https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.315

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

Vol. 4, No. 3, 2025, pp. 68-75, e-ISSN: 2962-4290

Available online http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/

Scientific Articles

Analisis Variasi Rapat Dan Tegangan Pada Proses Anodisasi Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Paduan Aluminium

Impact of Current Density and Voltage Variations During Anodizing on the Hardness and Wear Resistance of Aluminum Alloys

Muhammad Adrian Rizky[1]*, Nani Mulyaningsih[1], Fendy Kussuma Hadi Sufyan[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116, Indonesia

**Corresponding author*: adrianbinindra@gmail.com

Diterima: 28-08-2025 **Disetujui: 13-10-2025** **Dipublikasikan: 28-12-2025**

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstrak

Aluminium paduan banyak digunakan pada industri otomotif, khususnya radiator, karena ringan, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas panas tinggi. Namun, material ini masih rentan terhadap keausan akibat erosi internal dan kontaminasi, sehingga diperlukan perlindungan tambahan. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi rapat arus dan tegangan pada proses anodizing terhadap kekerasan dan ketahanan aus aluminium seri 3xxx. Proses dilakukan dalam larutan H_2SO_4 selama 40 menit dengan arus 4 A dan 5 A serta tegangan 25 V dan 35 V. Uji Microvickers menunjukkan kekerasan tertinggi 162,63 VHN pada 4 A dan 25 V, sedangkan ketahanan aus terbaik diperoleh pada 5 A dan 35 V dengan keausan spesifik 3,02 x 10^{-4} mm^3/kg.m (peningkatan 24%).

Kata Kunci: *Anodizing*, Aluminium paduan, Kuat arus, Tegangan, Ketahanan aus.

Abstract

Aluminum alloys are widely used in the automotive industry, particularly for radiators, due to their lightweight nature, good corrosion resistance, and excellent thermal conductivity. However, these materials remain vulnerable to wear from internal erosion and contamination, necessitating additional protection. This study investigates the effects of varying current density and voltage during anodizing on the hardness and wear resistance of 3xxx-series aluminum alloys. The process was carried out in a sulfuric acid (H_2SO_4) electrolyte for 40 minutes using currents of 4 A and 5 A, combined with voltages of 25 V and 35 V. Micro-Vickers testing revealed the highest hardness of 162.63 VHN at 4 A and 25 V, while the best wear resistance was achieved at 5 A and 35 V with a specific wear rate of 0.000302371 mm^3/kg (an improvement of 24%).

Keywords: *Anodizing, Aluminum alloy, Current strength, Voltage, Wear resistance.*

1. Pendahuluan

Aluminium dikenal sebagai logam ringan yang banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti dirgantara, otomotif, dan konstruksi karena densitasnya rendah, memiliki konduktivitas panas yang baik, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, tahan korosi alami, serta mudah dibentuk, dilas, maupun dicetak (Polmear 2005). Salah satu aplikasi penting di bidang otomotif adalah radiator, yang berfungsi menjaga suhu mesin tetap optimal dengan memindahkan panas dari coolant ke udara. Aluminium paduan seri 3000 umumnya dipilih sebagai material radiator karena sifatnya mudah dibentuk, konduktivitas termalnya baik, dan ketahanan korosinya tinggi (Carlberg and Jaradeh 2006).

Namun, aluminium seri 3000 memiliki ketahanan aus yang kurang baik, sehingga rentan mengalami keausan akibat gesekan (Kaufman and Gilbert. 1999). Pada aplikasi seperti radiator, sifat tahan aus sangat penting untuk menjamin kinerja dan umur pakai komponen. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh (Sun, et al. 2022), menunjukkan peningkatan kekerasan aluminium seri 3000 melalui perlakuan shot peening dan aging hingga 83 kgf/mm² dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan shot peening dan aging sebesar 40 kgf/mm², tetapi penelitian tersebut belum menyinggung langsung aspek ketahanan aus. Salah satu metode yang terbukti efektif untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus aluminium adalah anodisasi, yaitu proses elektrokimia yang membentuk lapisan oksida pelindung pada permukaan logam (Sheasby et al. 1987). Beberapa studi menunjukkan peningkatan signifikan pada kekerasan maupun ketahanan aus setelah anodizing. (Ajeel 2010), melaporkan peningkatan kekerasan aluminium 3003 dari 77 VHN menjadi 115 VHN, sedangkan (Karjadi 2024), memperoleh kekerasan hingga 128,96 VHN. Dari sisi ketahanan aus, (Nugroho 2014), menunjukkan penurunan laju keausan aluminium AA 2024-T3 lebih dari satu orde magnitudo setelah anodizing, dan (Martha 2014), membuktikan perbaikan ketahanan aus pada aluminium 6061 dengan kondisi elektrolit tertentu.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rapat arus dan tegangan listrik pada proses anodisasi terhadap kekerasan permukaan dan ketahanan aus paduan aluminium seri 3000, serta membandingkannya dengan hasil penelitian sebelumnya.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar dan Laboratorium Bahan DTMI Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan pembuatan spesimen, uji komposisi kimia, pelaksanaan anodisasi dan analisa nilai kekerasan menggunakan uji kekerasan vickers di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar dan analisa ketahanan aus menggunakan uji keausan spesifik ogoshi di Laboratorium Bahan DTMI Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

