

PENGARUH RAPAT ARUS *ANODIZING* TERHADAP NILAI KEKERASAN PADA PLAT ALUMINIUM PADUAN AA SERI 2024-T3

Fajar Nugroho

Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jalan Janti Blok-R Lanud Adisutjipto, Yogyakarta
mas_noeg@yahoo.com

Abstract

Aluminum alloy AA 2024-T3 is widely applied in the aircraft industry because it has good mechanical properties such as; light weight, good conductivity and the corrosion resistance. However Aluminium 2024-T3 susceptible to wearing. One method to improve the wear resistance of AA 2024-T3 is the anodizing process. The aims of this research to study the effect of current density and anodizing time against the hardness of aluminum alloy AA 2024-T3.

The process of anodizing was carried out using 10 percent sulfuric acid solution with the current density of 1.5 Ampere per decimeters square, 3.0 Ampere per decimeters square and 4.5 Ampere per decimeters square with immersion times of 30, 40, 50 and 60 minutes. Furthermore, the surface hardness was measured by using the Vickers hardness test method. As the supporting data the composition of the test conducted, testing the microstructure, and vickers hardness test.

This study shows that the surface hardness of aluminum alloy AA 2024-T3 is influenced by the current density and anodizing time with varying values. Its shows that higher current density of the anodizing caused optimal time tends to be short. The longer anodising time it will produce greater layer of aluminum oxide.

Keywords: aluminium alloy AA 2024-T3, anodizing, current density, time, hardness

Abstrak

Aluminium seri 2024-T3 diaplikasikan secara luas pada industri pesawat terbang karena memiliki sifat mekanik yang baik seperti; bobot yang ringan, konduktivitas yang baik dan adanya ketahanan korosi yang cukup baik. Namun demikian Aluminium 2024-T3 rentan terhadap keausan. Salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan aus adalah dengan proses *anodizing*. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh rapat arus dan waktu *anodizing* terhadap nilai kekerasan aluminium AA 2024-T3.

Proses *anodizing* menggunakan larutan asam sulfat 10 persen dengan rapat arus antara 1,5 Ampere per desimeter persegi, 3 Ampere per desimeter persegi dan 4,5 Ampere per desimeter persegi dengan waktu pencelupan 30, 40, 50 dan 60 menit. Selanjutnya benda uji diuji kekerasan permukaannya, dan diuji struktur mikronya. Data pendukung dari penelitian ini adalah uji komposisi, uji struktur mikro dan uji kekerasan vickers.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan pelat aluminium paduan AA 2024-T3 dipengaruhi oleh rapat arus dan waktu *anodizing* dengan nilai yang bervariasi. Rapat

arus semakin besar maka waktu optimal *anodizing* cenderung semakin singkat. Semakin lama waktu *anodizing* maka akan dihasilkan lapisan aluminium oksida yang semakin besar.

Kata kunci: aluminium paduan 2024-T3, *anodizing*, rapat arus, waktu, kekerasan

1. Pendahuluan

Aluminium merupakan material yang digunakan secara luas di industri karena memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan material lain yaitu aluminium merupakan logam ringan, konduktivitas panas dan listrik tinggi. Aluminium juga memiliki sifat mampu mesin (*machinability*) dan sifat mampu cor (*castability*) baik, serta tahan terhadap korosi.

Salah satu jenis aluminium paduan yang banyak digunakan adalah aluminium paduan seri 2024-T3 yang merupakan paduan logam Al-Cu dengan 3,8 – 4,9 % tembaga, sedang T3 adalah proses perlakuan panas yang terdiri dari pelarutan padat (*solid solution*), *quenching* dan proses *aging* untuk mencapai tingkat kekerasan yang lebih baik (Polmear, 1981). Logam paduan ini biasanya digunakan untuk aplikasi pada struktur pesawat terbang seperti permukaan badan pesawat, permukaan dinding pesawat dan permukaan sayap bagian bawah (Staley dan Lege, 1993). Namun demikian aluminium paduan seri 2024-T3 rentan terhadap keausan yang disebabkan tingkat kekerasan yang relatif rendah.

