

Analisis Pengaruh Variasi Beda Potensial dan Waktu Proses Anodizing terhadap Karakteristik Lapisan Oksida Aluminium 6061

Mochamad Muzaki*, Imam Mashudi, Muhammad Fakhruddin, Abdul Muid Anwar, Rake Aji Nugraha Paranata, Gading Wiganata

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang
*E-mail: mochamad.muzaki@polinema.ac.id

Diterima: 08-03-2022; Direvisi: 24-04-2022; Dipublikasi: 30-04-2022

Abstrak

Permasalahan mendasar dari proses *anodizing* aluminium adalah hilangnya sifat konduktivitas listrik dari aluminium. Artinya aluminium akan bersifat isolatif, hal ini akan mengakibatkan terjadinya listrik statis dari aluminium untuk penggunaan aplikasi tertentu seperti pesawat terbang, komponen otomotif, ataupun komponen elektronik. Studi ini bertujuan untuk mendapatkan lapisan anodizing dengan nilai isolator yang rendah, namun tetap memiliki ketebalan lapisan yang tinggi. Dalam penelitian ini dilakukan investigasi parameter proses *anodizing*, dalam hal ini waktu proses dan beda potensial, untuk mendapat ketebalan lapisan oksida yang stabil, namun sifat isolatifnya rendah. Waktu proses yang dipilih adalah 25, 30, 35, 40, dan 45 menit. Sedangkan beda potensial yang dipilih adalah 7, 8, 9, 10, dan 11 Volt. Aluminium 6061 hasil *anodizing* dengan parameter proses tersebut selanjutnya diuji sifat isolatornya, ketebalan lapisan, dan morfologi lapisan yang terbentuk dengan menggunakan mikroskop SEM. Hasil analisis menggunakan anova dua arah menunjukkan beda potensial dan waktu proses memiliki pengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan film alumina yang terbentuk. Sementara itu lapisan film alumina bersifat isolatif ketika menerima tegangan sebesar 250 Volt dan bersifat konduktif ketika menerima tegangan di atas 500 Volt. Pengamatan morfologi permukaan lapisan menggunakan SEM menunjukkan lapisan pori yang terbentuk belum merata.

Kata kunci: Aluminium 6061; Anodizing; Beda Potensial; Tebal Lapisan; Waktu Proses

Abstract

The fundamental problem of the aluminum anodizing process is the loss of electrical conductivity properties of aluminum. This means that aluminum will be insulating, this will result in the occurrence of static electricity from aluminum for the use of certain applications such as aircraft, automotive components, or electronic components. In this study, it is expected to get an oxide layer with a low insulating value. An anodizing process parameter was investigated, i.e. processing time and voltage, to obtain a stable oxide layer thickness, but low insulating properties. The selected processing times are 25, 30, 35, 40, and 45 minutes. While the selected voltage are 7, 8, 9, 10, and 11 Volts. The anodizing aluminum 6061 with the process parameters was tested for its insulating properties, layer thickness, and the formed layer morphology using an SEM microscope. The results of the analysis using two-way ANOVA show that the voltage and processing time have a significant effect on the thickness of the alumina film formed. Meanwhile, the alumina film is insulating when receiving a voltage of 250 Volts and conductive when receiving a voltage above 500 Volts. Observation of the surface morphology of the layer using SEM showed that the pore layer formed was not evenly distributed

