

Pengaruh Jenis Elektrolit Proses Anodisasi Aluminium Terhadap Efisiensi Proses Dan Sifat Mekanik (Kekerasan) Permukaan Dan Ketebalan Lapisan Oksida

Rony Pasonang Sihombing^{1*}, Agustinus Ngatin¹, Salsabila Nisrina Junaedi¹, Wina Maulida¹, Emma Hermawati Muhari¹, Alfiana Adhitasari¹, Yusmardhany Yusuf²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung. ²Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Corresponding author: rony.pasonang.sihombing@polban.ac.id

Article history

Received: 26 December 2021

Received in revised form:

7 June 2022

Accepted: 14 June 2022

DOI:

10.17977/um0260v6i22022p024

Kata-kata kunci:

*anodisasi,
aluminium,
lapisan oksida,
sifat mekanik,*

Abstrak

Aluminium adalah logam untuk bahan peralatan di industri karena mempunyai sifat-sifat yang unggul seperti kuat, ringan, dan mudah dibentuk, tetapi sifatnya mudah terdeformasi dan mempunyai kekerasan serta ketahanan aus yang rendah. Untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis aluminium dapat dilakukan melalui proses anodisasi. Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh jenis elektrolit pada proses anodisasi terhadap efisiensi proses dan produk tebal lapisan oksida dan sifat mekanik (kekerasan) permukaan aluminium. Proses anodisasi aluminium dilakukan bervariasi jenis elektrolit (asam sulfat, asam fosfat, asam oksalat, asam kromat,) dengan konsentrasi 15%. Suhu proses anodisasi dibuat konstan pada 25 °C dengan waktu proses 20 menit, dan tegangan 18 Volt. Hasil penelitian ditunjukkan bahwa proses anodisasi dalam larutan asam sulfat memiliki efisiensi tertinggi yaitu 51,98% daripada ketiga elektrolit yang lain, dan menghasilkan produk ketebalan lapisan oksida paling tinggi mencapai 13,88 µm dan kekerasan permukaan aluminium 287,9 HV, dalam larutan asam fosfat menghasilkan efisiensi terendah yaitu 0,99%, ketebalan lapisan oksida 0,28 µm dan kekerasan permukaan logam aluminium 41,3 HV yang nilainya lebih rendah dari kekerasan permukaan logam dasar yaitu 66,75 HV.

Abstract

Aluminum is a metal for equipment materials in industry because it has superior properties such as being strong, light, and easy to shape, but is easily deformed and has low hardness and wear resistance. To improve the physical and mechanical properties of aluminum can be done through the anodising process. The purpose of this study was to determine the effect of the type of electrolyte on the anodising process on the efficiency of the process and product thickness of the oxide layer and the mechanical properties (hardness) of the aluminum surface. The aluminum anodising process was carried out in various types of electrolytes (sulfuric acid, phosphoric acid, oxalic acid, chromic acid,) with a concentration of 15%. The anodising process temperature was kept constant at 25 °C with a processing time of 20 minutes, and a voltage of 18 v. The results showed that the anodising process in sulfuric acid solution had the highest efficiency of 51.98% than the other three electrolytes, and produced the highest oxide layer thickness of 13.88 m and aluminum surface hardness of 287.9 HV, in phosphoric acid solution. Produces the lowest efficiency of 0.99%, the thickness of the oxide layer is 0.28 m and the surface hardness of aluminum metal is 41.3 HV which is lower than the surface hardness of the base metal, which is 66.75 HV.

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam yang digunakan sebagai peralatan di industri akibat memiliki sifat mekanik yang unggul seperti kuat, ringan, dan mudah dibentuk. Aluminium merupakan

penghantar panas dan listrik yang baik serta jenis logam yang mudah membentuk oksida pasif yang dapat mencegah berlangsungnya proses korosi. Contoh penggunaannya pada industri proses adalah sebagai *flat plate heat exchanger, boiler, dan propeller*. Selain itu, aluminium mempunyai sifat

yang mudah terdeformasi dan memiliki kekerasan serta ketahanan aus yang rendah. Untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis pada aluminium dapat dilakukan melalui proses anodisasi.