Beberapa komponen yang bekerja pada lingkungan abrasif dan bersinggungan dengan material lain cenderung lebih cepat aus. Proses tersebut disebabkan oleh rusaknya lapisan aluminium oksida pada permukaan aluminium yang sangat mempengaruhi dari nilai kekerasan. Penelitian ini akan mempelajari pengaruh rapat arus dan waktu proses *anodizing* terhadap nilai kekerasan AA 2024-T3.

Proses *anodizing* mempunyai peranan yang penting dalam industri manufaktur, seperti industri mesin, perakitan kendaraan bermotor, industri pesawat terbang dan barang-barang logam lainnya. *Anodizing* dilakukan untuk mendapatkan lapisan oksida yang lebih tebal dan seragam pada permukaan aluminium. Beberapa penelitian dengan obyek penelitian *anodizing* telah dilakukan antara lain sebagai berikut. 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. 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. Saeler dkk. (2009) meneliti perilaku dari *fretting* pada paduan Al 2024-T3 setelah dilakukan proses *anodizing*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa setelah proses *anodizing* kekerasannya

meningkat secara signifikan dari 175 VHN menjadi 380 VHN dan ketahanan terhadap *fretting* juga meningkat. 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 $\pm 20\%$ pada larutan elektrolit 10% asam sulfat dengan rapat arus 3A/dm² dan ketahanan terhadap korosi juga meningkat. Soekrisno (2012) melakukan penelitian tentang proses optimalisasi temperatur *hard anodizing* terhadap ketahanan aus, kekerasan serta ketebalan lapisan oksida aluminium paduan. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa kekerasan aluminium paduan akan meningkat dengan meningkatnya suhu elektrolit dengan ketebalan lapisan oksida yang semakin tebal. Nugroho (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi rapat arus dan waktu anodising terhadap ketebalan lapisan aluminium oksida pada AA 2024 T3. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ketebalan lapisan aluminium oksida akan meningkat dengan meningkatnya rapat arus dan lama waktu pencelupan dalam larutan elektrolit. Ketebalan lapisan aluminium oksida mencapai nilai optimum berkisar 10 μm – 15 μm .

Dari kajian pustaka yang telah dilakukan, peneliti sebelumnya pada umumnya lebih fokus pada hubungan antara pengaruh proses *anodizing* terhadap ketebalan lapisan aluminium oksida yang dihasilkan dengan beberapa parameter seperti temperatur, waktu, rapat arus komposisi larutan dan *pre treatment*. Namun sejauh ini belum banyak penelitian yang secara khusus menyelidiki pengaruh waktu dan rapat arus *anodizing* terhadap kekerasan pada aluminium paduan AA 2024-T3.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi material untuk memastikan jenis material yang digunakan merupakan AA 2024-T3. Jenis pengujian karakterisasi material yang digunakan antara lain; uji komposisi, uji struktur mikro dan uji kekerasan.

- Uji Komposisi 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 membujur. 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.

Selanjutnya material spesimen dilakukan proses *anodizing*. Spesimen uji adalah Aluminium paduan 2024-T3 dengan dimensi 100 mm x 40 mm x 1,7 mm. Preparasi dilakukan berturut-turut adalah *degreasing*, *pickling*, *fluxing*, *strike* dan *anodizing*. Pembersihan dilakukan dengan merendam spesimen uji dalam larutan NaOH kadar 5 -10% selama 10 sampai 20 menit. Pembersihan spesimen uji dari *scale* (*pickling*) dilakukan

dengan merendam dalam larutan asam sulfat (5 sampai 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 $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Hasil dari pengamatan dan pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik. Selanjutnya akan dianalisa seberapa besar pengaruh densitas arus proses *anodizing* mampu meningkatkan nilai kekerasan pada material aluminium seri 2024-T3.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Material

