



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 2 Tahun 2024 Page 5118-5127

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Pengaruh Intensitas Arus Listrik Terhadap Tingkat Kekerasan Lapisan Oksida

Mochamad Karjadi<sup>1✉</sup>

Universitas Gunadarma

Email: [mkaryadi@staff.gunadarma.ac.id](mailto:mkaryadi@staff.gunadarma.ac.id)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Tujuan penyusunan karya ini untuk mengetahui pengaruh intensitas arus listrik terhadap tingkat kekerasan lapisan oksida. Metode penelitiannya meliputi beberapa langkah: pertama, pembersihan dan pemolesan permukaan aluminium menggunakan berbagai amplas logam, dilanjutkan dengan pembilasan menyeluruh. Kedua, teknik pembersihan yang tepat dengan larutan natrium karbonat untuk menghilangkan sisa kotoran dan meningkatkan efisiensi pembersihan, diikuti dengan siklus pembilasan berikutnya. Ketiga, proses etsa dengan cara merendam spesimen dalam larutan natrium hidroksida encer untuk menghilangkan lapisan oksida, dilanjutkan dengan pembilasan. Hasil karya ini yaitu setelah anodisasi dan pewarnaan, kekerasan mencapai puncaknya pada kekuatan arus 2A, masing-masing mencapai 104,16 VHN dan 128,96 VHN, menandai level tertinggi yang dicapai. Sebaliknya pada kuat arus 3A, kekerasan menunjukkan nilai terendah pada 82,7 VHN dan 122,34 VHN. Temuan ini menggarisbawahi pengaruh arus listrik terhadap kekerasan pasca perawatan. Perbedaan signifikan dalam nilai kekerasan antara kedua kekuatan arus menyoroti pentingnya mengontrol parameter elektrokimia selama proses anodisasi dan pewarnaan untuk mencapai sifat material yang diinginkan.

Kata Kunci : *Arus Listrik, Lapisan Oksida, Tingkat Kekerasan*

## Abstract

The purpose of this work is to determine the effect of electric current intensity on the level of hardness of the oxide layer. The research method includes several steps: first, cleaning and polishing the aluminum surface using various metal sandpaper, followed by thorough rinsing. Second, proper cleaning technique with sodium carbonate solution to remove residual dirt and increase cleaning efficiency, followed by another rinse cycle. Third, the etching process involves immersing the specimen in a dilute sodium hydroxide solution to remove the oxide layer, followed by rinsing. The result of this work is that after anodizing and coloring, the hardness reaches its peak at a current strength of 2A, reaching 104.16 VHN and 128.96 VHN respectively, marking the highest level achieved. On the other hand, at a current strength of 3A, the hardness shows the lowest values at 82.7 VHN and 122.34 VHN. These findings underscore the influence of electric current on post-treatment violence. The significant difference in hardness values between the two current strengths highlights the importance of controlling electrochemical parameters during the anodizing and coloring processes to achieve desired material properties.

Keywords: *Electric Current, Oxide Layer, Level of Hardness*

## PENDAHULUAN

Anodisasi adalah suatu teknik dalam elektrokimia yang ditandai dengan pembentukan lapisan oksida pada permukaan aluminium secara terkontrol melalui proses elektrolitik [1], [2], seperti yang dijelaskan oleh Siswoyo (2014) [3]. Tujuan utama dari anodisasi adalah untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan aluminium [4], [5]. Salah satu keunggulan utama anodisasi terletak pada kemampuannya menghasilkan lapisan oksida dengan sifat kekerasan yang ditingkatkan secara signifikan dibandingkan logam aslinya, sehingga berpotensi menyaingi kekerasan berlian [6]. Proses ini bertujuan untuk mencapai karakteristik spesifik pada lapisan oksida yang dihasilkan, termasuk ketebalan yang besar, kekerasan yang luar biasa, dan ketahanan yang kuat terhadap keausan dan korosi. Melalui kontrol yang cermat dan eksekusi yang presisi, anodisasi menjanjikan permukaan aluminium dengan daya tahan dan ketahanan yang unggul.

