jumlah pori-pori yang dihasilkan maka akan semakin baik pula kualitas pewarnaan pada aluminium.



Gambar 8. Hasil Uji EDX Al 2024-T3 hasil anodizing dengan rapat arus 2,25 A/dm² selama 60 menit.

Gambar 9. merupakan hasil EDX pada lapisan aluminium oksida yang terbentuk setelah proses anodizing. Berdasarkan hasil EDX tersebut maka dapat diketahui bahwa lapisan yang terbentuk mengandung unsur-unsur murni seperti pada aluminium paduan AA 2024-T3. Unsur-unsur yang terdapat pada lapisan tersebut membentuk senyawa oksida seperti terlihat pada hasil EDX pada lapisan yang terbentuk dalam keadaan ikatan oksida.



Gambar 9. EDX Lapisan aluminium oksida

4. Kesimpulan

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

1. Semakin besar rapat arus pada proses anodizing, maka akan menghasilkan lapisan aluminium oksida yang semakin tebal.
2. Semakin lama waktu yang digunakan pada proses anodizing maka akan dihasilkan ketebalan lapisan aluminium oksida yang semakin tebal

Daftar Pustaka.

- ASM Handbook, 1992, “*Corrosion*”, Metal Handbook, Vol.13.
- 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.
- Apachitei, L.EF., Apachitei, I., Duszcyk, 2006, “*Thermal Effects Associated with Hard Anodizing of Cast Aluminum Alloys*”, *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 36, pp. 481-486.
- Callister, W.D., 2007, “*Material Science and Engineering an Introduction*”, 7th edition, John Wiley.
- 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.
- Jones, D.A., 1991, “*Principle and Prevention of Corrosion*”, Mc. Millan Publishing Company, New York
- 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.
- 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.
- Shulgov, V., Ignasheve, E., Gurskaja, E., 2007, “*Correlation Between Formation Condition and Breakdown Voltage of Anodic Films on Aluminum*”, *Microchimica Acta*, Springer-Verlag.
- 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.