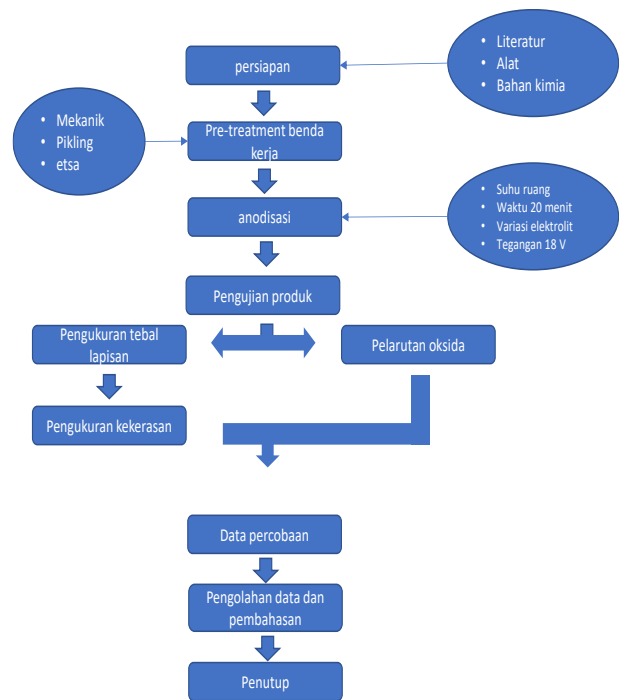
Aluminium diasumsikan sebagai salah satu logam yang banyak digunakan di industri pesawat terbang (*aerospace*), karena mempunyai kelebihan seperti mudah dibentuk saat fabrikasi, tidak beracun dan kekuatan materialnya yang baik (Mubarok et al., 2015). Aluminium sangat reaktif terhadap oksigen dengan membentuk lapisan oksida di permukaannya yang terjadi secara alami akibat pengaruh energi bebas yang cukup tinggi untuk mengoksidasi permukaan aluminium (Walker, 1993; Zaki Ahmad, 2006).

Anodisasi merupakan suatu proses elektrolisis dengan prinsip dasar pembentukan lapisan oksida aluminium secara terkontrol melalui proses aerasi sehingga terbentuk lapisan oksida yang berpori. Lapisan oksida hasil dari proses anodisasi secara umum memiliki karakteristik keras, transparan, tahan terhadap beban, rentang warna yang luas. Proses anodisasi aluminium dipengaruhi oleh rapat arus/tegangan, jenis elektrolit, waktu, dan suhu proses. Elektrolit pada proses anodisasi umumnya bersifat asam dan banyak digunakan adalah asam sulfat, asam kromat, asam fosfat dan asam oksalat. Hal ini yang menarik untuk dipelajari dari jenis asam tersebut, karena jenis elektrolit mempengaruhi produk lapisan oksida yang dihasilkan di permukaan logam (kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan oksida) (Lima de Moura, 2011). Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah menentukan efisiensi proses anodisasi yang menghasilkan lapisan oksida tertinggi, dan menentukan produk lapisan oksida yang mempunyai ketebalan dan kekerasan permukaan yang tertinggi, serta mempelajari mekanisme proses anodisasi berdasarkan lapisan oksida di permukaan aluminium.

Proses anodisasi merupakan suatu proses elektrolisis yang melibatkan reaksi oksidasi di anoda dan reduksi di katoda, maka logam aluminium sebagai anoda dan logam inert sebagai katoda yang keduanya dicelupkan ke dalam suatu larutan elektrolit. Larutan elektrolit berfungsi untuk membuat rangkaian menjadi suatu rangkaian tertutup, sehingga dalam larutan elektrolit menyebabkan terjadi suatu reaksi anodisasi ke permukaan logam aluminium dengan bantuan dari arus yang berasal dari sumber arus, baik berupa *power supplier* maupun *rectifier*.