Aluminium milik seri 1XXX terkenal dengan kemurniannya yang luar biasa, dengan tingkat kemurnian 99,0% yang mengesankan. Meskipun memiliki kelembutan yang melekat, jenis aluminium ini menunjukkan ketahanan yang luar biasa terhadap korosi, menjadikannya pilihan yang disukai dalam berbagai aplikasi. Namun, untuk lebih meningkatkan kegunaan dan umur panjangnya, para peneliti memulai upaya untuk mengeksplorasi dampak dari berbagai kekuatan arus listrik - yaitu, 1 Ampere, 2 Ampere, dan 3 Ampere - pada proses anodisasi, yang bertujuan untuk membedah pengaruhnya terhadap kekerasan, luminositas, dan ketebalan lapisan oksida.

Pada intinya, anodisasi aluminium melambangkan transformasi elektrokimia yang rumit, dimana aluminium mengalami metamorfosis menjadi aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) pada permukaan yang akan dilapisi. Keajaiban elektrokimia ini, yang dikenal sebagai elektrolisis, terjadi melalui orkestrasi elektroda dan elektrolit [7], [8]. Dalam tarian dinamis partikel bermuatan ini, katoda muncul sebagai pembawa negativitas, berfungsi sebagai saluran bagi benda kerja, sedangkan anoda, sebaliknya, mengambil persona positif, yang mewujudkan benda kerja itu sendiri.

Mendalami tujuan proses anodisasi akan mengungkap beragam manfaat. Yang paling utama adalah penguatan ketahanan terhadap korosi, dimana lapisan oksida yang dihasilkan membentuk penghalang yang tidak dapat ditembus terhadap penyerang lingkungan, sehingga menjaga integritas logam di bawahnya. Selain itu, anodisasi memberikan kehidupan baru pada sifat perekat, memperkuat kekuatan dan ketahanan ikatan, terutama dalam industri seperti penerbangan di mana atribut tersebut sangat penting.

Upaya untuk meningkatkan ketahanan aus juga mendorong upaya anodisasi, dengan teknik anodisasi keras yang menghasilkan lapisan oksida dengan ketebalan berkisar antara 25 hingga 100 mikrometer [9]. Benteng oksida yang kokoh ini, dilengkapi dengan kekerasan bawaan aluminium oksida, tahan terhadap gaya erosif akibat abrasi, sehingga menawarkan umur panjang dalam aplikasi berat. Selain itu, lapisan oksida anodisasi berfungsi sebagai isolator listrik yang efektif, berkat resistivitasnya yang tinggi, terutama ketika pori-porinya tertutup rapat. Karakteristik ini cocok untuk upaya pelapisan selanjutnya, dimana pori-pori di dalam lapisan oksida anodik berfungsi sebagai saluran untuk proses pelapisan lebih lanjut, sering kali menggunakan asam fosfat sebagai bahan pelapis.

Di luar fungsi kegunaannya, permukaan anodisasi juga mengutamakan estetika, dengan daya tarik lapisan oksida yang mengilap menambahkan sentuhan elegan pada permukaan logam. Selain itu, lapisan oksida ini berfungsi sebagai kanvas untuk ekspresi kreatif, dengan pewarna organik yang memberikan warna cerah ke dalam pori-pori dan pigmen mineral yang menyimpan warna stabil di dalamnya, yang semakin meningkatkan daya tarik visual produk akhir. Dalam bidang kepadatan arus, terdapat banyak sekali perbedaan, dengan aliran muatan per satuan luas mempengaruhi hasil dari upaya anodisasi. Kepadatan arus yang lebih rendah menerangi lapisan oksida dengan pancaran cahaya, kontras dengan lapisan oksida dengan kepadatan lebih tinggi, yang menghasilkan ketebalan yang sebanding sambil mengorbankan luminositas.