Keywords: Aluminium 6061; Anodizing; Layer Thickness; Process Time; Voltage

1. Pendahuluan

Kerak bumi tersusun dari 8 % unsur aluminium, hal ini membuat aluminium menjadi unsur logam dengan jumlah paling banyak di bumi. Setelah tahun 1965, penggunaan aluminium sebagai bahan peralatan berbahan dasar logam menggeser dominasi dari tembaga, penggunaan aluminium hanya kalah dari besi [1]. Pemilihan aluminium menjadi bahan baku dari sejumlah peralatan didasari sifat-sifat aluminium yang relevan dengan kebutuhan proses produksi maupun karakteristik peralatan yang ingin dibuat. Sifat-sifat ini diantaranya adalah sifat mampu bentuk, mampu mesin, mampu cor, berat jenis yang relatif rendah, penghantar panas dan listrik yang baik, serta ketahanan korosi yang baik pula. Namun

demikian, bukan berarti aluminium tidak memiliki kelemahan, beberapa kelemahan yang dimiliki aluminium adalah kekerasannya yang rendah dan warna kusam serta sulit dilapis cat sebagai proses pewarnaan.

Untuk memperbaiki kelemahan aluminium tersebut, aluminium dapat diberi perlakuan permukaan berupa anodizing untuk mendapatkan lapisan oksida pelindung yang keras, memiliki ketahanan keausan dan korosi yang baik, serta dapat diwarnai. Namun demikian, lapisan oksida yang terbentuk dari proses *anodizing* akan menurunkan konduktivitas listrik dari logam, dengan kata lain, proses *anodizing* menjadikan logam konduktor berubah menjadi isolator. Dalam beberapa aplikasi, penggunaan material isolator sangat dihindari, karena dapat memicu terjadinya listrik statis. Agar tidak terjadi pelepasan muatan listrik statis, sebuah material hanya boleh memiliki nilai resistansi listrik maksimal $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ [2]. Karakteristik lapisan oksida hasil *anodizing* sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter proses anodizing, diantaranya adalah rapat arus, beda potensial, waktu proses, jarak anoda dan katoda, dan jenis serta temperatur larutan elektrolit [3][4][5][6][7][8].

Variasi waktu dapat meningkatkan ketebalan lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing [9][10][11]. Meningkatnya ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dari proses anodizing akibat variasi waktu proses, memiliki nilai yang berbanding lurus dengan nilai kekerasan permukaan yang dihasilkan [12][13]. Selain waktu *anodizing*, beda potensial yang digunakan pada proses *anodizing* juga dapat memengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk [15]. Kenaikan beda potensial dari 15 hingga 25 V juga diikuti dengan kenaikan tebal lapisan oksida [16].

Pada studi ini dilakukan pengamatan pengaruh variasi waktu dan beda potensial terhadap karakteristik lapisan oksida yang terbentuk pada logam aluminium yang mendapat proses anodizing. Jika dibandingkan dengan penelitian serupa yang pernah ada, dalam penelitian ini waktu proses anodizing dipilih dengan durasi yang relatif lama, sedangkan beda potensial yang digunakan memiliki nilai yang relatif rendah. Guna mengetahui lebih lanjut pengaruh waktu dan beda potensial terhadap lapisan oksida yang terbentuk dari proses *anodizing*, maka akan dilakukan investigasi pengaruh parameter-parameter proses tersebut terhadap karakteristik lapisan oksida yang terbentuk. Karakteristik ini meliputi ketebalan, sifat isolatif, dan kontur lapisan oksida hasil *anodizing*. *Anodizing* dilakukan pada aluminium seri 6XXX, hal ini dikarenakan tingginya penggunaan aluminium seri 6XXX, khususnya pada komponen otomotif dan pesawat.

2. Material dan metodologi

Studi ini bertujuan mengamati pengaruh perubahan parameter proses pada anodizing terhadap karakteristik lapisan yang terbentuk. Adapun parameter proses yang dipilih sebagai variabel bebas dalam studi ini disajikan pada Tabel 1. Selain parameter proses yang dijadikan variabel bebas, terdapat sejumlah parameter proses yang dikontrol konstan, yaitu cairan elektrolit berupa H_2SO_4 dengan konsentrasi 15%, temperature cairan elektrolit sebesar 25°C dan jarak anoda-katoda sebesar 5 cm. Logam aluminium yang digunakan adalah aluminium 6061.