METODE

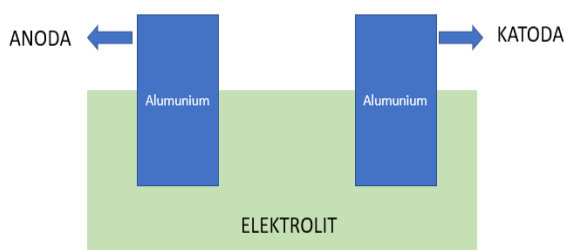
Alat dan bahan kimia yang diperlukan adalah logam aluminium sebagai benda kerja dan elektroda, *rectifier* yang dilengkapi dengan kabel, reaktor atau tempat proses anodisasi menggunakan gelas kimia 500 mL, pemanas (*hot plate*), pengaduk, dan bahan kimia meliputi kertas abrasif, larutan NaOH 10%, larutan HCl 10%, larutan HNO₃ 10%, larutan asam sulfat, asam kromat, asam fosfat, dan asam oksalat yang masing-masing 15%, serta campuran asam kromat dan asam fosfat yang berfungsi sebagai pelarut lapisan oksida. Proses anodisasi pada logam aluminium dilakukan dalam variasi elektrolit yang berbeda, pada suhu ruangan, waktu 20 menit, tegangan 18 Volt dengan menggunakan katoda logam aluminium dengan luas permukaan lebih besar daripada logam aluminium sebagai benda kerja. Tahapan percobaan proses anodisasi ditunjukkan seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram tahapan penelitian,

Gambar 1 merupakan diagram alir tahapan percobaan, yang diawali dengan persiapan dalam melakukan percobaan antara lain adalah menyiapkan alat dan membuat larutan seperti menyiapkan larutan NaOH 10% atau larutan HCl 10%, larutan HNO₃ 10%, larutan proses anodisasi yaitu larutan proses dengan konsentrasi 15% yang meliputi larutan asam sulfat, asam kromat, asam oksalat, dan asam fosfat serta mempersiapkan benda kerja aluminium. Benda kerja aluminium dilakukan *pretreatment* permukaannya dengan

membersihkan lapisan oksida secara mekanik, larutan pikling dan etsa dalam larutan NaOH 10% dibilas kemudian dicelupkan dalam larutan asam nitrat 10% sekitar 3 menit. Setelah itu dilakukan pembilasan dengan aquades. Benda kerja yang telah siap dilakukan anodisasi dalam variasi larutan proses 15%, selama 20 menit, tegangan 18 Volt disertai pengadukan dengan benda kerja di anoda (+) dan elektroda Al di katoda (-), serta dihubungkan dengan arus searah (DC) baik dari baterai atau PLN yang telah dilewatkan dalam rectifier. Secara sederhana, rangkaian listrik proses anodisasi ditunjukkan seperti sketsa pada Gambar 2 dan rangkaian listrik pada Gambar 3.



Gambar 2. Sketsa Anodisasi.



Gambar 3. Rangkaian listrik proses anodisasi.

Produk proses anodisasi dilakukan pengujian dengan menentukan efisiensi proses dan mengukur ketebalan lapisan oksida di permukaan aluminium dan kekerasan permukaan logam baik yang telah dianodisasi maupun logam dasar. Data percobaan dilakukan analisis dengan menghitung dan menyajikan dalam bentuk grafik dan dilakukan pembahasan yang akhirnya diambil kesimpulan.

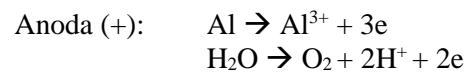
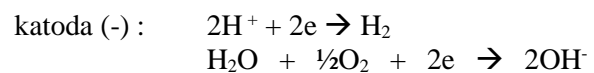
HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses anodisasi pada logam aluminium

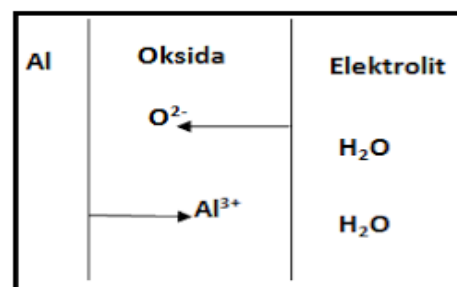
Anodisasi adalah proses pembentukan lapisan oksida tipis pada permukaan logam aluminium melalui proses elektrolisis di dalam larutan elektrolit asam. Proses anodisasi dipengaruhi oleh beberapa

faktor antara lain jenis elektrolit, rapat arus atau tegangan, persiapan permukaan benda kerja, suhu, pengadukan, dan jenis elektroda. Bahasan penelitian ini difokuskan pada pengaruh jenis elektrolit terhadap efisien proses dan sifat mekanik (ketebalan lapisan oksida dan kekerasan permukaan), sedangkan kondisi yang lain diasumsikan konstan. Kondisi operasi dilakukan pada suhu ruangan, waktu proses 20 menit, disertai pengadukan secara perlahan-lahan, luas permukaan benda kerja 24 cm², dengan elektrolit asam sulfat, asam kromat, asam oksalat, dan asam fosfat pada konsentrasi 15%.