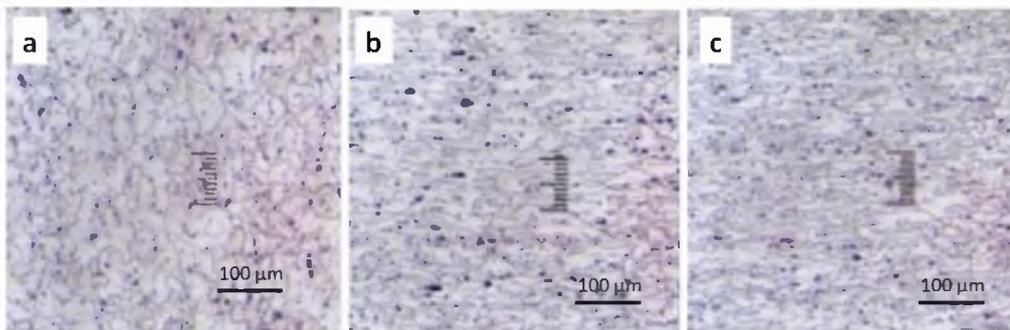
Pengujian komposisi kimia digunakan untuk mengetahui komposisi bahan spesimen. Hasil uji komposisi dibandingkan dengan komposisi material standar seperti terlihat pada Tabel 1. Dari hasil uji komposisi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai komposisi yang masuk dalam batasan dari komposisi material standar aluminium paduan AA 2024-T3.

Tabel 1. Komposisi Kimia

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

Pengujian karakterisasi kekerasan vickers aluminium paduan AA 2024-T3 dilakukan pada bidang permukaan, membujur dan melintang plat. Hasil dari pengujian kekerasan pada *raw material* yang memberikan hasil masing-masing sebesar 136 VHN, 118 VHN dan 135 VHN. Hasil pengujian tersebut masih dalam batasan material standar.

Hasil uji struktur mikro AA 2024-T3 pada berbagai posisi pengamatan terlihat seperti Gambar 1. Gambar 1(a) merupakan foto struktur mikro pada permukaan bidang pelat, dan pada gambar tersebut terlihat bahwa bentuk butiran berupa *equi-axial* sedangkan pada bidang membujur (Gambar 1(b)) dan melintang (Gambar 1(c)) bentuk butirannya berbentuk lebih pipih atau memanjang. Perbedaan bentuk butiran pada bidang orientasi yang berbeda ini kemungkinan disebabkan oleh adanya pengaruh gaya yang bekerja pada saat proses pengerolan pembentukan pelat paduan AA 2024-T3.



Gambar 1. Struktur mikro AA 2024-T3: (a) permukaan, (b) membujur, (c) melintang

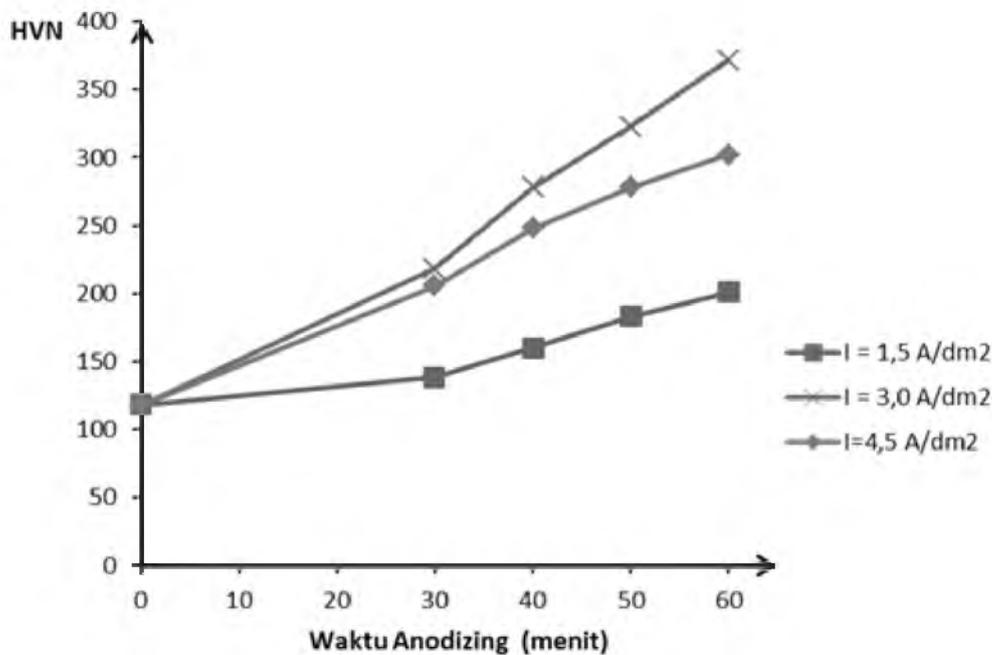
Pengamatan struktur mikro juga menunjukkan adanya partikel halus berupa inklusi (warna gelap). Adanya inklusi ini kemungkinan merupakan oksida dalam bentuk ikatan senyawa Al dengan Cu, Fe, Mg, Mn, Si dan unsur-unsur lainnya.