Beberapa karya semisal yaitu Nurendra dan Rahmanto, (2018) bahwa peningkatan kuat arus pada proses anodizing menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan oksida pada permukaan aluminium [10]. Salahudin et al., (2020) bahwa dalam proses anodizing

aluminium dengan variasi arus listrik, nilai kekerasan Vickers tertinggi diperoleh pada kuat arus 1.5 ampere dengan nilai 81.99 VHN, sementara komposisi kimia menunjukkan dominasi unsur aluminium sebesar 99.30% [11]. Reyfaldy, (2023) bahwa variasi jenis larutan asam dan lama waktu proses sealing memiliki pengaruh signifikan terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan pada proses anodizing aluminium alloy 1200. Secara khusus, penggunaan larutan asam sulfat dan waktu sealing yang optimal menghasilkan peningkatan signifikan dalam kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan [12]. Muzaki et al., (2022) bahwa parameter-proses anodizing, yaitu waktu proses dan beda potensial, memiliki pengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan film alumina pada aluminium 6061. Selain itu, lapisan film alumina bersifat isolatif pada tegangan 250 Volt dan konduktif pada tegangan di atas 500 Volt, namun pengamatan morfologi menunjukkan bahwa lapisan pori yang terbentuk belum merata [13]. Kurniawan, (2023) bahwa penggunaan pewarna alami dalam proses anodizing pada aluminium 1100 secara signifikan mempengaruhi ketebalan lapisan oksida pada permukaan aluminium. Variasi parameter seperti waktu anodizing dan konsentrasi pewarna juga berdampak pada ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan [3].

Meskipun telah ada beberapa penelitian yang menginvestigasi pengaruh berbagai parameter pada proses anodizing aluminium, belum ada kajian yang secara khusus memfokuskan pada pengaruh intensitas arus listrik terhadap tingkat kekerasan lapisan oksida. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang memperdalam pemahaman tentang bagaimana variasi intensitas arus listrik pada proses anodizing dapat mempengaruhi tingkat kekerasan lapisan oksida yang dihasilkan. Ini akan memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknik anodizing yang lebih efisien dan efektif dalam melindungi permukaan aluminium dari korosi serta meningkatkan daya tahannya terhadap abrasi. Tujuan penyusunan karya ini untuk mengetahui pengaruh intensitas arus listrik terhadap tingkat kekerasan lapisan oksida.

## METODE PENELITIAN

Proses pengolahan aluminium terdiri dari beberapa langkah. Awalnya, permukaan dibersihkan dan dipoles secara manual menggunakan amplas logam dengan berbagai tingkatan untuk menghilangkan kontaminan yang menempel dan mencapai kehalusan permukaan [14]. Ini melibatkan pengaplikasian amplas logam secara berurutan mulai dari P500 hingga C5000, diikuti dengan pembilasan menyeluruh dengan air Reverse Osmosis (RO).

Selanjutnya, pembersihan menyeluruh dilakukan dengan menggunakan larutan natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) untuk meningkatkan efisiensi pembersihan dan mengontrol pH

larutan, yang bertujuan untuk menghilangkan residu dari langkah sebelumnya dan menargetkan penghilangan minyak dari pori-pori tangan kosong, serta partikel debu yang menempel pada permukaan spesimen [15]. Konsentrasi yang digunakan untuk teknik ini adalah 10 gram per liter air RO, dengan proses pembersihan berlangsung selama 2 menit sebelum dibilas terakhir dengan air RO.

Setelah pembersihan, proses etsa dilakukan untuk menghilangkan lapisan oksida yang resisten terhadap metode pembersihan sebelumnya, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih halus. Spesimen direndam dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) encer dengan konsentrasi 100 gram per liter air RO pada suhu kamar, biasanya sekitar 27-31°C, selama kurang lebih 1 menit. Pasca etsa, spesimen dibilas dengan air RO untuk menghilangkan sisa larutan. Setelah etsa, proses desmut digunakan untuk menghilangkan noda hitam pada permukaan aluminium yang disebabkan oleh komponen paduan yang tahan terhadap larutan etsa. Spesimen direndam dalam larutan desmut yang terdiri dari 75% asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), 15% asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dan 10% asam asetat (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H) selama 1 menit pada kisaran suhu 30-38°C, dilanjutkan dengan pembilasan. dengan air RO.

