

Karakterisasi Aluminium Pada Proses *Hard Anodizing* Dalam Variasi Asam Fosfat Dan Asam Sulfat 15%

Idham Kholid Ibrahim¹, Isma Afifah Ramadhani^{2,*}, Jasinta Putri Alamsari³, Keira Khalisha⁴, Rony Pasonang Sihombing⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

E-mail : ¹idham.kholid.tki20@polban.ac.id; ^{2,*}isma.afifah.anki22@polban.ac.id;

³jasinta.putri.tki22@polban.ac.id; ⁴keira.khalisha.tki22@polban.ac.id; ⁵rony.pasonang.sihombing@polban.ac.id

ABSTRAK

Paduan Aluminium 1100 dapat digunakan sebagai material pada industri otomotif, terutama pada kendaraan komersial dan komponen pesawat terbang. Untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanisnya, dilakukan proses *hard anodizing*. Pada proses *hard anodizing*, benda kerja aluminium 1100 diampelas, dihilangkan lemak pada larutan basa dan dinetralkan pada larutan asam. Selanjutnya, proses *hard anodizing* dilakukan dengan meletakkan benda kerja pada kutub positif dan elektroda pada kutub negatif (katoda) dari sumber arus searah. Proses *hard anodizing* paduan aluminium 1100 dilakukan dalam larutan asam sulfat 15%, rapat arus 3A/dm², waktu anodisasi 30 menit, temperatur 5°C, katoda aluminium, dan variasi konsentrasi asam fosfat (0%; 0,5%; 1%; 1,5%;2%). Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya lapisan oksida di permukaan logam yang terdiri dari dua jenis lapisan, yaitu lapisan penghalang dan lapisan berpori. Lapisan penghalang tidak memiliki pori-pori karena memiliki sifat mikrostruktur yang konduktif dan mencapai ketebalan maksimum. Lapisan berpori yang terbentuk dapat meningkatkan ketebalan keseluruhan lapisan oksida, sementara lapisan penghalang tetap memiliki ketebalan yang konstan dan meningkatkan tingkat kekerasan aluminium. Ketebalan lapisan oksida terbaik adalah 23,61 µm pada penambahan fosfat 2%, serta kekerasan tertinggi sebesar 165,05 HVN pada penambahan asam fosfat 0,5%

Kata Kunci

Paduan Aluminium 1100, *Hard Anodizing*, Asam Sulfat 15%, Asam Fosfat, Sifat Mekanik.

1. PENDAHULUAN

Logam aluminium merupakan logam yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik sebagai perlengkapan dapur maupun dalam industri otomotif dan pesawat terbang. Aluminium memiliki berat jenis yang ringan, mudah dibentuk, dan tahan terhadap korosi, tetapi kekerasan logam ini rendah. Untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan ausnya, digunakan proses *hard anodizing*.

Proses *hard anodizing* menghasilkan lapisan oksida di permukaan aluminium yang tahan terhadap panas, nonkonduktif, tahan cuaca buruk, dan proses pemesinan yang abrasif. Hal ini dicapai dengan mendinginkan larutan elektrolit hingga mendekati suhu 0°C, sehingga jumlah arus listrik yang mengalir meningkat dan membentuk lapisan oksida yang lebih banyak dalam waktu singkat.

Larutan elektrolit yang digunakan dalam proses *hard anodizing* adalah asam sulfat (H₂SO₄), karena dapat menghasilkan lapisan oksida yang