Dari pengujian karakterisasi material yang telah dilakukan menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini adalah benar-benar merupakan material pelat aluminium paduan AA 2024-T3.

3.2 Hasil Uji Kekerasan.

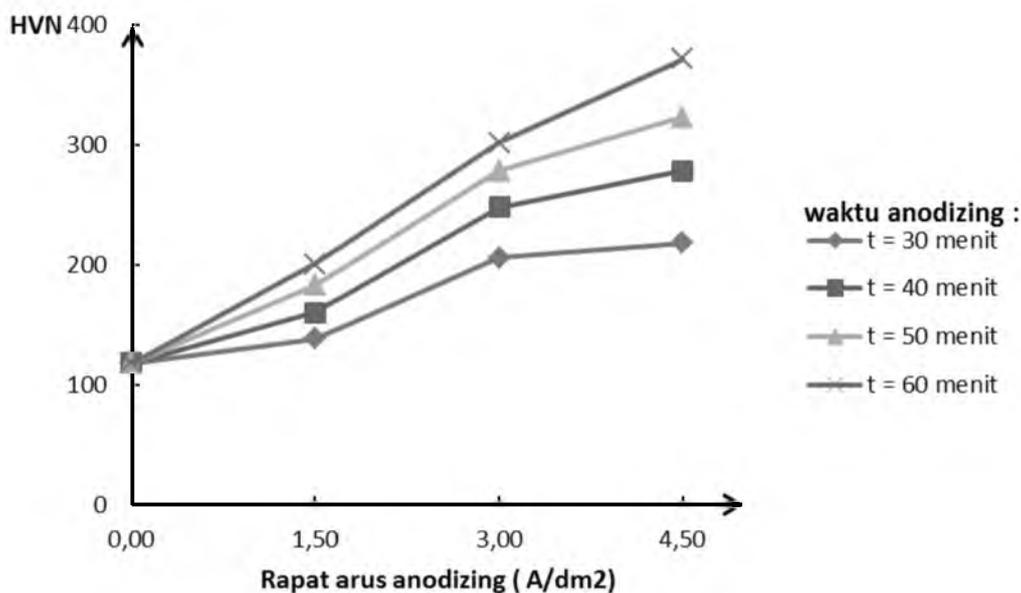
Pengujian kekerasan suatu bahan bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis apabila bahan tersebut diberi beban dari luar. Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen material dasar dan spesimen yang telah mengalami proses *Anodizing*. Nilai kekerasan Vickers dihitung dari beban yang digunakan dan juga diagonal rata-rata bekas injakan indentor yang kemudian dimasukkan kedalam persamaan penghitungan nilai kekerasan. Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan mengambil data sebanyak 10 titik pada setiap permukaan spesimen. Hasil perhitungan nilai kekerasan Vickers yang telah didapat kemudian dibuat grafik dari nilai kekerasan material dasar dan juga nilai kekerasan dari material yang telah mengalami proses *anodizing* pada variasi kuat arus dan waktu pencelupan.