Selanjutnya terjadi oksidasi anodik, dimana benda uji direndam dalam tangki plastik yang berisi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dicampur dengan air RO dengan konsentrasi asam 400 ml dan air 600 ml. Suhu larutan biasanya berkisar antara 29°C hingga 44°C. Penyesuaian dilakukan pada pengaturan tegangan dan arus sebelum perendaman, dengan tegangan yang diberikan sebesar 18 volt dan variasi arus sebesar 1, 2, dan 3 ampere. Setelah kurang lebih 10 menit perendaman, spesimen dibilas dengan air RO.

Setelah pembentukan lapisan oksida selama oksidasi anodik, terjadi proses pewarnaan, yang melibatkan perendaman dalam larutan pewarna encer dengan kecepatan 15 gram per liter air RO selama 10 detik. Hal ini bertujuan untuk mencapai pewarnaan yang diinginkan, meningkatkan daya tarik dekoratif, dan memberikan lapisan pelindung di atas lapisan oksida. Setelah direndam, spesimen dibilas. Proses penyegelan bertujuan untuk menutup pori-pori lapisan oksida yang terbentuk selama oksidasi anodik dan meningkatkan warna. Hal ini dicapai dengan merendam spesimen dalam larutan yang mengandung asam asetat encer dengan 50 gram per liter air RO selama kurang lebih 10 detik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh intensitas arus listrik terhadap tingkat kekerasan lapisan oksida pada permukaan aluminium merupakan fokus utama dari penelitian ini. Dalam proses oksidasi anodik, berbagai intensitas arus listrik diterapkan pada benda uji yang direndam dalam larutan asam sulfat, dengan pengaturan tegangan dan arus yang berbeda. Penelitian

bertujuan untuk memahami bagaimana variasi arus listrik ini mempengaruhi pembentukan dan sifat mekanik dari lapisan oksida yang terbentuk, dengan pengukuran kekerasan menjadi indikator utama. Dengan mempelajari respons lapisan oksida terhadap perubahan intensitas arus listrik, diharapkan dapat ditemukan hubungan yang jelas antara parameter proses anodik dan karakteristik fisik lapisan oksida yang dihasilkan.

Setelah menyelesaikan tahap pengujian, serangkaian data dikumpulkan untuk dianalisis. Data ini menjalani pemeriksaan yang cermat dan diuraikan secara sistematis, menggali subtopik spesifik yang relevan dengan setiap jenis pengujian yang dilakukan. Pendekatan komprehensif ini memungkinkan eksplorasi temuan secara mendetail, memfasilitasi pemahaman menyeluruh tentang hasil yang diperoleh dari berbagai prosedur pengujian.

Pengujian kekerasan permukaan adalah prosedur penting yang bertujuan untuk mengevaluasi atribut kekerasan bahan mentah setelah proses anodisasi dan pewarnaan, dengan arus listrik berkisar antara 1 hingga 3 Ampere. Dengan memberikan beban gaya 200 gram pada spesimen, pemeriksaan ini memberikan wawasan berharga mengenai ketahanan dan kinerja material dalam berbagai kondisi. Variasi intensitas arus listrik memungkinkan dilakukannya analisis komprehensif tentang bagaimana parameter pemrosesan memengaruhi kekerasan permukaan. Melalui pengujian yang cermat, para insinyur dan peneliti memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang perilaku material, memungkinkan mereka mengoptimalkan proses produksi dan meningkatkan kualitas produk jadi dalam berbagai aplikasi industri.