2.1. Alat dan Bahan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium seri 3XXX dengan dimensi 30mm x 20mm dan tebal 8mm. untuk peralatan dan bahan yang dibutuhkan adalah :

- Rectifier, bak plastik, jepit buaya, gelas ukur, stopwatch, kabel
- Asam sulfat 40%, asam nitrat 68%, soda api 2%, akuades
- Alat uji komposisi kimia OES
- Alat uji kekerasan microvickers
- Alat uji keausan Ogoshi

2.2. Tahapan Penelitian

Langkah- langkah dalam dalam penelitian proses anodizing adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Spesimen

Aluminium paduan seri 3XXX yang masih dalam bentuk batangan dipotong sesuai dimensi yaitu 30mm x 20mm dan tebal 8mm.

2. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur spesifik yang terdapat pada spesimen sebelum penelitian dilaksanakan. Pada tahap ini, alat yang digunakan adalah Optical Emission Spectroscopy (OES).

3. Pre-treatment anodisasi

Pada proses pre-treatmen terdapat beberapa tahap. Tahap pertama adalah cleaning yaitu spesimen terlebih dahulu dibersihkan dengan cara merendamnya dalam larutan aquades selama 5 menit untuk menghilangkan kotoran atau partikel yang masih menempel. Setelah itu dilakukan proses etching, yaitu dengan merendam spesimen ke dalam campuran larutan soda api dan aquades sebanyak 200 gram selama 5 menit. Tahap ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan oksida serta membuat permukaan spesimen lebih halus. Selanjutnya dilakukan proses desmut, di mana spesimen dicelupkan ke dalam campuran larutan asam nitrat (HNO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 200 gram selama 5 menit. Proses ini berfungsi untuk menghilangkan bercak hitam akibat etching sekaligus mencegah cacat pada lapisan oksida. Setelah desmut selesai, spesimen dibilas kembali dengan aquades guna membersihkan sisa larutan dan menjaga kesterilan permukaan sebelum masuk ke tahap anodizing.

4. Proses anodisasi

Proses anodizing dilakukan setelah spesimen melalui tahap pre-treatment. Pada tahap ini, spesimen dicelupkan ke dalam larutan campuran aquades dan asam sulfat dengan perbandingan 60% aquades dan 40% asam sulfat, total sebanyak 1 liter. Proses anodisasi dilakukan sebanyak 4 kali dengan masing-masing variasi yaitu 4A dan 25V, 4A dan 35V, 5A dan 25V, terakhir 5A dan 35V. Setelah anodisasi selesai, spesimen dibilas menggunakan larutan aquades (proses rinsing) untuk membersihkan sisa elektrolit. Tahap terakhir adalah sealing, yaitu merendam spesimen ke dalam campuran larutan asam nitrat dan asam fosfat selama 15 menit, dengan tujuan menutup pori-pori lapisan oksida yang telah terbentuk sehingga lapisan menjadi lebih rapat dan tahan lama.

5. Uji kekerasan microvickers

Setelah spesimen dianodisasi, selanjutnya adalah Pengujian kekerasan vickers dengan menekan spesimen menggunakan indentor berbentuk limas segi empat yang terbuat dari intan, dengan sudut 136° pada bidang yang saling berhadapan. Tekanan tersebut menghasilkan jejak atau lekukan pada permukaan material. Pada penelitian ini, metode uji kekerasan mikro Vickers dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E384 yang mengatur secara spesifik antara lain beban uji (1-1000 gf untuk spesimen dengan perlakuan elektroplating), bentuk indentor (piramida dengan sudut puncak 136º), dan rumus perhitungan nilai kekerasan, yaitu:

$$\mathrm{VHN} = \frac{1{,}854\mathrm{P}}{\mathrm{d}^2} \tag{1}$$

Dengan VHN adalah nilai kekerasan yang memiliki satuan kgf/mm^2, P adalah beban yangditerapkan dengan satuan kgf, dan d^2 adalah rata-rata diagonal dengan satuan mm.