Gambar 2 merupakan grafik perbandingan hasil nilai kekerasan material dasar dengan material yang telah mengalami proses *anodizing* dengan variasi waktu pencelupan *anodizing*. Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa nilai kekerasan secara umum akan meningkat dengan semakin lamanya waktu pencelupan di dalam larutan elektrolit. Peningkatan kekerasan ini terjadi pada semua variasi arus yang digunakan. Semakin lama proses *anodizing* yang dilakukan akan menyebabkan lapisan aluminium oksida pada spesimen akan semakin tebal.



Gambar 2. Nilai kekerasan pada variasi waktu *anodizing*.

Gambar 3 merupakan hasil uji kekerasan pada variasi rapat arus. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai kekerasan material akan meningkat dengan semakin besarnya rapat arus proses *anodizing*. Dalam proses *anodizing* kuat arus berfungsi sebagai pemindah ion-ion Al untuk yang membentuk lapisan aluminium oksida yang menempel pada spesimen. Semakin tinggi kuat arus maka semakin cepat ion-ion aluminium oksida yang menempel pada permukaan spesimen, sehingga lapisan aluminium oksida lebih padat yang menyebabkan kerapatan permukaan pada spesimen meningkat. Sebagai hasilnya, kekerasan pada permukaan spesimen yang telah mengalami proses pelapisan mengalami peningkatan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sukrisno (2012) dan Saeler (2009) yang melaporkan bahwa peningkatan nilai kekerasan dari material aluminium setelah proses *anodizing*.