Tabel 1. Variabel bebas penelitian

Parameter	Level				
Waktu proses (menit)	25	30	35	40	45
Beda potensial (Volt)	7	8	9	10	11

Parameter proses dalam studi ini diatur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik lapisan yang meliputi ketebalan lapisan, sifat isolatif lapisan, dan morfologi permukaan lapisan. Ketebalan lapisan diukur menggunakan ultrasonic thickness gauges, sedangkan sifat isolatif lapisan diuji dengan menggunakan megger test dengan tegangan 250 Volt dan 500 Volt. Sementara itu, morfologi permukaan lapisan diamati menggunakan mikroskop SEM. Gambar 1 menunjukkan instalasi proses anodizing.



Gambar 1. Instalasi Proses Anodizing

3. Hasil dan pembahasan

Pada studi ini, masing-masing parameter proses dilakukan percobaan sebanyak tiga kali (tiga replikasi). Sehingga didapatkan 75 spesimen hasil proses *anodizing*, yaitu 25 kombinasi parameter proses dikalikan 3. Selanjutnya 75 spesimen hasil proses *anodizing* tersebut diuji ketebalan dan sifat isolatifnya (penghantar listrik). Selain dua pengujian tersebut, dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan struktur mikro lapisan *anodizing* yang terbentuk dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar 2 menampilkan spesimen hasil proses anodizing.



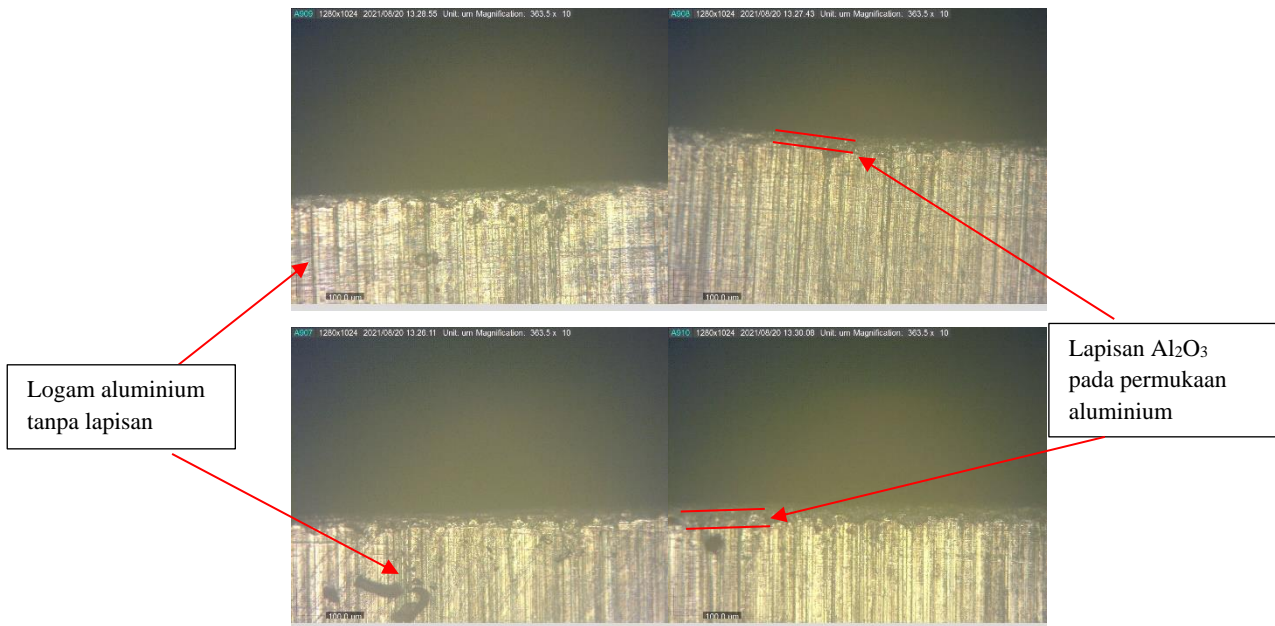
Gambar 2. Spesimen Hasil Proses Anodizing

