

# Pengaruh Tegangan Operasi Dalam Peningkatan Sifat Mekanik Hasil *Hard Anodizing* Aluminium 1100 Dalam Asam Sulfat 15% Dan Asam Fosfat 1%

**Muchamad Raihan Surya Rusmana<sup>1</sup>, Idham Kholid Ibrahim<sup>2</sup>, Agustinus  
Ngatin<sup>3</sup>, Rony Pasonang Sihombing<sup>4,\*</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : \*rony.pasonang.sihombing@polban.ac.id

## ABSTRAK

Aluminium alloy 1100 umum digunakan dalam industri otomotif khususnya kendaraan komersial, seperti sebagai bahan pembuat komponen pesawat terbang. Untuk memenuhi sifat-sifat fisik dan mekanis agar tahan terhadap cuaca ekstrem dan lingkungan yang mengandung air garam perlu adanya peningkatan ketahanan aus dan kekerasan permukaan melalui proses *hard anodizing*. Dalam proses *hard anodizing*, dilakukan pengampelasan benda kerja yang akan digunakan, kemudian dilakukan proses *pickling*, *degreasing*, dan *neutralizing*. Selanjutnya, dilakukan proses *hard anodizing* dengan menempatkan benda kerja pada kutub positif dan elektroda pada kutub negatif (katoda) dari sumber arus DC. Proses *hard anodizing* ini menggunakan larutan elektrolit campuran H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 1% dengan rapat arus yang digunakan 3A/dm<sup>2</sup>, temperatur 5°C serta variasi tegangan 10V dan 20V. Dari penelitian ini didapatkan pada tegangan 20V dengan efisiensi terbaik 83,05%, ketebalan lapisan oksida terbaik 11,43 µm dan kekerasan permukaannya 144,25 HVN.

### Kata Kunci

*Aluminium alloy 1100, Sifat mekanik, Hard anodizing, Tegangan.*

## 1. PENDAHULUAN

Logam aluminium umum dipakai pada aktivitas harian masyarakat. Logam ini kerap digunakan pada peralatan rumah tangga, mesin kendaraan utamanya aluminium merupakan satu bahan pembuat pada *gear* pesawat terbang. Ada beberapa kekurangan yang terdapat pada logam aluminium diantaranya kekerasan permukaan logam yang rendah, mudah aus, juga warna logam yang terlihat kusam dan kurang menarik [1].

Pada pembuatan *gear* pesawat terbang umumnya menggunakan *hard anodizing* untuk meningkatkan tingkat kekerasan dan ketahanan aus logam aluminium. *Hard anodizing* menghasilkan lapisan oksida di permukaan yang tahan panas dan tidak bersifat konduktif. Lapisan oksida yang dihasilkan tahan terhadap cuaca buruk, semprotan garam, dan proses pemesinan yang bersifat abrasif. Hal ini disebabkan pada proses anodisasi ini menggunakan larutan elektrolit yang didinginkan hingga mendekati atau bahkan mencapai titik beku air.

Proses anodisasi memiliki kemampuan untuk menghasilkan lapisan oksida protektif dengan

ketebalan tertentu yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi, aus, dan abrasi. Pada proses anodisasi menggunakan prinsip elektrolisis dengan anoda terhubung pada logam aluminium yang akan dianodisasi, sementara bagian katoda terhubung dengan plat penghantar anodisasi. Perbedaan potensial ini akan merangsang pertumbuhan lapisan oksida pada permukaan logam aluminium [2].

Dalam meningkatkan kekerasan aluminium hasil *hard anodizing* pada aluminium paduan 6061, kuat arus dan tegangan listrik memiliki pengaruh yang signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *anodizing* umumnya meningkatkan kekerasan aluminium. Pada kuat arus 1A dan tegangan listrik 30V, hasilnya menunjukkan kondisi yang optimal dengan nilai kekerasan sebesar 162 VHN [3].

Hasil dari penelitian diatas belum membuktikan hasil penelitiannya menggunakan paduan aluminium seri 1XXX. Sifat aluminium seri 1XXX yang lunak cenderung mudah tergores dan tidak terlalu sering dipakai untuk aplikasi perkakas yang membutuhkan ketahanan dan kekuatan material. Oleh sebab itu, perlu

diteliti pengaruh tegangan pada proses *hard anodizing* menggunakan benda kerja aluminium seri 1XXX.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Paduan Aluminium 1100

Material sebagai benda kerja yaitu aluminium tipe 1100. Aluminium 1100 adalah salah satu paduan yang paling banyak digunakan. Aluminium alloy 1100 memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, termasuk kekuatan yang baik, kemampuan deformasi yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan konduktivitas termal yang baik. Paduan seringkali dipakai untuk industri makanan dan minuman, peralatan rumah tangga, pembungkus makanan, peralatan kimia, dan lainnya [4].