Anodisasi merupakan salah satu aplikasi dari proses elektrolisis dengan menempatkan benda kerja aluminium di anoda (+) dan elektroda katoda (-) menggunakan juga logam aluminium dengan luas permukaan lebih lebar, reaksi di anoda melibatkan reaksi oksidasi dan di katoda melibatkan reaksi reduksi dalam larutan asam, misalnya larutan asam sulfat dengan konsentrasi 15%. Larutan elektrolit mengandung ion hidrogen (H⁺), ion sulfat (SO₄²⁻), gas oksigen dan molekul air, maka reaksi:

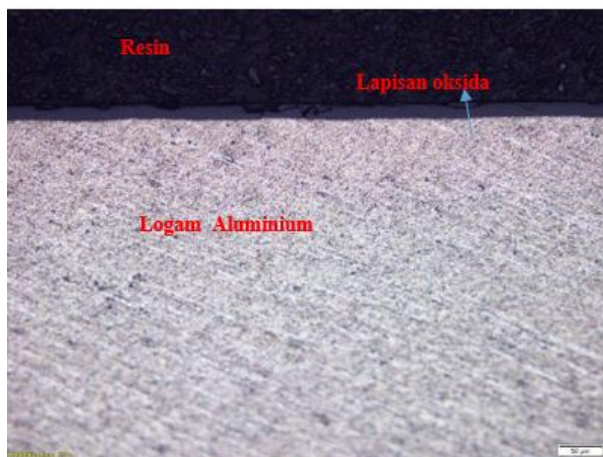


Berdasarkan reaksi di anoda logam Al menjadi ion Al³⁺ yang di permukaan dengan adanya oksigen atau hidroksi hasil reduksi di katoda bereaksi menghasilkan senyawa oksida yang melapisi permukaan benda kerja aluminium. Mekanisme pembentukan oksida di permukaan benda kerja aluminium adalah Al mengalami oksidasi menjadi ion Al³⁺, Al³⁺ di permukaan logam dengan adanya oksigen dan ion hidroksil dari penguraian air (H₂O) di anoda dan katoda membentuk lapisan oksida di permukaan logam, yang proses pembentukan oksida (Lima de Moura, 2011) dapat diilustrasikan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Pembentukan Al₂O₃.

Lapisan oksida di permukaan logam aluminium menyatu dengan logam dasar aluminium. Lapisan oksida ini merupakan lapisan berpori yang membentuk bidang heksagonal dan memiliki karakteristik yang unik sehingga meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium (Callister, 1991; Lima de Moura, 2011; ONO, 2009), Struktur lapisan oksida di permukaan logam aluminium ditampilkan sesuai Gambar 5.



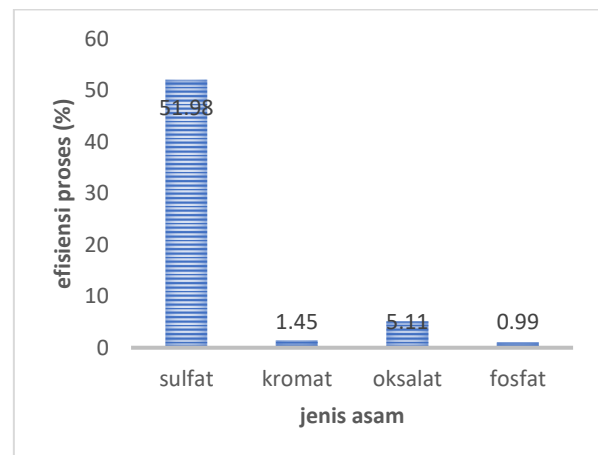
Gambar 5. Lapisan oksida di permukaan logam.