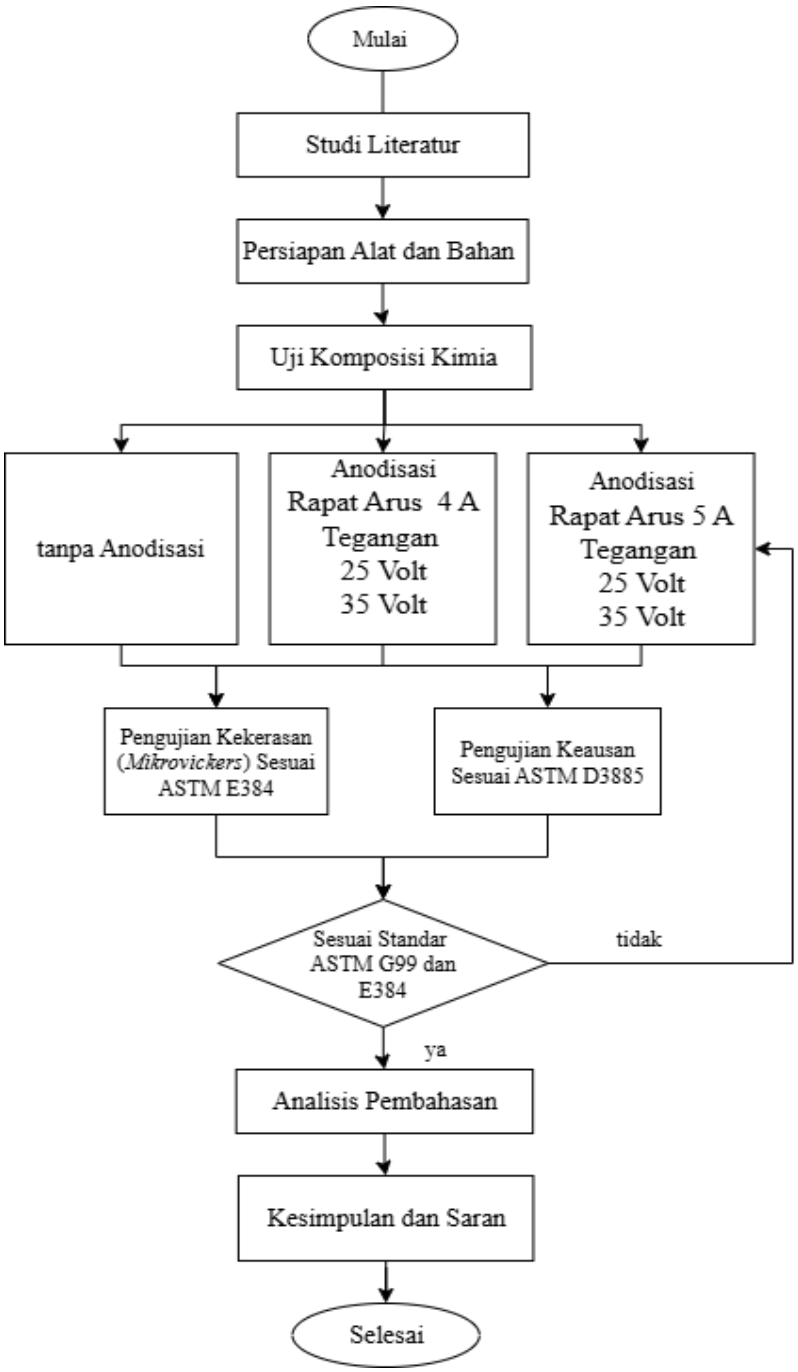
6. Uji keausan spesifik ogoshi

Pengujian keausan dengan metode Ogoshi dilakukan dengan memberikan beban gesek dari cincin yang berputar pada spesimen. Gesekan berulang ini mengikis sebagian material, meninggalkan jejak pada permukaan. Besar dan dalamnya jejak tersebut menjadi acuan untuk menilai tingkat keausan material. Pada penelitian ini, uji keausan spesifik menggunakan standar ASTM D3885 yang mengatur besar pembebanan 6,36 kg. Rumus nilai keausan spesifik dari metode ogoshi yaitu:

$$\mathrm{W_s} = \frac{\mathrm{Bb}^3}{8\mathrm{rp_o l_o}} \tag{2}$$

Dengan W_s adalah nlai keausan spesifik yang memilki satuan mm^3/kg.m, B adalah lebar piringan pengaus dengan satuan mm, b^3 adalah lebar keausan pada benda uji dengan satuan mm, r adalah jari-jari piringan pengaus dengan satuan mm, p_o adalah gaya tekan pada proses keausan berlangsung dengan satuan kg, dan l_o adalah jarak tempuh pada proses pengausan dengan satuan m.

Prosedur penelitian ditunjukkan dalam diagram alir berikut :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. hasil uji komposisi kimia

Proses pengujian memanfaatkan alat optical electron spectroscopy (OES). Hasil pengujian komposisi kimia tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Unsur Kimia dan Jumlah Kandungan

Unsur Kimia	Kandungan (%)
Al	96,62
Si	0,002
Fe	0,001
Cu	1,00
Mn	2,00
Mg	0,0001
Zn	0,0913

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia, material ini didominasi oleh aluminium (Al) sebesar 96,62%, dengan kandungan utama lainnya berupa mangan (Mn) lebih dari 2% dan tembaga (Cu) lebih dari 1%. Jika merujuk pada Buku Bahan Teknik untuk Rekayasawan (Suyitno 2021), komposisi tersebut menggolongkan spesimen ini ke dalam aluminium paduan seri 3XXX.

3.2. Hasil Anodisasi

Setelah proses anodizing dilakukan, terdapat perbedaan antara spesimen sebelum dan sesudah anodizing. Spesimen setelah dianodizing terlihat lebih berwarna dibandingkan spesimen sebelum dianodisasi. Spesimen ditunjukkan pada gambar 1.

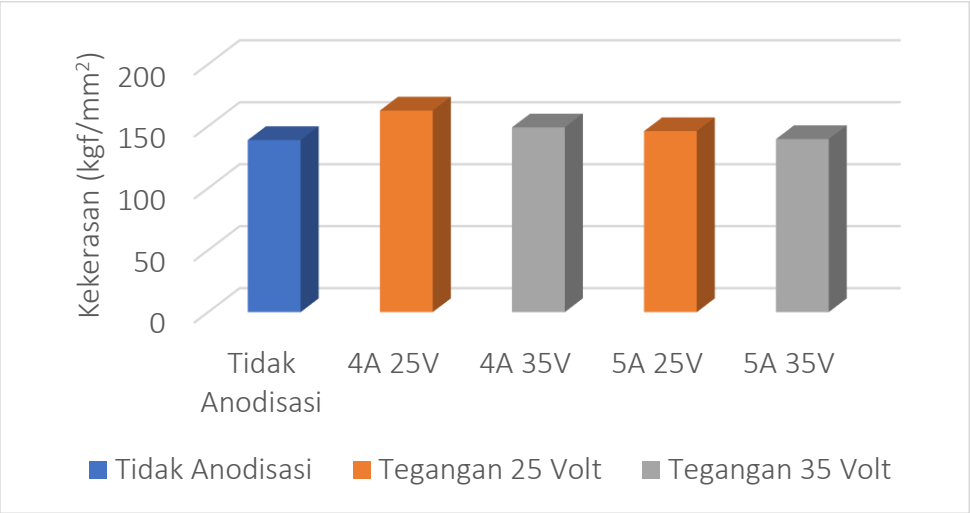
(1) (2)

Gambar 2. Perbedaan spesimen sebelum anodisasi (1) dan setelah anodisasi (2)

3.3. Pengujian Kekerasan Microvickers

Pengujian menggunakan alat uji kekerasan micro vickers dengan 5 spesimen yang dilakukan pada 3 titik sehingga mendapatkan hasil seperti pada Gambar 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses anodisasi mampu meningkatkan kekerasan material dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan, yang hanya memiliki kekerasan sebesar 139,6 kgf/mm^2. Setelah dianodisasi, nilai kekerasan meningkat dengan variasi hasil 4A dan 35V, 4A dan 25V, 5A dan 35V, serta 5A dan 25V berturut-turut menghasilkan nilai kekerasan sebesar 149,05 kgf/mm^2, 162,63 kgf/mm^2, 138,83 kgf/mm^2, dan 145,98 kgf/mm^2. Hasil kekerasan tertinggi terdapat pada variasi 4A dan 25V, yakni 162,63 kgf/mm^2.