### 2.2 Hard Anodizing

Jenis ini menggunakan larutan asam sulfat sebagai elektrolit dengan konsentrasi yang lebih tinggi dan dengan temperatur yang lebih rendah dari 20°C. Lapisannya memiliki ketebalan 75 µm dan berfungsi sebagai isolator listrik yang efektif. Dalam jenis ini, lapisan yang terbentuk lebih kuat, tahan terhadap aus, korosi, dan perubahan warna, serta dapat menahan temperatur tinggi dengan tingkat kekerasan yang tinggi. Hasil dari proses ini umum digunakan pada peralatan yang memerlukan ketahanan aus yang tinggi, seperti piston atau *hydraulic gear*.

### 2.3 Faktor yang Mempengaruhi Anodisasi

#### 2.3.1 Jenis dan Konsentrasi Larutan Elektrolit

Pilihan elektrolit dan konsentrasi larutan memiliki dampak signifikan pada ketebalan dan kekerasan lapisan oksida yang terbentuk selama proses anodisasi. Jika menggunakan larutan yang reaktif, konsentrasi yang digunakan tidak perlu tinggi. Karena semakin tinggi konsentrasi larutan yang dipakai, semakin tipis lapisan oksida yang terbentuk. Karena, jika konsentrasinya terlalu tinggi akan meningkatkan tingkat kehilangan berat, dan pada akhirnya dapat mengakibatkan pengikisan yang signifikan pada *base metal* [5].

#### 2.3.2 Tegangan dan Rapat Arus

Tegangan dan rapat arus memiliki hubungan linier dalam aplikasinya. Peningkatan tegangan akan menyebabkan peningkatan rapat arus, dan sebaliknya. Pengaruh tegangan dan rapat arus pada proses anodisasi akan mempengaruhi tingkat kekerasan yang dihasilkan. Semakin tinggi rapat arus, maka kekerasan yang terbentuk akan meningkat, dan waktu yang optimal dalam proses

anodisasi cenderung menjadi lebih singkat. [6].

#### 2.3.3 Waktu Anodisasi

Peningkatan waktu dalam proses anodisasi menyebabkan peningkatan pembentukan lapisan oksida. Waktu merupakan faktor penting dalam proses anodisasi, utamanya pada pembentukan pori yang semakin teratur [7].

#### 2.3.4 Temperatur Anodisasi

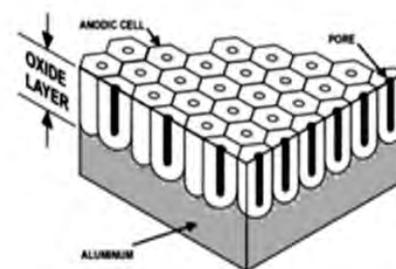
Temperatur anodisasi mempengaruhi kualitas dan kekerasan lapisan oksida. Menurunkan temperatur akan menghasilkan peningkatan kekerasan lapisan. Sebaliknya, meningkatkan temperatur dapat menyebabkan penurunan kekerasan pada lapisan oksida [8].

### 2.4 Lapisan Oksida

Dalam proses anodisasi, terbentuk lapisan oksida tipis yang terhubung secara baik dengan logam dasarnya. Persamaan reaksi pada pembentukan lapisan oksida aluminium yaitu:



Lapisan oksida yang terbentuk memiliki efek positif terhadap ketahanan terhadap gesekan (*abrasive*) dan penyerapan zat pewarna (*dyestuff*) sehingga menciptakan keunikan warna aluminium. Aluminium dan paduan-paduannya ketika terpapar udara akan membentuk lapisan protektif menyebabkan ketahanan terhadap korosi atmosferik. Lapisan oksida ini sangat penting untuk melindungi aluminium dari kerusakan yang disebabkan oleh reaksinya dengan unsur-unsur di lingkungan sekitar.



Gambar 2.1 Struktur lapisan oksida [1]

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam tergantung pada jenis larutan elektrolit yang digunakan. Selama proses anodisasi, terbentuk dua jenis lapisan oksida, yaitu lapisan dasar oksida dan lapisan pori oksida. Lapisan oksida ini mempunyai bentuk struktur pori yang terletak di tengah lapisan oksida tersebut. Bentuk pori-pori tersebut memiliki struktur hexagonal [9].