Gambar 5 menampilkan pembentukan lapisan oksida di permukaan logam dapat berupa lapisan penghalang (*barrier*) dan lapisan yang berpori (Callister, 1991; Elebar, 2016; ONO, 2009). Lapisan penghalang (*barrier*) dihasilkan berbanding lurus dengan waktu awal proses anodisasi menghasilkan ketebalan antara 0,1 dan 2% dari total lapisan oksida dan bergantung tegangan yang diberikan. Lapisan penghalang tidak berpori akibat mikrostrukturnya bersifat konduktif, ketika lapisan penghalang (*barrier*) telah mencapai batas ketebalannya, maka lapisan berpori akan terbentuk pada bagian atasnya. Lapisan berpori yang terbentuk akan meningkatkan ketebalan pada lapisan oksida, dan lapisan *barrier* memiliki ketebalan yang konstan (Abdel-Gawad et al., 2019)

Pengaruh jenis larutan terhadap efisiensi proses anodisasi

Larutan proses anodisasi meliputi larutan asam sulfat, asam kromat, asam oksalat dan asam fosfat dengan konsentrasi 15%. Kondisi operasinya adalah tegangan 18 Volt atau rapat arus 1,2 A/dm², waktu proses 20 menit, suhu ruangan dan disertai pengadukan. Jenis larutan mempengaruhi efisiensi proses anodisasi seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 ditampilkan bahwa efisiensi proses dicapai dalam larutan asam sulfat dengan efisiensi proses 51,98%. asam oksalat 5,11%, asam kromat 1,45%, dan asam fosfat 0,99% yang masing-masing di bawah 10%. Hasil efisiensi proses anodisasi dalam larutan asam sulfat efisiensi jauh lebih tinggi dibandingkan dalam ketiga larutan asam. Hal ini disebabkan asam sulfat merupakan asam kuat yang dalam larutan mengalami proses ionisasi sempurna dan menghasilkan ion hidrogen (H⁺) lebih tinggi dibandingkan ketiga asam yang merupakan asam lemah, sehingga larutan asam sulfat juga menunjukkan proses dengan pH lebih rendah dari ketiga asam yang lain.

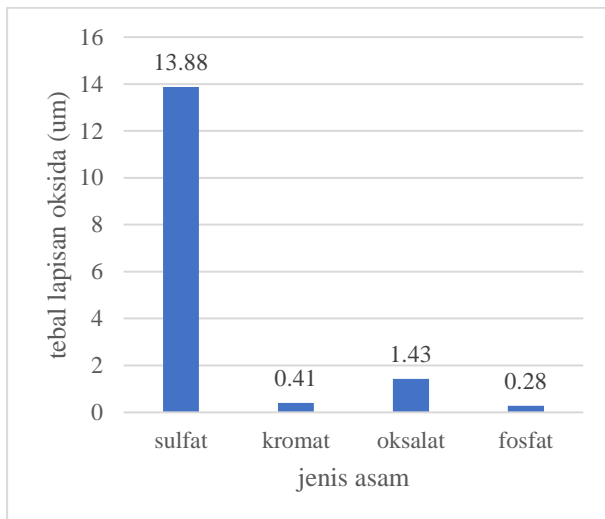


Gambar 6. Pengaruh jenis larutan vs efisiensi proses anodisasi.

Kekuatan asam dari ke empat jenis larutan adalah asam sulfat (K_{a1} : sangat besar, $K_{a2} = 1,2 \cdot 10^{-2}$), asam oksalat ($k_a: 5,6 \cdot 10^{-2}$, $K_{a2} : 5,4 \cdot 10^{-5}$) asam fosfat ($k_a : 7,5 \cdot 10^{-3}$, $K_{a2}: 6,2 \cdot 10^{-6}$) dan asam kromat ($k_a: 5$, $K_{a2} = 1,5 \cdot 10^{-6}$) (Monoatomik.). Asam kromat terjadi pada kondisi asam, dan oksidanya sebagai oksida logam yang menyebabkan proses pelarutan logam Aluminium di anoda semakin lemah dan menyebabkan pembentukan oksida yang lambat sehingga efisiensi pembentukan oksida rendah (Heidelberger & Treffers, 1989). Kekuatan asam ini menentukan sifat keasaman (H⁺) dari suatu larutan. Kandungan ion H⁺ dalam larutan asam sulfat jauh lebih tinggi dibandingkan ketiga asam lainnya, sehingga menyebabkan proses anodisasi juga lebih cepat dan menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksi (OH⁻) di katoda dan gas oksigen di anoda jauh lebih banyak. Gas oksigen dan ion hidroksi dalam larutan tersebut sangat berpengaruh terhadap reaksi pembentukan senyawa aluminium oksida di permukaan logam (Chang, 2010; Sidharta, 2014).