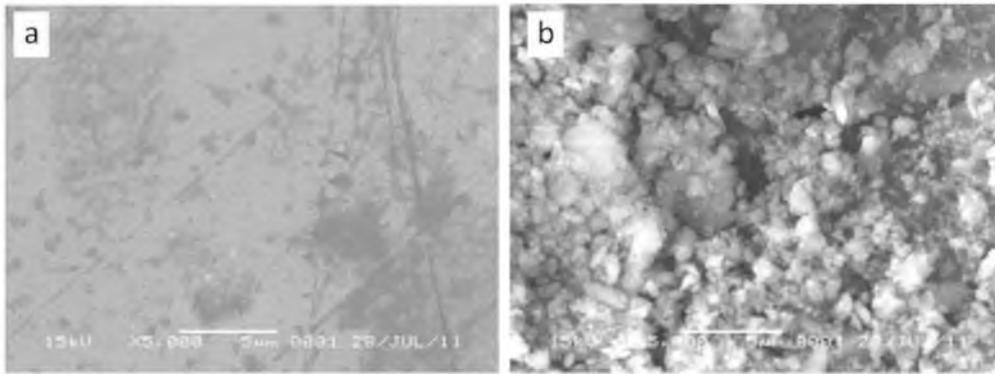


Gambar 3. Nilai kekerasan pada variasi rapat arus *anodizing*

3.3 Hasil Uji Struktur Mikro Setelah *Anodizing*

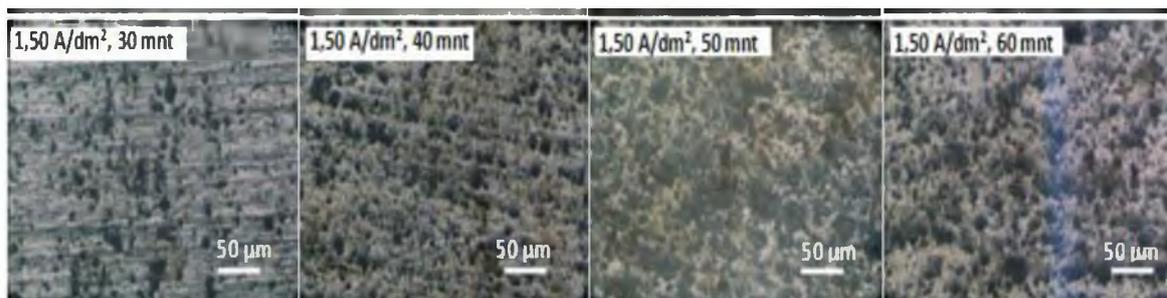
Aluminium paduan AA 2024-T3 tanpa perlakuan proses *anodizing* memiliki lapisan aluminium oksida yang tipis dengan permukaan terlihat seperti pada Gambar 4(a). Dari pengamatan hasil foto SEM menunjukkan bahwa pada permukaan AA 2024-T3 tanpa *anodizing* terlihat rata. Jika dibandingkan dengan Gambar 4(a), hasil foto SEM AA 2024-T3 setelah *anodizing* seperti terlihat pada Gambar 4(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 4(b) menunjukkan pelat aluminium paduan AA 2024-T3 setelah proses *anodizing* dengan rapat arus 3,00 A/dm² dengan waktu pencelupan selama 60 menit. Pengamatan terhadap foto SEM permukaan menunjukkan adanya bentuk lapisan aluminium oksida. Bentuk lapisan aluminium oksida yang terbentuk berupa lapisan yang berpori-pori dan tidak merata pada permukaan.



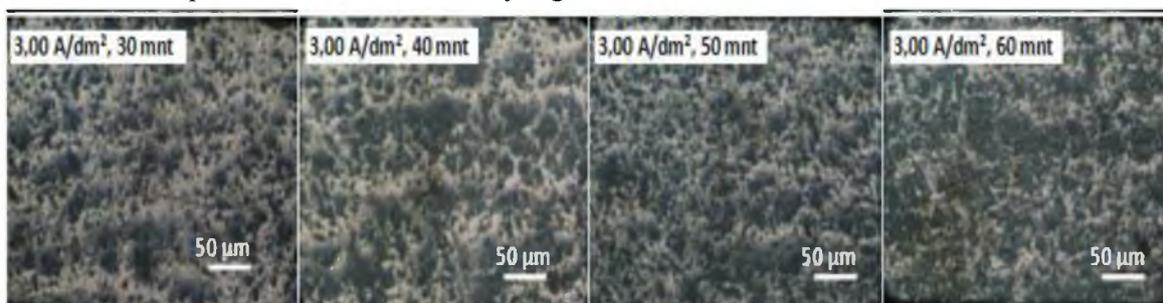
Gambar 4. Foto SEM permukaan AA 2024-T3
(a) tanpa *anodizing*, (b) dengan *anodizing*

Proses *anodizing* yang semakin lama menyebabkan pori-pori bertambah semakin banyak dan ukuran pori-pori semakin besar. Perubahan besarnya ukuran dan jumlah pori-pori yang terbentuk setelah proses *anodizing* pada permukaan pelat paduan AA 2024-T3 dapat dilihat pada Gambar 5. Pada proses *anodizing* dengan rapat arus, 50 A/dm² telah terbentuk lapisan aluminium oksida pada permukaan 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.



Gambar 5. Foto mikro hasil *anodizing* untuk rapat arus 1,50 A/dm²

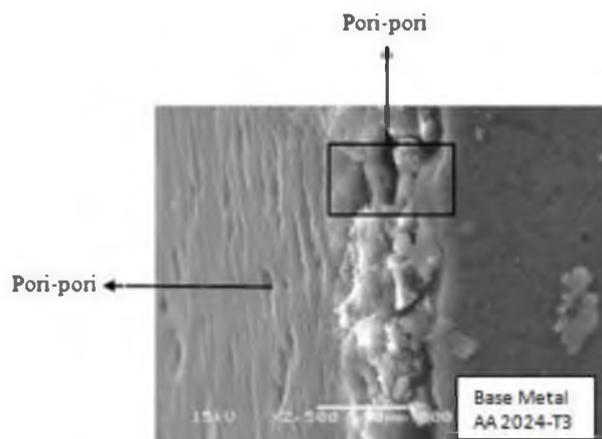
Proses *anodizing* dengan rapat arus yang semakin besar ternyata juga memberikan hasil memiliki kecenderungan yang sama, yaitu semakin besar rapat arus yang digunakan pada proses *anodizing* maka akan menghasilkan pori-pori dalam jumlah yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6. Dari gambar tersebut dapat dilihat kecenderungan pembentukan lapisan aluminium oksida yang semakin tebal.