3.1. Pengujian ketebalan lapisan

Pengujian ketebalan lapisan alumina hasil *anodizing* diukur menggunakan alat ukur ketebalan lapisan *ultrasonic thickness gauges* model TKG100. Gambar 3 menunjukkan alat ukur ketebalan dan proses pengukuran ketebalan. Selain diukur dengan alat ukur ketebalan lapisan, ketebalan lapisan ini juga diukur menggunakan mikroskop logam. Gambar 4 menunjukkan ketebalan lapisan Al_2O_3 yang terbentuk pada permukaan aluminium hasil *anodizing*, lapisan hasil *anodizing* terbagi menjadi dua bagian, yaitu *porous layer* dan *barrier layer* [17]. Sementara itu, Tabel 2 menunjukkan kombinasi pengaturan parameter proses beda potensial dan waktu proses terhadap ketebalan lapisan *anodizing* yang terbentuk.



Gambar 3. (a) Alat ukur ketebalan lapisan ultrasonic thickness gauges mode TKG100
(b) Pengukuran ketebalan lapisan alumina



Gambar 4. Foto mikro lapisan Al₂O₃ perbesaran 363,5 kali

Tabel 2. Pengujian ketebalan lapisan anodizing

Parameter Proses (variabel bebas)		Ketebalan lapisan(μm)		
Beda Potensial (menit)	Waktu Proses (Volt)	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
25	7	10,24	10,47	10,3
30	7	12,92	12,85	12,85
35	7	13,35	13,32	13,33
40	7	13,99	14	14,1
45	7	14,2	14,25	14,33
25	8	12,36	12,56	12,34
30	8	12,76	12,88	12,88
35	8	13,94	13,87	13,8
40	8	14,1	14,41	14,11
45	8	14,67	14,76	14,77
25	9	12,43	12,55	12,55
30	9	13,99	14,05	14
35	9	14,55	14,72	14,65
40	9	14,99	14,97	15
45	9	15,32	15,54	15,24
25	10	14,44	14,53	14,39
30	10	14,79	14,87	14,75
35	10	15,02	15,43	15,23
40	10	15,65	12,57	15,66
45	10	16,13	16,34	16,44
25	11	15,1	15,15	15,22
30	11	15,55	15,45	15,65
35	11	15,76	15,74	15,89
40	11	16,31	16,24	16,54
45	11	16,65	16,76	16,77

Selanjutnya data yang telah diperoleh diolah secara statistika menggunakan anava dua arah untuk mengetahui pengaruh antara beda potensial dan waktu proses *anodizing* terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk, dalam hal ini menggunakan Hipotesis nul. Adapun hipotesis nul yang digunakan adalah sebagai berikut: H₀: tidak ada nilai μ yang berbeda dan H₁: setidaknya ada satu nilai μ yang berbeda, Adapun kriteria penolakan H₀ adalah “tolak H₀ jika p-value lebih kecil dari alfa (0,05).”

Tabel 3. Tabel Anava Dua Arah

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Waktu	4	53,439	13,3597	97,72	0,000
Beda Potensial	4	81,770	20,4425	149,53	0,000
Waktu*Beda Potensial	16	13,593	0,8495	6,21	0,000
Error	50	6,836	0,1367		
Total	74	155,637			