Pengaruh jenis larutan terhadap produk lapisan oksida

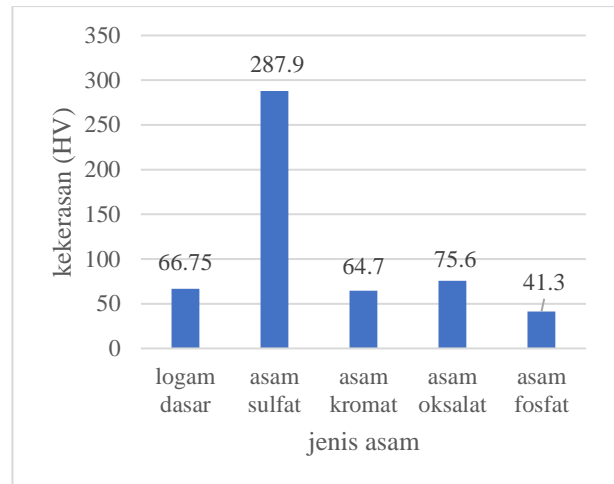
Hasil efisiensi proses anodisasi di atas mempengaruhi produk ketebalan lapisan oksida di permukaan logam dan kekerasan permukaan logam aluminium. Pengaruh jenis elektrolit terhadap ketebalan lapisan oksida ditampilkan pada Gambar 7 dan terhadap kekerasan permukaan logam seperti pada Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh jenis larutan Vs tebal lapisan oksida.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa tebal lapisan oksida tertinggi dalam larutan asam sulfat mencapai ketebalan 13,88 μm , diikuti dalam larutan asam oksalat 1,43 μm , larutan asam kromat 0,41 μm dan asam fosfat 0,28 μm . Metode pengukuran ketebalan digunakan metode gravimetri sesuai dengan ISO 2106 : 2019. Hal ini dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri merupakan metode yang akurat untuk ketebalan lapisan oksida mencapai $< 10 \mu\text{m}$ dan lapisan oksida pada semua paduan logam aluminium. Lapisan oksida menggunakan elektrolit asam kromat, menghasilkan lapisan oksida yang tipis dengan ketebalan 0,02 - 0,1 mil (0,5 - 2,5 mikron) dan memiliki efek paling kecil pada kekuatan kelelahan dan tidak korosif (Santhiarsa, 2010).

Hasil efisiensi proses anodisasi juga mempengaruhi kekerasan permukaan logam aluminium. efisiensi proses anodisasi berbanding lurus dengan kekerasan permukaan logam aluminium yang telah dilapisi oksida aluminium baik sebagai penghalang maupun yang berpori. Kekerasan permukaan logam diukur menggunakan metode Vickers atau disebut *vickers hardness* yang hasilnya ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh jenis larutan Vs kekerasan permukaan logam aluminium (HV) lapisan oksida.

Hubungan jenis larutan proses anodisasi terhadap kekerasan permukaan logam aluminium ditunjukkan bahwa kekerasan permukaan logam yang mempunyai tebal lapisan oksida di atas $1,0 \mu\text{m}$ memiliki kekerasan permukaan lebih besar dibandingkan kekerasan logam dasar yaitu produk kekerasan permukaan logam aluminium dalam asam sulfat 287,9 HV, dan dalam larutan asam oksalat 75,66 HV, sedangkan kekerasan permukaan logam dasar adalah 66,75 HV. Hal ini membuktikan bahwa lapisan oksida yang terbentuk bersifat sebagai penghalang dan perpori, yaitu lapisan oksida yang bersifat penghalang mempunyai sifat melindungi logam dari serangan korosi, dan lapisan oksida berpori mempunyai fungsi sebagai lapisan primer dan akan memberikan sifat adhesif yang kuat jika akan diberikan lapisan berikutnya atau permukaan logam diberikan pewarna. Logam aluminium yang dengan ketebalan lapisan oksida $< 1,0 \mu\text{m}$ memiliki kekerasan permukaan lebih rendah daripada kekerasan permukaan logam dasar yaitu permukaan logam produk anodisasi dalam larutan asam kromat 64,7 HV dan dalam larutan asam fosfat 41,3 HV. Hal ini terjadi diakibatkan proses pelarutan Al menjadi ion Al^{3+} mempunyai laju reaksi lebih cepat daripada laju pembentukan oksida yang melapisi permukaan logam dan menyebabkan logam menjadi lebih tipis, sehingga kekerasan permukaan logam menjadi lebih rendah.