lebih tebal dibandingkan dengan asam kromat. Namun, penggunaan asam sulfat mengakibatkan pori-pori yang besar pada permukaan aluminium yang dilapisi, yang berakibat terhadap tingkat kekerasan logamnya berkurang dari seharusnya. Masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan larutan elektrolit lemah, seperti asam oksalat, asam nitrat, atau asam fosfat, yang dapat mengurangi pembentukan pori-pori.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan asam fosfat ke dalam larutan asam sulfat dalam proses *hard anodizing* dapat menghasilkan logam dengan pori-pori yang lebih rapat. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa kekerasan permukaan logam tergantung pada konsentrasi larutan elektrolit dan suhu. Dalam penelitian ini, tujuan utamanya adalah melakukan pengembangan lanjutan mengenai *hard anodizing* dalam larutan asam sulfat 15% dengan penambahan variasi konsentrasi asam fosfat untuk menguji kekerasan dan ketebalan lapisan oksida pada aluminium. Diharapkan hasil dari penelitian ini

dapat memberikan rekomendasi dan acuan mengenai kondisi operasi proses *hard anodizing* yang dilaksanakan.

Pada riset sebelumnya diperoleh kekerasan permukaan logam sebesar 301,03 HVN, penelitian tersebut dilakukan dalam larutan asam sulfat 12% dan asam oksalat 1% [1]. Pada riset lainnya mengenai pengaruh temperatur (5-30°C) pada proses *hard anodizing* dalam larutan asam sulfat 15%, dicapai kekerasan maksimum pada suhu <5°C [2]. Serta pada riset lain yang memvariasikan penggunaan elektrolit asam (sulfat, fosfat, oksalat) dengan konsentrasi 15%, dari percobaan tersebut dicapai penggunaan larutan asam sulfat 15% efektif dalam proses *hard anodizing* [3]. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk pengembangan lanjutan mengenai *hard anodizing* dalam larutan asam sulfat 15% dengan penambahan variasi konsentrasi asam fosfat terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan oksida di permukaan logam aluminium. Selain bentuk dari inovasi proses *hard anodizing*, diharapkan hasil dari 3 penelitian menjadi rekomendasi atau acuan mengenai kondisi operasi proses *hard anodizing* yang dilaksanakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Paduan Aluminium 1100

Aluminium 1100 adalah salah satu paduan yang paling banyak digunakan. Paduan Aluminium 1100 memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, termasuk kekuatan yang baik, kemampuan deformasi yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan konduktivitas termal yang baik. Paduan ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti industri makanan dan minuman, peralatan rumah tangga, pembungkus makanan, peralatan kimia, dan lainnya [4]. Contoh paduan aluminium 1100 terdapat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Paduan Aluminium 1100 dengan ketebalan 2 cm

Berdasarkan ASTM B-209-96 [5] kandungan senyawa Al pada paduan aluminium 1100 seharusnya minimal 99% dari jumlah semua senyawa yang terkandung pada paduan aluminium 1100 dan dengan kekerasan paduan

logam aluminium 1100 pada umumnya yaitu berkisar 35 – 55 HVN.

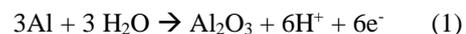
2.2 Mekanisme *Hard anodizing*

Hard anodizing merupakan salah satu proses anodizing dengan kualitas kekerasan dan ketahanan korosi paling tinggi dari jenis anodizing yang lain. Paduan aluminium pada *hard anodizing* sangat menghindari aluminium berkadar tembaga dan mangan tinggi, dikarenakan hal ini menimbulkan kerusakan pada lapisan oksida yang kurang berkualitas. Produk-produk dari *hard anodizing* ini pada umumnya diaplikasikan pada peralatan yang memerlukan ketahanan aus/kekerasan yang unggul, seperti piston dan *hydraulic gear* [6].

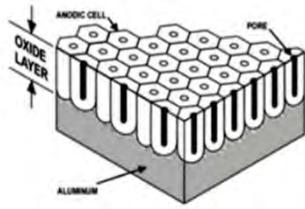
Secara umum, mekanisme dari *hard anodizing* dilakukan secara elektrolisis yang berarti terdapat larutan elektrolit di dalamnya. Hal ini bertujuan agar pH aluminium berada pada daerah yang rentan terhadap proses oksidasi. Agar terjadi aliran arus pada sel percobaan, maka katoda dan anoda dihubungkan pada sumber arus searah (DC) yaitu rectifier, dimana aluminium dihubungkan dengan kutub positif dan katoda berupa elektroda inert dihubungkan pada kutub negatif. Pada saat rectifier diaktifkan, maka arus mengalir dari kutub positif dan hal ini menyebabkan terjadinya pelepasan elektron pada aluminium, yang menyebabkan aluminium teroksidasi dan berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida [7].