Gambar 6. Foto mikro hasil *anodizing* untuk rapat arus 3,00 A/dm²

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 kekerasan permukaan material pelat aluminium paduan AA 2024-T3. Namun demikian, jika pori-pori yang dihasilkan terlalu besar atau melewati ukuran optimumnya maka akan menyebabkan permukaan lapisan aluminium oksida tidak rata, meskipun demikian jika dibandingkan dengan *raw material* masih tetap memiliki kekerasan yang jauh lebih tinggi.

Gambar 7 merupakan foto SEM penampang pada spesimen 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 secara teoritis bisa menghasilkan pori-pori hingga $4,98 \times E11$ untuk setiap meter persegi.



Gambar 7. Foto SEM penampang Al 2024-T3

4. Kesimpulan

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

- a. Nilai kekerasan pelat aluminium paduan AA 2024-T3 dipengaruhi oleh rapat arus dan waktu *anodizing* dengan nilai yang bervariasi.
- b. Rapat arus *anodizing* semakin besar maka waktu optimal *anodizing* cenderung semakin singkat.
- c. Semakin lama waktu *anodizing* maka akan dihasilkan lapisan aluminium oksida yang semakin besar dengan nilai kekerasan yang semakin meningkat. Pengantar

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 Weat Conshohocken.
- Apachitei, L.EF., Apachitei, I., Duszczuk, 2006, *Thermal Effects Associated with Hard Anodizing of Cast Aluminum Alloys*, Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 36, pp. 481-486.
- Bardal, E., 2003, *Corrosion and Protection*, Springer-Verlag London, pp. 256
- Callister, W.D., 2007, *Material Science and Engineering an Introduction*, 7th edition, John Willey.
- Canning, W., 1970, *Canning Hand Book on Electroplating*, 2nd edition, pp. 695-706
- Choi, J., 2003, *Fabrication of Monodomain Porous Alumina Using Nanoimprint Lithography and Its Application*'s, desertation, Martin-Luther-Universit"at Halle-Wittenberg.
- 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.
- Mandal, N.R., 2005, *Aluminum Welding*, New Delhi, Narosa Publishing House.
- 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
- Nugroho,F., 2014, *Pengaruh Rapat Kuat Arus dan Waktu Anodizing Terhadap Laju Keausan Plat Aluminium Paduan AA 2024 T3*, Jurnal Foundry, Vol.4
- 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.
- Polmear, I.J., 1981, Light Alloy, 3th edition Arnold, London
- Sadeler, R., Atasoy, S., Arici, A., and Totik, Y., 2009, *The Fretting Fatigue of Comercial Hard Anodized Aluminum Alloy*, ASM International, Journal of Material Engineering and Performance, Vol 19., pp. 1280-1283.
- Shulgov, V., Ignasheve, E., Gurskaja, E., 2007, *Correlation Between Formation Condition and Breakdown Voltage of Anodic Films on Aluminum*, Michrochimica Acta, Springer-Verlag, pp. 147-150.
- Soekrisno,R., 2012, *Optimalisasi Temperatur Hard Anodizing terhadap Ketahanan Aus, Kekerasan serta Ketebalan Lapisan Oksida Aluminium Paduan*, Hasil Penelitian Hibah Prodi S2 Teknik Mesin JTMI FT UGM.
- Staley, J.T. and Lege, D.J., 1993, *Advanced in Aluminum Alloy Product For Struktural Application in Transportation*, Journal De Physique III, 3, 197-190.
- Trethewey, K.R., & Chamberlain, J., Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasa, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

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.