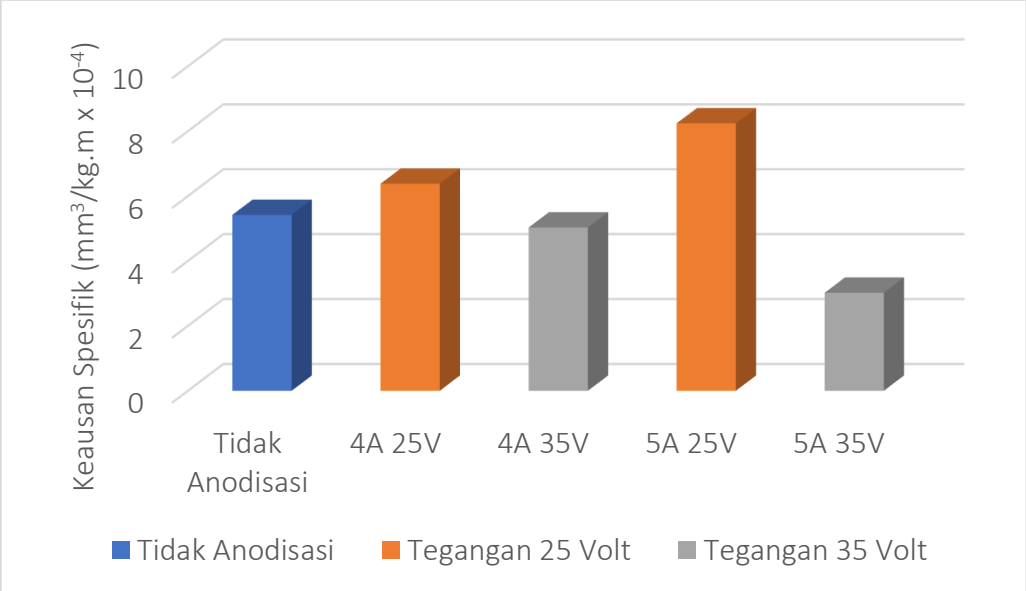
Kondisi ini terjadi karena arus dan tegangan yang relatif rendah menghasilkan lapisan oksida yang lebih rapat, dengan pori-pori kecil dan merata, sehingga mampu meningkatkan kekerasan permukaan. Sebaliknya, arus dan tegangan yang terlalu tinggi justru mempercepat pergerakan ion, membentuk pori-pori lebih besar, dan membuat lapisan oksida menjadi lebih rapuh. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Karjadi (2024).



Gambar 3. Hubungan nilai kekerasan dengan variasi rapat arus dan tegangan

3.4. Pengujian Ketahanan Aus

Metode pengujian ini menggunakan alat uji keasusan Ogoshi dimana benda uji digesekkan dengan beban sebesar 6,36 kg dari cincin yang berputar. Hasil pengujian sebagai berikut:



Gambar 4. Hubungan nilai ketahanan aus dengan variasi kuat arus dan tegangan

Pengujian menunjukkan bahwa anodisasi memberikan pengaruh nyata terhadap ketahanan aus aluminium. Spesimen tanpa anodizing memiliki nilai keausan 5,42 x 10^{-4} mm^3/kg.m, sedangkan spesimen yang dianodisasi dengan variasi 4A dan 35V, 5A dan 25V, 4A dan 25V, serta 5A dan 35V berturut-turut menghasilkan nilai ketahanan aus sebesar 5,03 x 10^{-4} mm^3/kg.m (meningkat 7,21%), 8,24 x 10^{-4} mm^3/kg.m (menurun 52,13%), 6,38 x 10^{-4} mm^3/kg.m (menurun 9,6%), dan 3,02 x 10^{-4} mm^3/kg.m (meningkat 24%).

Peningkatan ketahanan aus ini terjadi karena tegangan dan arus yang tinggi memperbesar beda potensial, sehingga ionisasi berlangsung lebih intensif. Ion-ion yang lepas dari katoda semakin banyak, lalu menempel pada aluminium dan memperkuat lapisan oksida. Lapisan yang lebih tebal dan padat inilah yang membuat permukaan aluminium lebih keras dan lebih tahan aus. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya oleh Martha (2014) dan Nugroho

(2014), yang menyatakan bahwa beda potensial dan rapat arus yang tinggi dapat menurunkan laju keausan pada aluminium.