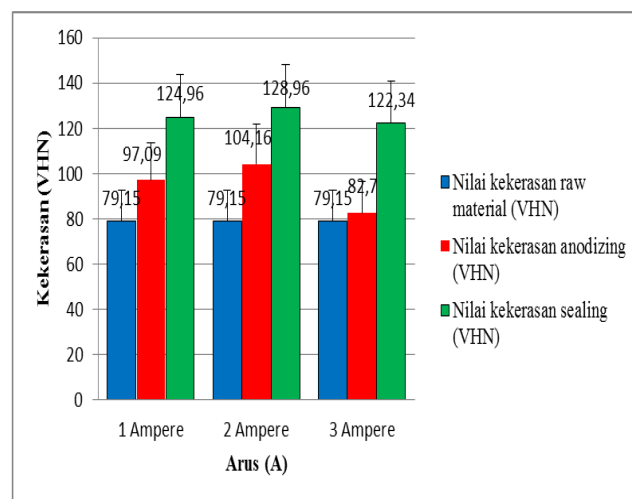
Tabel 1. Hasil uji kekerasan

No	Variasi	Posisi Titik Uji		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>rata-rata</sub> ( $\mu$ m)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
				( $\mu$ m)	( $\mu$ m)			
1	Raw Materia	Acak		75	75	75	65,92	79,15
				66	66	66	85,12	
				65,5	65,5	65,5	86,42	
2	Arus 1 Ampere	Anodizing	Acak	56,5	55	55,75	106,52	97,09
				54,5	52	53,25	85,12	
				56	53	54,5	99,65	
	sealing	Acak	59	59	59	119,3	124,96	
			66	66	66	130,76		
			61	61	61	124,83		
3	Arus 2 Ampere	Anodizing	Acak	59	59	59	106,52	104,16
				56	56	56	118,23	
				65	65	65	87,73	
	sealing	Acak	56	55	55,5	120,37	128,96	
			53	53	53	132		
			55	50	52,5	134,53		
4	Arus 3 Ampere	Anodizing	Acak	68	68	68	80,19	82,70
				65	65	65	87,73	
				68	68	68	80,19	
	sealing	Acak	59	50	54,5	124,83	122,34	
			51	51	51	142,56		
			61	61	61	99,65		

Perhitungan Vickers Hardness Number (VHN) memiliki peranan krusial dalam pengujian bahan baku aluminium. Dengan menggunakan rumus  $VHN = 1,854 \times P / d^2$ , di mana P adalah beban yang diterapkan dan d adalah rata-rata ukuran diagonal lekukan pada titik uji, kita dapat mengukur tingkat kekerasan bahan secara akurat. Sebagai contoh, dengan beban P sebesar 200 gf dan rata-rata ukuran diagonal d sebesar 75 mm, VHN dapat dihitung menjadi 65,92 kg/mm<sup>2</sup>. Proses ini tidak hanya memberikan nilai kekerasan individu pada titik lekukan acak, tetapi juga memungkinkan perhitungan kekerasan rata-rata yang mencerminkan sifat keseluruhan bahan.

Menjaga prosedur pengukuran yang teliti sangat penting dalam memastikan akurasi penilaian kekerasan material. Dengan merata-ratakan nilai VHN dari beberapa titik uji, seperti dalam contoh sebelumnya, kita dapat menetapkan kekerasan rata-rata yang lebih representatif. Hasil pengukuran ini bukan hanya menjadi pedoman dalam mengevaluasi kualitas bahan baku aluminium, tetapi juga penting untuk mengontrol kualitas produk akhir dan melakukan optimalisasi proses fabrikasi. Dengan demikian, pemahaman yang baik tentang prosedur pengukuran VHN dan penerapannya yang konsisten sangatlah diperlukan dalam industri aluminium.

Penggunaan Vickers Hardness Number bukan hanya sebatas untuk pengujian bahan baku aluminium, tetapi juga penting dalam pemantauan kualitas produk selama proses fabrikasi. Dengan memantau perubahan kekerasan pada titik lekukan acak, produsen dapat mengidentifikasi potensi masalah dalam proses produksi dan melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk meningkatkan kualitas produk. Sebagai alat pengendalian kualitas yang andal, VHN memainkan peran kunci dalam menjaga standar kualitas yang tinggi dalam industri aluminium, serta dalam mencapai hasil produksi yang optimal.