Hasil perhitungan anava dua arah dapat dilihat pada Tabel 3, dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa *P-value* pada parameter waktu proses memiliki nilai lebih kecil dari alfa, artinya waktu proses *anodizing* memiliki pengaruh terhadap ketebalan lapisan *anodizing* yang terbentuk. Sementara itu dapat dilihat juga bahwa *P-value* pada parameter beda potensial juga memiliki nilai lebih kecil dari alfa, yaitu sebesar 0,000. Dengan demikian berarti beda potensial memiliki pengaruh terhadap ketebalan lapisan *anodizing* yang terbentuk. Selanjutnya, Tabel 3 juga menunjukkan hubungan antara interaksi waktu dan beda potensial terhadap ketebalan lapisan. Hasilnya menunjukkan bahwa interaksi antara waktu dan beda potensial memiliki pengaruh terhadap ketebalan lapisan *anodizing*. Hal ini dapat dilihat dari nilai *P-value* yang lebih kecil dari alfa, yaitu sebesar 0,000.

3.2. Pengujian sifat isolatif lapisan

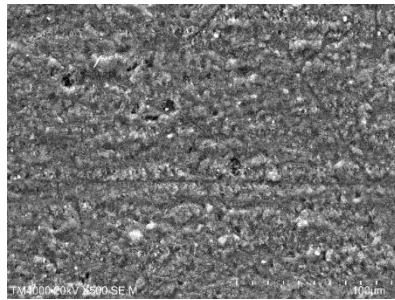
Dengan menggunakan megger test, permukaan benda kerja yang telah memiliki lapisan film alumina dialiri tegangan sebesar 250 dan 500. Dari 75 spesimen yang diuji, hasilnya menunjukkan angka pengukuran yang sama, dimana pengukuran sifat isolatif dengan tegangan 250 Volt menunjukkan nilai tahanan tak terhingga, hal ini menunjukkan lapisan film alumina yang terbentuk hasil *anodizing* bersifat isolatif ketika mendapat aliran listrik dengan tegangan sebesar 250 Volt. Sementara itu, pada tegangan 500 Volt, semua spesimen menunjukkan nilai tahanannya sebesar 0 M Ω , hal ini berarti lapisan film aluminan tidak bersifat isolatif ketika menerima tegangan sebesar 500 Volt atau lebih. Gambar 5 menunjukkan pengukuran sifat isolatif lapisan film alumina hasil proses *anodizing*.



Gambar 5. Pengukuran sifat isolatif lapisan film alumina menggunakan megger test

3.3. Pengamatan struktur lapisan

Untuk mengetahui struktur lapisan film alumina yang terbentuk, maka dilakukan pengamatan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengamatan struktur lapisan dilakukan pada kombinasi parameter proses yang masing-masing menghasilkan paling tinggi. Ketebalan lapisan paling tinggi dihasilkan oleh parameter proses tegangan dan waktu berturut-turut sebesar 45 menit dan 11 Volt. Morfologi lapisan film alumina dapat dilihat pada Gambar 6. Tampilan hasil uji SEM menunjukkan lapisan pori yang terbentuk belum cukup merata, hal ini kemungkinan disebabkan beda potensial yang relatif rendah [18].