2.3 Lapisan Oksida

Hasil dari proses anodisasi yaitu terbentuknya lapisan oksida tipis yang terintegrasi dengan baik terhadap logam dasarnya. Reaksi pembentukan lapisan oksida pada aluminium ditunjukkan pada persamaan:

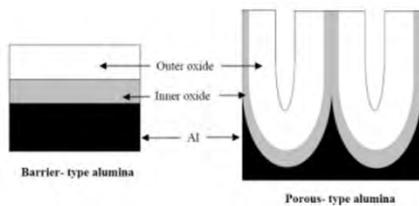


Lapisan oksida yang terbentuk dapat meningkatkan ketahanan *abrasive*, dan kemampuan menyerap zat pewarna (*dyestuff*) untuk menghasilkan tampilan warna pada permukaan aluminium. Aluminium serta paduan-paduannya mempunyai sifat tahan terhadap korosi atmosferik dikarenakan adanya lapisan oksida protektif yang mampu terbentuk cepat pada saat logam terpapar udara.



Gambar 2. Struktur Lapisan Oksida [8]

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam bergantung pada jenis larutan elektrolit yang digunakan, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida memiliki struktur yang porous atau berpori dengan bentuk hexagonal, dengan pori yang terdapat ditengahnya [9].



Gambar 3. Skema Pori Hasil Anodisasi [10]

Dari Gambar 3 terlihat bahwa lapisan dasar merupakan lapisan yang tipis dan padat, yang berfungsi sebagai lapisan antara lapisan pori dan logam dasar (*base metal*). Lapisan tersebut memiliki sifat yang melindungi korosi dan tahan terhadap arus listrik. Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dan pelarutan lapisan oksida. Pada awalnya lapisan pori yang terbentuk memiliki bentuk silinder memanjang namun kemudian bersinggungan dengan oksida-oksida lainnya yang berada disisinya, maka lapisan tersebut bertransformasi menjadi berbentuk saluran heksagonal yang memanjang [9].

3. METODE RISET

3.1 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini:

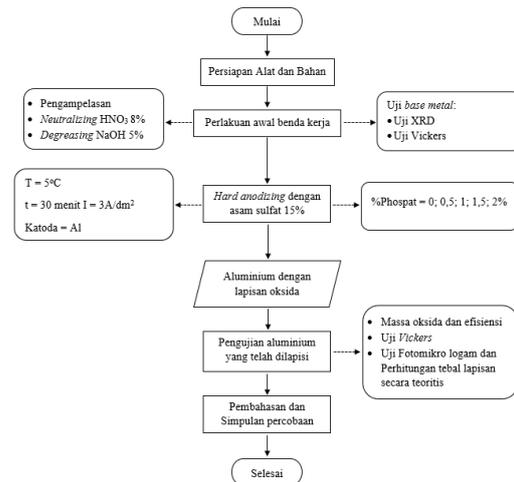
Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan

Alat	Bahan
1. Bak penampung	1. Asam Sulfat 15%
2. Neraca Analitik	2. Asam Fosfat
3. Katoda (Al)	3. NaOH 5%

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 4. Avometer | 4. HNO ₃ 8% |
| 5. Rectifier | 5. Aquadest |
| 6. Gelas Kimia 1000 ml | 6. Asam Kromat |
| 7. Hot Plate | 7. Es Batu |
| 8. Gelas Ukur | 8. Bakelite |
| 9. Termometer | 9. Aluminium 1100 |
| 10. Kertas Abrasive | |
| 11. Rotary Grinder | |