KESIMPULAN

Berdasarkan data percobaan dan pembahasan pengaruh jenis larutan elektrolit terhadap produk proses anodisasi dapat disimpulkan bahwa efisiensi proses anodisasi dalam larutan asam sulfat memiliki efisiensi proses paling tinggi dengan 51,98%

dibandingkan dalam larutan asam kromat 1,45%, asam oksalat 5,11%, dan asam fosfat 0,99%. Produk lapisan oksida di permukaan aluminium dari proses anodisasi dalam larutan asam sulfat juga memiliki lapisan paling tebal daripada ketiga larutan elektrolit yang lain yaitu 13,88 μm dan dalam asam kromat 0,41 μm , asam oksalat 1,43 μm , dan asam fosfat 0,28 μm . Produk lapisan oksida di permukaan logam mempengaruhi sifat kekerasan permukaan logam dengan kekerasan permukaan logam produk anodisasi dalam larutan asam sulfat mencapai 287,9HV dan asam oksalat 75,6 HV di atas kekerasan permukaan logam dasar aluminium 66,75 HV dan kekerasan permukaan produk anodisasi dalam asam kromat 64,5 HV dan 41,3 HV lebih rendah dari kekerasan logam dasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Gawad, S. A., Osman, W. M., & Fekry, A. M. (2019). Characterization and corrosion behavior of anodized Aluminum alloys for military industries applications in artificial seawater. *Surfaces and Interfaces*, 14, 314–323.
<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2018.08.001>
- Callister, W. D. (1991). Materials science and engineering: An introduction (2nd edition). *Materials & Design*, 12(1), 59.
[https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)
- Chang, R. (2010). Physical chemistry. *Journal of the Franklin Institute*, 255(2), 160.
[https://doi.org/10.1016/0016-0032\(53\)90803-5](https://doi.org/10.1016/0016-0032(53)90803-5)
- Elebar, D. (2016). *Effect of sulphate impurity in chromic acid anodizing of aluminium and aluminium alloy A thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical Science.*
- Heidelberger, M., & Treffers, H. P. (1989). Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis. *Journal of General Physiology*, 25(4), 523–531.
<https://doi.org/10.1085/jgp.25.4.523>
- Lima de Moura, S. (2011). Aluminum Anodizing: The Study of the Structure of the Alumina Layer. *Wear*, January, 46580–46580.
- Monoatomik, A. (n.d.). *Tabel Tetapan Ionisasi Asam Lemah dan Basa Lemah*. 10.
- Mubarok, M. Z., Odanga, F. M., Sutarno, Wahyudi, & Wahyudi, S. (2015). Anodisasi Paduan Al 2024 T3 Dengan Metode Pulse Current Dalam Larutan Asam Tartarat-Sulfat (TSA). *Majalah Metalurgi Lipi*, 161–170.
- ONO, S. (2009). Structure and Growth Mechanism of Anodic Oxide Films Formed on Aluminum and Gas Emission. *Journal of the Vacuum Society of Japan*, 52(12), 637–644.
- Santhiarsa, I. G. N. (2010). Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Waktu Proses Anodizing Dekoratif Pada Aluminium Terhadap Kecerahan Dan Ketebalan Lapisan. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 4(1).
- Sidharta, B. W. (2014). Pengaruh Konsentrasi Elektrolit Dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, KEkerasan Serta KEtebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium Pada Material Piston. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 7(1), 10–21.
- Walker, R. (1993). Principles and prevention of corrosion. *Materials & Design*, 14(3), 207.
[https://doi.org/10.1016/0261-3069\(93\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0261-3069(93)90066-5)
- Zaki Ahmad. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control* (Issue September).