Gambar 6 Morfologi permukaan lapisan film alumina 11V-45 menit Menggunakan SEM

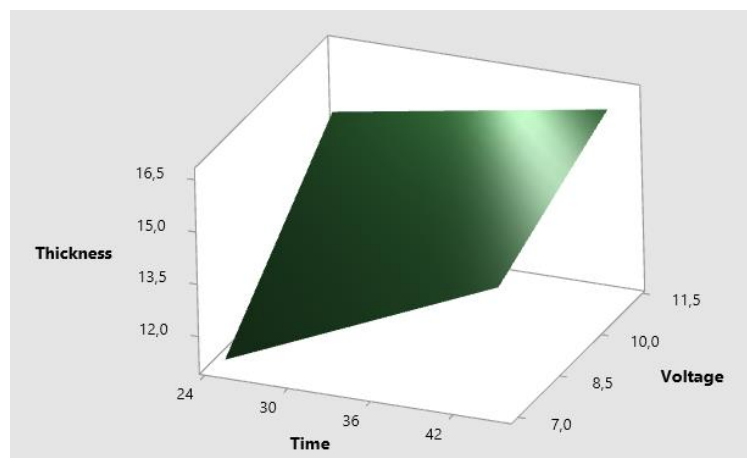
3.4. Persamaan hubungan antar variabel

Untuk mengetahui hubungan antar variabel secara matematis, maka dilakukan analisis regresi berganda untuk mendapat persamaan hubungan antara beda potensial (voltage) dan waktu terhadap ketebalan lapisan sebagaimana ditunjukkan pada Pers (1). Sementara itu, Tabel 4 menampilkan ringkasan model regresi. Gambar 7 dan 8 menampilkan grafik Persamaan (1)

$$\text{Thickness} = -4.26 + 0.3429 \text{ Voltage} + 1.617 \text{ Time} - 0,02514 \text{ Voltage*Time} \quad (1)$$

Tabel 4. Ringkasan model

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,508299	88,21%	87,72%	86,88%



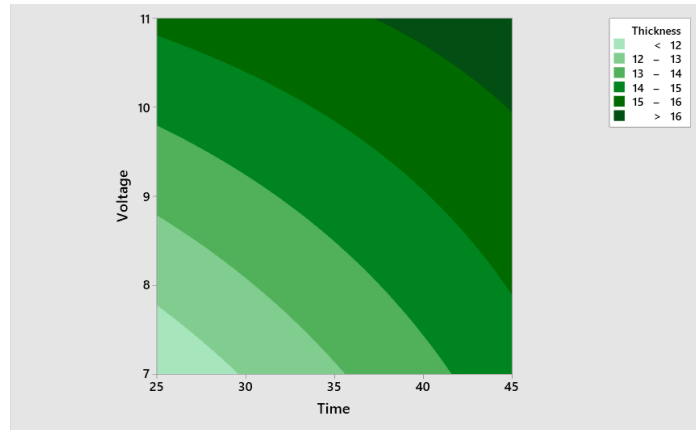
Gambar 7 Grafik *Surface Plot* Hubungan Waktu, Tegangan, dan Tebal Lapisan

Selain melihat hubungan antara beda potensial dan waktu terhadap ketebalan lapisan secara bersama-sama, maka pada studi ini juga dilakukan pemodelan matematis untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan ketebalan lapisan serta beda potensial terhadap ketebalan lapisan. Persamaan ini berturut-turut ditunjukkan pada Pers (2) dan (3).

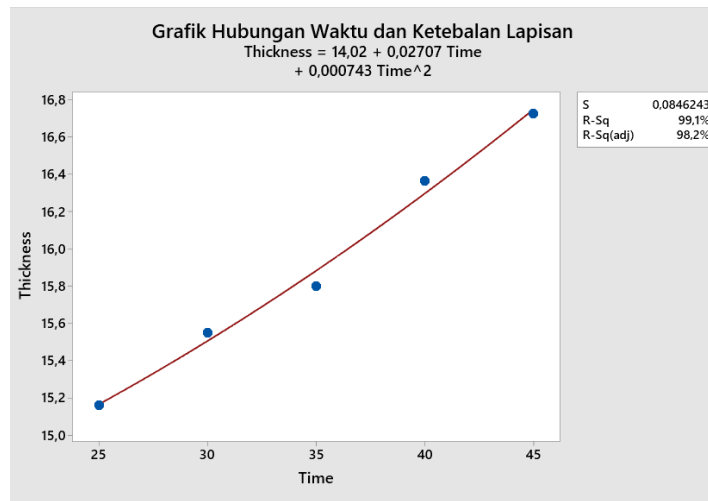
$$\text{Thickness} = 14.02 + 0.02707 \text{ Time} + 0.000743 \text{ Time}^2 \quad (2)$$

$$\text{Thickness} = 10.77 + 0.3889 \text{ Voltage} + 0.01452 \text{ Voltage}^2 \quad (3)$$