3.5. Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini menunjukkan bahwa anodisasi mampu meningkatkan kekerasan aluminium seri 3XXX, dengan hasil tertinggi sebesar 162,63 VHN pada variasi 4A dan 25V, jauh di atas nilai penelitian sebelumnya yang hanya 83 VHN. Dari beberapa variabel yang digunakan pada penelitian ini, variabel rapat arus dan tegangan 4A dan 35V menjadi varisai yang paling optimal setelah dilakukan analisis dengan spesimen yang tidak mendapat perlakuan anodisasi dan penelitian-penelitian sebelumnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa proses anodisasi dengan variasi arus dan tegangan mampu meningkatkan sifat mekanik aluminium seri 3XXX secara signifikan. Kombinasi 4A dan 25V terbukti memberikan kekerasan permukaan tertinggi sebesar 162,63 VHN, sedangkan kombinasi 5A dan 35V menghasilkan ketahanan aus terbaik dengan peningkatan ketahanan aus hingga 24% dibandingkan material tanpa anodisasi. Dari hasil penelitian ini, variasi dengan nilai kekerasan dan ketahanan aus yang paling optimal setelah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan spesimen yang tidak mendapat perlakuan anodisasi adalah variasi 4A dan 35V. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan antara lain kurangnya variasi parameter yang digunakan, serta kurangnya pengulangan pada percobaan. Peneliti memberikan beberapa rekomendasi penelitian lanjutan seperti studi kolerasi antara struktur mikro lapisan oksida dan sifat mekanik dengan uji SEM, XRD, atau AFM, eksperimen anodisasi dengan elektrolit campuran dan tegangan serta arus yang lebih bervariasi pada aluminium untuk mengetahui pengaruhnya pada sifat mekanik aluminium tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar dan Laboratorium Bahan DTMI Universitas Gajah Mada Yogyakarta yang telah memberikan fasilitas dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada ibu dan bapak dosen pembimbing serta keluarga yang telah membantu dan memberi semangat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

Ajeel, S. A., N. W. Kasser, and B. A. Abdul-Hussein. 2010. “Breakdown and Pitting Formation of Anodic Film Aluminum Alloy (3003).” *ResearchGate*: 90–93.

Al-Hashem, A., A. Al-Qutub, and G. W. Stachowiak. 2007. “The Wear of Wrought Aluminium Alloys under Dry Sliding Conditions.” *Tribology International*: 163–164.

Carlberg, Torbjörn, and Majed Jaradeh. 2006. “Solidification Studies of Automotive Heat Exchanger Materials.” *JOM*: 56–61.

Karjadi, and Mochamad. 2024. “Pengaruh Intensitas Arus Listrik terhadap Tingkat Kekerasan Lapisan Oksida.” *Innovative*: 5–8.

Kaufman, J. Gilbert. 1999. *Properties of Aluminum Alloys: Tensile, Creep, and Fatigue Data at High and Low Temperatures*. Materials Park, OH: ASM International.

Martha, Anastasiachellisa. 2014. *Pengaruh Pre-Treatment Annealing dan Variasi Tegangan Listrik pada Proses Pelapisan Double Hard Anodizing terhadap Laju Keausan Aluminium 6061*. Skripsi Sarjana, Universitas Brawijaya: 37–44.

Nugroho, Fajar. 2014. “Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Anodizing terhadap Laju Keausan Permukaan pada Aluminium Paduan AA 2024-T3.” *Jurnal Foundry*: 1–8.

Polmear, I. J. 2005. *Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals*. Burlington, MA: Elsevier.

Prasad, N. E., and R. J. Wanhill. 2017. *Aerospace Materials and Material Technologies*. Singapore: Springer.

Sheasby, P. G., S. Wernick, and R. Pinner. 1987. *Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys*. Vols. 1–2. United States: OSTI.

Sun, Qingqing, Jing He, Jiabo Chen, and Chunhong Chen. 2022. "Hardness and Corrosion Behavior of an Al–2Mn Alloy." *npj Materials Degradation* 6 (4): 64.

Suyitno. 2021. *Bahan Teknik untuk Rekayasawan*. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pranala.