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Bahan dan Alat yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan ditunjukkan pada tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Alat dan Bahan	
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 <sub>3</sub> 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 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 3.2.1 Variabel Bebas

Tegangan Operasi : 10 dan 20 V

#### 3.2.2 Variabel Terikat

Benda Kerja : Aluminium 1100

Konsentrasi Asam Sulfat : 15%

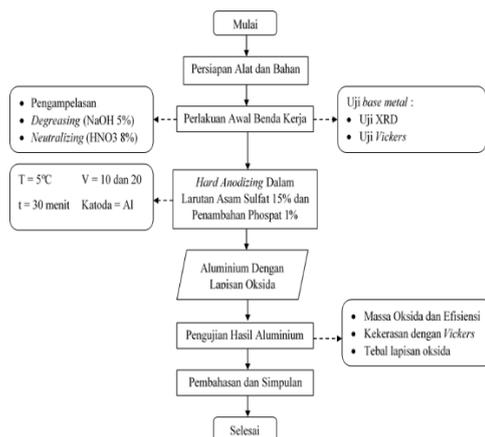
Konsentrasi Asam Phospat : 1%

Temperatur : 5°C

Waktu proses : 30 menit

### 3.3 Prosedur Penelitian

Proses *hard anodizing* yang akan dilakukan secara garis besar dapat digambarkan pada *flowchart* berikut



Gambar 3.1 Flowchart Proses Penelitian

#### 3.3.1 Pengujian Base Metal

Benda kerja awal berupa aluminium 1100 dilakukan pengujian keras menggunakan alat *Vickers*, hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan awal logam yang dinyatakan dalam HVN sehingga nantinya dapat terlihat pengaruh proses *hard anodizing* dan tegangan

proses dalam meningkatkan nilai kekerasan permukaan logam. Logam awal juga dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), hal ini untuk mengetahui kandungan paduan pada benda kerja logam aluminium 1100.

#### 3.3.2 Perlakuan Awal Benda Kerja

Sebelum dilakukan proses *hard anodizing* benda kerja dilakukan proses pengampelasan dalam air mengalir untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel, lalu dilakukan proses *degreasing* dalam larutan NaOH 5% untuk membuka pori-pori di permukaan logam, selanjutnya dibilas dengan air bersih dan dicelupkan ke dalam larutan asan nitrat (HNO<sub>3</sub>) 8% selama 3 menit untuk proses *neutralizing* yang bertujuan untuk menetralkan sisa basa di permukaan logam.

#### 3.3.3 Proses Hard anodizing

Proses Anodisasi dilakukan dengan menggunakan Aluminium 1100 sebagai benda kerja yang ditempatkan pada kutub positif dan Aluminium dengan ukuran lebih besar sebagai katoda ditempatkan pada kutub negatif. Proses ini menggunakan larutan elektrolit yaitu Asam Sulfat 15% dengan penambahan konsentrasi asam phospat sebesar 0,5%, serta variasi tegangan 10V dan 20V. Kondisi operasi yang digunakan pada proses ini yaitu temperatur 5°C dan waktu anodisasi 30 menit. Pada setiap variasi dilakukan percobaan dengan 3 sampel dengan logam ke 2 akan dilarutkan dalam campuran asam kromat dan asam phospat untuk mengetahui hasil massa oksida [10]. Sedangkan logam 1 akan dilakukan pengujian kekerasan dan ketebalan lapisan oksida.

#### 3.3.4 Pengujian Hasil

Pengujian hasil penelitian berupa massa oksida, efisiensi, nilai kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan oksida. Perhitungan massa oksida yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan persamaan hukum faraday. Nilai kekerasan dapat ditunjukkan dengan bantuan alat *Vickers* sesuai standar ASTM E384, sehingga didapatkan nilai keras yang dinyatakan dalam HVN [11]. Nilai ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan teoritis.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Base Metal

Hasil pengujian Base Metal untuk nilai kekerasan dengan alat *vickers* pada pembebanan sebesar 0,1 didapat nilai kekerasan base metal yang akan digunakan yaitu sebesar 42,65 HVN. Nilai yang dihasilkan sesuai dengan kekerasan logam aluminium alloy 1100 pada umumnya yaitu berkisar 35 – 55 HVN. Pada hasil uji XRD

yang dilakukan, didapat komposisi paduan pada base metal yang ditampilkan pada tabel 4.1 dibawah ini

**Tabel 4. 1 Hasil Uji XRD**

Unsur	% Kandungan
Al	98,1%
Cu	0,4%
Zn	0,4%
Fe	0,4%
Si	0,3%
V	0,2%
Mn	0,1%

Nilai kandungan Al pada tipe 1100 berdasarkan ASTM-B-209-96 memiliki nilai minimal 99%. Perbedaan nilai komposisi pada hasil uji dengan literatur dapat dikarenakan adanya kontaminasi, pengotor atau perubahan dalam proses manufaktur [12].