3.2 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan penelitian ini:



Gambar 4. Tahapan percobaan *hard anodizing*

3.2.1 Pre-Treatment Benda Kerja

Benda kerja yaitu paduan aluminium 1100 dilakukan pengampelasan terlebih dahulu untuk memperhalus dan membuang kotoran atau produk korosi yang terdapat pada permukaan benda kerja, proses pengampelasan dilakukan pada air mengalir hal ini untuk mencegah logam teroksidasi dengan udara sekitar. Benda kerja selanjutnya dilakukan proses degreasing menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) secara singkat dengan tujuan membuka pori-pori di permukaan logam, selanjutnya dibilas dengan air bersih dan dicelupkan ke dalam larutan asan nitrat (HNO₃) selama 3 menit untuk proses neutralizing yang bertujuan untuk menetralkan sisa basa di permukaan logam serta bertujuan agar permukaan semakin bersih dan hasil anodisasi menjadi cerah.

3.2.2 Proses *Hard anodizing*

Proses anodisasi dilakukan dengan menggunakan aluminium sebagai benda kerja dan sebagai katoda. Proses riset ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan, perlakuan pada aluminium dan pengujian awal. Lalu, proses ini menggunakan larutan elektrolit yaitu asam sulfat 15% dengan penambahan variasi konsentrasi asam fosfat sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%. Kondisi operasi yang digunakan pada proses *hard anodizing* ini yaitu temperatur $\leq 5^{\circ}\text{C}$, rapat arus 3 A/dm^2 , katoda aluminium dan waktu anodisasi selama 30 menit. Setelah itu, dilakukan pengujian ketebalan lapisan dan kekerasan permukaan terhadap paduan aluminium 1100 yang telah dilapisi.

3.2.3. Pengujian Ketebalan Lapisan

Nilai kekerasan dapat ditunjukkan dengan bantuan alat *Vickers*, dilakukan dengan penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah indenter berupa *pyramid diamond* terbalik dengan sudut puncak 136° ke permukaan logam yang diuji kekerasannya. Untuk pengukuran kekerasan mengacu pada ASTM E384 [11].

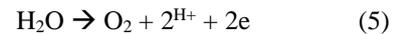
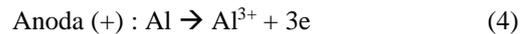
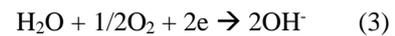
3.2.4 Pengujian Kekerasan Permukaan

Nilai ketebalan menunjukkan hasil lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam. Alat yang digunakan yaitu fotomikro agar memperlihatkan struktur morfologi dari logam sehingga lapisan menjadi terlihat. Dalam pengujian, spesimen dilakukan perlakuan antara lain pemilihan permukaan, pembuatan ukuran, pemotongan, pembersihan, penghalusan permukaan, pelapisan (*bakelite*), proses gerinda, dan poles yang mengacu pada ASTM E3 [12].

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.2 Proses *Hard anodizing*

Proses anodisasi dilakukan dengan pengadukan perlahan-lahan, menggunakan elektrolit asam sulfat 15% dengan penambahan variasi konsentrasi asam fosfat sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%. Kondisi operasi yang digunakan pada proses *hard anodizing* ini yaitu temperatur $\leq 5^{\circ}\text{C}$, rapat arus 3 A/dm^2 , katoda aluminium dan waktu anodisasi selama 30 menit. Anodisasi merupakan salah satu aplikasi dari proses elektrolisis di mana benda kerja aluminium 1100 ditempatkan sebagai anoda (+) dan elektroda katoda (-) menggunakan logam aluminium dengan luas permukaan yang lebih besar. Reaksi oksidasi terjadi di anoda, sedangkan reaksi reduksi terjadi di katoda dalam larutan asam seperti larutan asam sulfat dengan konsentrasi 15%.



Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada permukaan aluminium melibatkan oksidasi Al menjadi ion Al^{3+} , ion Al^{3+} bereaksi dengan oksigen dan ion hidroksil yang berasal dari penguraian air (H_2O) pada anoda dan katoda. Hasil reaksi ini membentuk lapisan oksida pada permukaan logam.

Lapisan oksida pada permukaan logam aluminium terabsorpsi pada logam dasar aluminium. Lapisan oksida ini memiliki struktur berpori yang membentuk bidang heksagonal dengan karakteristik khas (Gambar 2.) yang dapat meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium. Lapisan oksida di permukaan logam dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Lapisan oksida hasil *hard anodizing*

Pada Gambar 5 terlihat bahwa pembentukan lapisan oksida di permukaan logam dapat terdiri dari dua jenis lapisan, yaitu lapisan penghalang (*barrier*) dan lapisan berpori seperti ilustrasi pada Gambar 2 sebelumnya. Lapisan penghalang tidak memiliki pori-pori karena memiliki sifat mikrostruktur yang konduktif dan mencapai ketebalan maksimum. Lapisan penghalang diikuti oleh pembentukan lapisan berpori di bagian atasnya. Lapisan berpori yang terbentuk dapat meningkatkan ketebalan keseluruhan lapisan oksida, sementara lapisan penghalang tetap memiliki ketebalan yang konstan [13].

4.3 Karakter Ketebalan Lapisan Oksida Aluminium Hasil *Hard anodizing* Dengan Penambahan Fosfat

Pengujian foto mikro ini dilakukan untuk mengetahui seberapa tebal lapisan oksida pada permukaan aluminium seri 1100. Pengujian ini dilakukan dengan perbesaran 20 kali. Hasil pengujian foto mikro disajikan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hubungan penambahan konsentrasi fosfat terhadap ketebalan lapisan

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa penambahan konsentrasi asam fosfat dapat mempengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium seri 1100, semakin tinggi konsentrasi fosfat yang ditambahkan maka semakin tebal lapisan oksida yang terbentuk. Peningkatan konsentrasi asam fosfat mempengaruhi kehilangan logam (*metal loss*) pada proses anodisasi, sehingga base metal yang terkikis diganti oleh lapisan oksida. Seiring meningkatnya konsentrasi fosfat yang ditambahkan maka semakin cepat pula lapisan pori yang terbentuk. Tebal lapisan oksida yang dihasilkan pun sudah cukup baik dengan rata rata tebal lapisan yang dihasilkan sekitar 16,6 µm, pada umumnya *hard anodizing* menghasilkan ketebalan lapisan oksida sekitar 12,5 µm – 125 µm [14].

4.4 Kekerasan Permukaan Aluminium Hasil *Hard anodizing* Dengan Penambahan Fosfat

Hubungan penambahan konsentrasi fosfat terhadap tingkat kekerasan logam aluminium 1100 proses *hard anodizing* tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan penambahan konsentrasi fosfat terhadap kekerasan permukaan logam

Dari Gambar 7 terlihat bahwa penambahan asam fosfat dapat meningkatkan tingkat kekerasan logam aluminium 1100 pasca *hard anodizing*. Pada konsentrasi fosfat 0,5% didapatkan nilai kekerasan paling tinggi yaitu sebesar 165,05 HVN, sedangkan pada konsentrasi 2% memiliki nilai kekerasan yang paling kecil yaitu sebesar 115,15 HVN.

Peningkatan konsentrasi yang berlebih akan menyebabkan lambatnya pembentukan lapisan barrier, untuk itu diperlukan komposisi konsentrasi larutan elektrolit yang tepat untuk mendapatkan lapisan film yang optimal. Selain itu, penambahan asam fosfat yang terlalu tinggi dapat mempercepat proses pelarutan Al menjadi ion Al^{3+} sehingga laju reaksinya menjadi lebih cepat dibandingkan laju pembentukan lapisan barrier yang melapisi permukaan logam, sehingga kekerasan permukaan logam menjadi menurun [7].