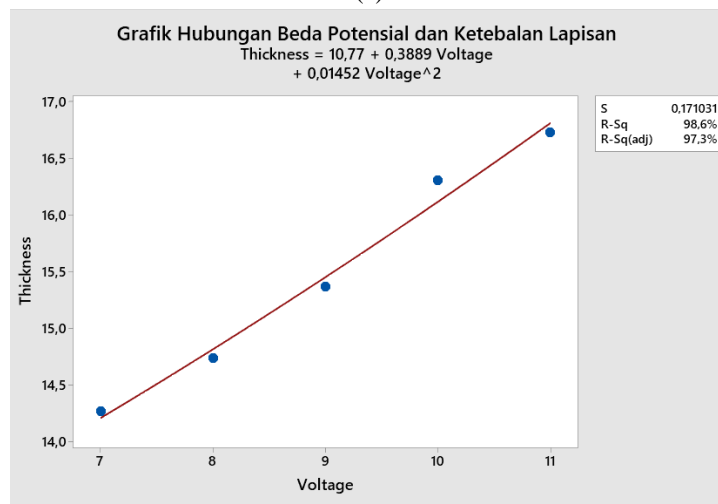
Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 9a dan 9b dapat kita amati, bahwa peningkatan beda potensial dari 7 sampai 8 Volts dan peningkatan waktu proses anodizing dari 25 sampai 45 menit diikuti peningkatan ketebalan lapisan. Namun demikian, belum diketahui apakah peningkatan beda potensial dan waktu proses lebih lanjut akan diikuti peningkatan ketebalan lapisan pula.



Gambar 8 Grafik *Contour Plot* Hubungan Waktu, Tegangan, dan Tebal Lapisan



(a)



(b)

Gambar 9 (a) Grafik Hubungan Waktu Proses terhadap Ketebalan Lapisan Proses *Anodizing* dan (b) Grafik Hubungan Beda Potensial terhadap Ketebalan Lapisan Proses *Anodizing*

4. Kesimpulan

Beda potensial dan waktu proses *anodizing* memiliki pengaruh terhadap ketebalan lapisan *anodizing* yang terbentuk, dimana kombinasi beda potensial dan waktu proses 15 V dan 7 menit menghasilkan tebal lapisan paling tipis, yaitu sebesar 10,34 mikron. Sedangkan kombinasi beda potensial 45 V dan 11 menit menghasilkan tebal lapisan paling tebal, yaitu

sebesar 16,73 mikron. Semua kombinasi proses *anodizing* menghasilkan lapisan film alumina bersifat isolatif jika diberikan tegangan sebesar 250 V, dimana lapisan film aluminan memiliki nilai resistansi sebesar tak terhingga. Sementara itu, lapisan film alumina menjadi tidak isolatif ketika mendapat tegangan 500 V atau lebih, dimana nilai resistansinya sebesar 0 M Ω . Tampilan morfologi permukaan lapisan film alumina hasil anodizing dengan parameter proses 45 menit dan 11 Volt menunjukkan lapisan pori yang terbentuk masih belum merata, hal ini kemungkinan disebabkan nilai tegangan relatif rendah.