#### 4.2 Hasil Proses *Hard anodizing*

Penelitian dilakukan pada variasi tegangan 10V dan 20V terhadap kondisi operasi temperatur 5°C , waktu operasi 30 menit, penggunaan katoda aluminium (Al) dan elektrolit asam sulfat 15% dengan penambahan konsentrasi fosfat 1%. Proses *Hard anodizing* menggunakan sumber arus searah, sehingga ketika arus dinyalakan pada benda kerja akan terjadi pelepasan elektron yang selanjutnya akan teroksidasi dengan oksigen (O<sub>2</sub>) yang didapat dari elektrolit sehingga membentuk lapisan aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Reaksi yang terjadi pada proses ditunjukkan pada persamaan:



Hasil proses *Hard anodizing* ditampilkan pada gambar berikut



**Gambar 4. 1** Lapisan Oksida Hasil *Hard anodizing*

Lapisan yang terbentuk yaitu lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan lapisan pori oksida (*porous oxide film*). Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dan pelarutan lapisan oksida. Lapisan oksida yang dihasilkan memiliki fungsi untuk melindungi bagian logam sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan, ketahanan terhadap korosi, dan tahan aus [13].

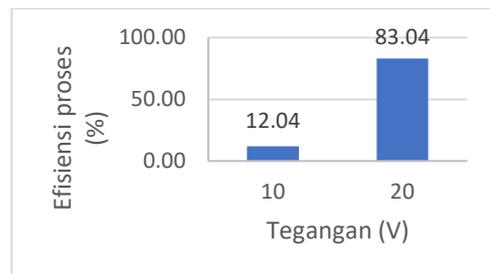
#### 4.3 Pengaruh Tegangan Terhadap Hasil Massa Oksida dan Efisiensi Proses

Massa oksida yang dihasilkan dari proses *hard anodizing* ditampilkan pada tabel 4.2 dibawah ini

**Tabel 4. 2 Hasil Massa Oksida**

Tegangan	Massa Oksida (g)
10 V	0,023
20 V	0,158

Setelah didapatkan massa oksida maka dapat dihitung nilai efisiensi proses yang dihasilkan. Hasil efisiensi ditampilkan pada gambar 4.2 dibawah ini



**Gambar 4. 2** Hasil Efisiensi Proses

Berdasarkan hasil tabel 4.2 dan gambar 4.2 penggunaan tegangan tinggi yaitu 20V dapat meningkatkan nilai massa oksida dan efisiensi proses dibandingkan dengan penggunaan tegangan lebih rendah yaitu 10V, dengan hasil massa oksida 0,158 g dan efisiensi proses 83,04%. Hal ini disebabkan tegangan tinggi dapat mendorong pertumbuhan oksida lebih cepat dan merata dibandingkan dengan penggunaan tegangan rendah, sehingga peningkatan massa oksida pada permukaan logam selama proses berlangsung dapat berjalan lebih maksimal. Sedangkan pada tegangan yang rendah proses pertumbuhan oksida akan berjalan lebih lambat.

#### 4.4 Pengaruh Tegangan Terhadap Hasil Ketebalan Lapisan Oksida

Pengukuran dilakukan menggunakan perbandingan volume oksida dengan luas permukaan sehingga diperoleh nilai ketebalan lapisan oksida yang ditampilkan pada gambar 4.3 dibawah ini

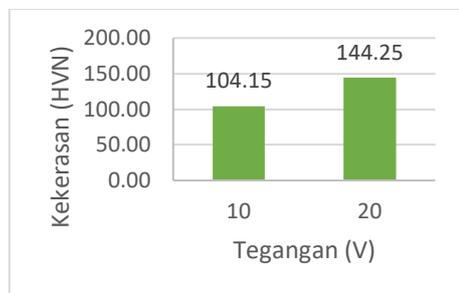


**Gambar 4. 3** Hasil Tebal Lapisan Oksida

Berdasarkan hasil gambar 4.3 penggunaan tegangan 20V dapat meningkatkan nilai ketebalan lapisan oksida dibandingkan dengan penggunaan tegangan lebih rendah yaitu 10V, dengan hasil ketebalan oksida 11,43  $\mu\text{m}$ . Hal ini disebabkan karena ketika tegangan dinaikkan, maka medan listrik yang terbentuk diantara elektroda akan terjadi peningkatan. Peningkatan medan listrik ini akan menarik lebih banyak ion dari larutan elektrolit menuju permukaan benda kerja (aluminium), sehingga proses pembentukan lapisan oksida selama proses anodisasi pada permukaan akan meningkat dan menghasilkan lapisan yang lebih tebal [14].