Gambar 1. Keterkaitan arus listrik dengan nilai kekerasan

Analisis terhadap aspek kekerasan menunjukkan bahwa proses anodisasi dan pewarnaan dengan intensitas arus listrik yang bervariasi memiliki dampak yang signifikan pada tingkat kekerasan lapisan oksida aluminium. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terdapat peningkatan yang konsisten dalam kekerasan lapisan oksida setelah proses anodisasi, dengan nilai tertinggi dicapai pada intensitas arus 2 Ampere (104,16 VHN), mengalami penurunan pada 3 Ampere (82,7 VHN). Selanjutnya, proses pewarnaan meningkatkan kekerasan lapisan oksida secara signifikan, dengan nilai tertinggi dicapai pada intensitas arus 2 Ampere (128,96 VHN). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kompleks antara intensitas arus listrik, proses anodisasi, dan kekerasan lapisan oksida, dengan potensi peningkatan kekerasan yang signifikan melalui proses pewarnaan. Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa intensitas arus yang terlalu tinggi dapat menghasilkan penurunan kekerasan, menandakan pentingnya penyesuaian parameter proses untuk mencapai tingkat kekerasan yang optimal. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap interaksi antara parameter proses dan karakteristik kekerasan lapisan oksida sangat penting dalam upaya untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan permukaan aluminium yang dihasilkan.

Analisis menunjukkan bahwa peningkatan intensitas arus memberikan pengaruh nyata pada peningkatan kekerasan permukaan aluminium, sebagaimana dibuktikan dengan hasil pada intensitas arus 2 Ampere. Namun, penting untuk diperhatikan bahwa intensitas arus yang terlalu tinggi dapat mempercepat penurunan kekerasan permukaan aluminium. Fenomena ini disebabkan oleh percepatan pergerakan ion, yang berkontribusi pada pembentukan pori-pori yang lebih besar di dalam lapisan oksida. Pengamatan ini sejalan dengan pernyataan Irvan Kaisar Renaldi (2018) hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) pada aluminium 2024 menghasilkan lapisan alumina yang meningkatkan kekerasan material. Proses PEO dengan waktu oksidasi selama 40 menit menghasilkan kekerasan tertinggi mencapai 896,2 HV, menandakan peningkatan signifikan dari kekerasan substrat aluminium. Hal ini menunjukkan bahwa waktu oksidasi memainkan peran penting dalam membentuk lapisan alumina yang memiliki sifat kekerasan yang tinggi [16]. Syahrul, (2023) bahwa hasil penelitian menunjukkan bahwa paduan Aluminium yang dilas dan dilakukan artificial aging mengalami peningkatan tingkat kekerasan sebesar 30% - 50% dibandingkan dengan paduan Aluminium yang dilas tanpa proses artificial aging. Hal ini menunjukkan bahwa proses artificial aging efektif dalam meningkatkan kekerasan logam, memberikan peningkatan signifikan pada sifat mekanik paduan Aluminium 6061 setelah pengelasan [17]. Ajiriyanto dan Anawati, (2022) Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan oksida zirkonium ( $ZrO_2$ ) yang dihasilkan melalui

metode plasma electrolytic oxidation (PEO) memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Selain itu, parameter proses PEO seperti rapat arus, jenis elektrolit, dan konsentrasi elektrolit mempengaruhi karakteristik kekerasan lapisan tersebut. Dengan optimasi parameter-proses PEO, dapat dicapai peningkatan signifikan dalam kekerasan lapisan, meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi suhu tinggi, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar pada kelongsong Zr-4 dalam reaktor nuklir tipe PWR [18].