Daftar Pustaka

- [1] Totten, G. E. and Mackenzie, D. S., Handbook of Aluminium Volume 2 Alloy Production and Materials Manufacturing. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003; p.2
- [2] Nasa Technical Report Server. www.ntrs.nasa.gov/citations/20110014157. Electrically Conductive Anodized Aluminum Surfaces; 2006 (Diakses pada tanggal 25 Maret 2020).
- [3] Lee, S.-J. and Kim, S.-J.d., Effect of Current Density od Porous Film Formation in Two-Step Anodizing for Alloy. JKISE. 2016; 49(2): p.125.
- [4] Araoyinbo, A. O., Noor, A. F. M., Sreekantan, S., and Aziz, A., Voltage effect on electrochemical anodization of aluminum at ambient temperature. International Journal of Mechanical Materials Engineering. 2010 Januari; 5(1): p.53.
- [5] Mahmud, A. H., Habiballah, A. S., and Jani, A. M. M., The Effect of Applied Voltage and Anodisation Time on Anodized Aluminum Oxide Nanostructures. Materials Science Forum. 2015 Juni; 819: p.103.
- [6] Setiawan, H. M., and Ifansyah, N., Pengaruh Waktu Anodizing dan Jarak Anoda-Katoda terhadap Nilai Laju Korosi Aluminium 6061-T6. Jurnal Inovator. 2019; 2(1): p.1.
- [7] Bensalah, W., Elleuch, K., Feki, M., Depetris-Wery, M., and Ayedi, H. F., Optimization of tartaric/sulphuric acid anodizing process using Doehlert design. Surface & Coatings Technology. 2012 Agustus; 207: p.123.
- [8] Gombár, M., *et al.*, Experimental analysis of the influence of factors acting on the layer thickness formed by anodic oxidation of aluminium. Coatings. 2019 Januari; 9(1): p.1.
- [9] Santhiarsa, I. G. N. N., Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Waktu Proses Hard Anodizing pada Aluminium terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Influence of Electric Current and Hard Anodizing Process Time of Aluminium toward Hardness and Layer Thickness. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM. 2009 Oktober; 3(2): p.164.
- [10] Santhiarsa, I. G. N., Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Waktu Proses Anodizing Dekoratif Pada Aluminium Terhadap Kecerahan Dan Ketebalan Lapisan. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM. 2010 April; 4(1): p.75.
- [11] Sidharta, B. W., Pengaruh Konsentrasi Elektrolit Dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, KEkerasan Serta KEtebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium Pada Material Piston. Jurnal Teknologi Technoscientia. 2014 Agustus; 7(1): p.10.
- [12] Sidharta, B. W. , Soekrisno, R., and Iswanto, P. T., Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Anodisasi terhadap Ketahanan Aus dan Kekerasan pada Lapisan Oksida Paduan Aluminium ADC12. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III; 3 November 2012; Yogyakarta, Indonesia. IAT AKPRIND: 2012. (3); p. A312.
- [13] Boldrini, D. E., Yañez, M. J., and Tonetto, G. M., Influence of The Anodizing Process Variables on The Acidic Properties of Anodic Alumina Films. Brazilian Journal if Chemical Engineering. 2017 Oktober; 34(4): p.1043.
- [14] Ikkal, D., Jufriadi, and Yuniati, Pengaruh Variasi Kuat Arus, Waktu dan Pewarnaan Terhadap Kekerasan Permukaan Pada Proses Anodisasi Aluminium 1100. Jurnal Mesin Sains Terapan. 2018 Agustus; 2(2): p.66.
- [15] Kurniawan, H., Pramono, C., Widodo, S., Pengaruh Variasi Waktu dan Beda Tegangan pada Proses Anodizing Terhadap Kekerasan Permukaan Aluminium dan Ketebalan Lapisan Oksida. Jurnal MER-C. 2019 Mei; 2(2): p.7
- [16] Wisnu, A. A. K., Kusuma, A., Karyasa, I. W., and Suardana, I. N., Anodizing Logam Aluminium Dengan Variasi Beda Potensial. e-Journal Kimia Visvitalis Universitas Pendidikan Ganesha. 2014; 2(1): p.138.
- [17] Wielage, B., G. Alisch, T.H., Lampke, D. Nickel, Anodizing - A Key for Surface Treatment of Aluminium. Key Engineering Materials. 2008 Juni; 384: p. 263 - 281.
- [18] Araoyinbo, A.O., A.F.M., Noor, S., Sreekantan, A. Aziz, Voltage Effect on Electrochemical Anodization of Aluminium at Ambient Temperature. IJMME. 2010 Januari; 5(1): p.53-58.