Secara teoritis seharusnya semakin tinggi ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan maka semakin tinggi pula tingkat kekerasan logamnya. Pada percobaan ini hal tersebut tidak terjadi, hal tersebut diakibatkan oleh semakin tinggi penambahan konsentrasi fosfat maka lapisan barrier yang terbentuk semakin tipis namun tidak mempengaruhi pembentukan lapisan berporinya. Lapisan barrier merupakan lapisan yang dapat meningkatkan nilai kekerasan dari sebuah logam, semakin tebal lapisan barrier maka semakin tinggi pula nilai kekerasannya [1].

5 KESIMPULAN

Penambahan konsentrasi asam fosfat dalam larutan elektrolit asam sulfat 15% dapat meningkatkan sifat mekanik aluminium. Pada penambahan fosfat 2% menghasilkan lapisan oksida paling tebal yaitu setebal 23,61 µm, sedangkan kekerasan logam tertinggi dihasilkan pada penambahan fosfat 0,5% sebesar 165,05 HVN.

Perlu ada penelitian lanjutan mengenai *hard anodizing* menggunakan benda kerja aluminium selain seri 6xxx maupun 7xxx yang saat ini umum digunakan di dunia otomotif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Aditia, R. Usman, dan Yuniati, "Pengaruh Variasi Arus Dan Waktu Pada Anodisasi Type Hard Proses Terhadap Kekerasan Permukaan Aluminium," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 3, 2019.
- [2] Nurdin, R. Yulio, dan Yuniati, "Pengaruh Variasi Suhu, Konsentrasi Larutan Asam Sulfat Dan Asam Oksalat Pada Proses Hard Anodisasi Terhadap Kekerasan Permukaan Aluminium Alloy 6061," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 4, 2020.
- [3] A. Indra, Maftuchin, dan Wahono, "Pengaruh variasi larutan elektrolit terhadap warna dan kekerasan lapisan hasil proses anodizing," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 25, 2017.

- [4] AircraftMaterialsUK.com Ltd, "AirCraft Material," 2019, 27 Mei 2023.
- [5] ASTM International, "ASTM-B-209-96," dalam *Standard Specification for Aluminium Alloy Sheet Aluminium Plate*, United States, 2022, hlm. 298.
- [6] D. Purnama, "Pelapisan Aluminium Dengan Proses Anodisasi Multiwarna Untuk Aplikasi Komponen Dekoratif Secara Praktis," *Politeknologi*, hlm. 11, 2013.
- [7] B. W. Sidharta, "Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, Kekerasan, Serta Ketebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium Pada Material Piston," *Jurnal Teknik Mesin*, 2014.
- [8] Hutasoit, "Pengaruh Penambahan Konsentrasi Asam Oksalat Terhadap Ketebalan Lapisan Oksida," *Teknik Metalurgi*, 2008.
- [9] I. Widyastuti, "Pertumbuhan Lapisan Oksida Terhadap Hasil Anodizing Aluminium," *Transmisi*, vol. VII, no. 1, 2011.
- [10] Sipayung, "Pengaruh Penambahan Konsentrasi Elektrolit Pada Proses Anodisasi," *Makalah Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, 2008.
- [11] ASTM International, "ASTM E 384," dalam *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*, United States, 2019, hlm. 1–15.
- [12] ASTM International, "ASTM E 3," dalam *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, United States, 2019, hlm. 1–8.
- [13] A. Gawad, "Characterization and corrosion behavior of anodized Aluminum alloys for military industries applications in artificial seawater," *Surfaces and Interfaces*, hlm. 314–323, 2019.
- [14] M. Rahmatullah, "Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap Efisiensi Proses Anodizing Pada Aluminium Paduan," Malang, 2010.