#### SIMPULAN

Setelah anodisasi dan pewarnaan, kekerasan mencapai puncaknya pada kekuatan arus 2A, masing-masing tercatat pada 104,16 VHN dan 128,96 VHN, menandai tingkat tertinggi yang dicapai. Sebaliknya pada kuat arus 3A, kekerasan menunjukkan nilai terendah yaitu sebesar 82,7 VHN dan 122,34 VHN. Temuan ini menggarisbawahi pengaruh arus listrik terhadap kekerasan pasca perawatan. Perbedaan signifikan dalam nilai kekerasan antara kedua kekuatan arus menyoroti pentingnya mengontrol parameter elektrokimia selama proses anodisasi dan pewarnaan untuk mencapai sifat material yang diinginkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- K. R. Dantes, *Composites Manufacturing and Testing-Rajawali Pers.* PT. RajaGrafindo Persada, 2021.
- A. Aswan, "Analisa Pengaruh Tegangan Pada Proses Anodisasi Terhadap Karakteristik Lapisan Pada Permukaan Plat Aluminium= Analysis Of The Voltage Of Stress On The Anodizing Process On The Characteristics Of The Coating On The Surface Of The Aluminium Plate." Universitas Hasanuddin, 2022.
- R. A. Kurniawan, "Analisa Pewarna alami proses Anodizing terhadap ketebalan permukaan alumunium 1100," 2023.
- H. Hidayat, "Optimasi Parameter Proses Anodisasi Aluminium 6061 untuk Komponen Otomotif," *J. Penelit. Enj.*, vol. 25, no. 2, pp. 85–91, 2021.
- D. Aditia, R. Usman, and Y. Yuniati, "Pengaruh Variasi Arus Dan Waktu Pada Anodisasi Type Hard Proses Terhadap Kekerasan Permukaan Aluminium," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 47–52, 2019.
- S. Safiri, "Analisa Variasi Voltase Dan Waktu Proses Anodizing Terhadap Bending Strength Dan Ketebalan Lapisan Oksida." Universitas Islam Riau, 2021.
- E. Melyna, K. S. Nisa, and A. A. L. Fitri, "Pengaruh Penambahan Serbuk Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada Komposit Serat Kayu Jati Bermatriks Polipropilena," *J. Tek. Kim.*, vol. 29, no. 2, pp. 62–70, 2023.

- N. Faizah, "Pengaruh Penambahan Maleic Anhydride pada Komposit Serat Kulit Jagung bermatriks Polipropilena dengan Penambahan Serbuk Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ) terhadap Kuat Tarik dan Kristalinitas." Politeknik STMI Jakarta, 2023.
- E. Widodo, "Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit," *Umsida Press*, pp. 1–111, 2022.
- R. Nurendra and R. H. Rahmanto, "Analisis Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Waktu Proses Anodizing pada Outer Tube Front Fork Model XY Terhadap Ketebalan Lapisan," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 36–40, 2018.
- X. Salahudin, H. Setiawan, and K. Suharno, "Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Anodizing Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Permukaan Aluminium," *J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2020.
- L. J. Reyfaldy, "Pengaruh Variasi Jenis Larutan Anodizing dan Lama Waktu pada Proses Sealing terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Hasil Anodizing Aluminium Alloy 1200," 2023.
- M. Muzaki, I. Mashudi, M. Fakhruddin, A. M. Anwar, R. A. N. Paranata, and G. Wiganata, "Analisis Pengaruh Variasi Beda Potensial dan Waktu Proses Anodizing terhadap Karakteristik Lapisan Oksida Aluminium 6061," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, pp. 59–66, 2022.
- T. Puji Raharjo and S. T. Patna Partono, "Studi Pengaruh Variasi Waktu Pada Proses Anodizing Terhadap Kekerasan, Kekasaran Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Seri 1000." Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021.
- A. Sebastyantito, "Pengaruh Temperatur Elektrolit Dan Waktu Proses Elektroplating Kuningan Pada Baja Karbon Rendah Terhadap Daya Lekat," *Surabaya Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2019.
- I. K. Renaldi, "Pengaruh Waktu Oksidasi Terhadap Morfologi Dan Kekerasan Lapisan  $Al_2O_3$  Pada Aluminium 2024 Menggunakan Metode Plasma Electrolytic Oxidation," 2018.
- A. A. Syahrul, "Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan Artificial Aging terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061." Fakultas Teknik Unpas, 2023.
- M. K. Ajiriyanto and A. Anawati, "Kajian Literatur Karakteristik Lapisan Keramik Oksida yang Ditumbuhkan Diatas Paduan Zirkonium dengan Metode Plasma Electrolytic Oxidation," *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 12, no. 1, pp. 19–34, 2022.