#### 4.5 Pengaruh Tegangan Terhadap Hasil Kekerasan Permukaan Logam

Pengukuran dilakukan menggunakan alat *vickers* sehingga diperoleh nilai kekerasan yang ditampilkan pada gambar 4.4 dibawah ini



Gambar 4. 4 Hasil Kekerasan Permukaan

Berdasarkan hasil gambar 4.4 penggunaan tegangan 20V dapat meningkatkan nilai kekerasan permukaan dibandingkan dengan penggunaan tegangan lebih rendah yaitu 10V, dengan hasil kekerasan 144,25 HVN. Hal ini disebabkan karena tegangan tinggi menyebabkan peningkatan beda potensial, sehingga energi untuk melepaskan ikatan ion pada katoda akan semakin besar. Dengan semakin banyaknya ion yang lepas dari ikatannya, maka semakin besar energi kinetik yang dihasilkan sehingga proses penumbukan ion yang lepas pada katoda dengan benda kerja (aluminium) menyebabkan jarak antar atom akan semakin rapat. Hal ini yang menyebabkan lapisan yang terbentuk memiliki sifat yang lebih padat dan minim poros sehingga nilai kekerasan pada logam dapat meningkat.

#### 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian *hard anodizing* dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian *base metal* didapatkan nilai kekerasan 42,65 HVN, dan kandungan Al 98,1%. Ketidaksesuaian nilai komposisi paduan pada hasil XRD dengan literatur disebabkan adanya kontaminasi, pengotor atau perubahan dalam proses manufaktur

2. Lapisan oksida yang dihasilkan melalui proses *hard anodizing* memiliki fungsi untuk melindungi bagian logam sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan, ketahanan terhadap korosi, dan tahan aus.
3. Tegangan tinggi meningkatkan hasil massa oksida dan efisiensi proses. Pada variasi 20V dihasil massa oksida 0,158 g dan efisiensi proses 83,04%.
4. Tegangan tinggi meningkatkan hasil ketebalan lapisan oksida yang terbentuk selama proses. Pada variasi 20V dihasil nilai ketebalan lapisan oksida 11,43  $\mu\text{m}$ .
5. Tegangan tinggi meningkatkan hasil kekerasan permukaan logam. Pada variasi 20V dihasil nilai kekerasan 144,25 HVN.

#### 6. SARAN

1. Perlu dilakukan pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat struktur dan lebar lapisan pori permukaan logam dalam skala mikro dan nano.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutasoit, "Pengaruh Penambahan Konsentrasi Asam Oksalat Terhadap Ketebalan Lapisan Oksida," *Teknik Metalurgi*, 2008.
- [2] A. Kusuma, I. Karyasa, and I. N. Suardana, "Anodizing logam aluminium dengan variasi beda potensial," *Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja*, 2014.
- [3] Hamzah, F Wahyudi, and Purnami, "Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan Listrik Hard Anodizing Terhadap Ketebalan Lapisan dan Kekerasan Permukaan Aluminium 6061 Dengan Katoda Titanium," *Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, 2013.
- [4] AircraftMaterialsUK.com Ltd, "AirCraft Material," 2019, May 27, 2023.
- [5] Sulistijono, "Pengaruh Densitas Arus Dan Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Ketebalan Dan Kualitas Pewarna Lapisan Oksida Pada Proses Anodizing," *Jurnal Teknik Mesin*, 2006.
- [6] F. Nugroho, "Pengaruh Rapat Arus Anodizing Terhadap Nilai Kekerasan Pada Plat Aluminium," *Jurnal Angkasa*, vol. VII, no. 2, 2015.
- [7] Fukuda and D. Masuda, "Highly Ordered Nanohole Arrays in Anodic Porous Alumina," *Nanostructure Science and Technology*, 1995.
- [8] Aerts, "Influence Of The Anodizing Temperatures On the Porosity and The Mechanical Process," *Mechanical Process*, 2007.
- [9] I. Widyastuti, "Pertumbuhan Lapisan Oksida Terhadap Hasil Anodizing Aluminium," *Transmisi*, vol. VII, no. 1, 2011.
- [10] International Standard, "ISO 2106," in *Anodizing of aluminium and its alloys - Determination of mass per unit area (surface density) of anodic oxidation coating - gravimetric method*, 2019, pp. 1–2.
- [11] ASTM International, "ASTM E 384," in *Standard Test Method for Microindentation*

- Hardness of Materials*, United States, 2019, pp. 1–15.
- [12] ASTM International, “ASTM-B-209-96,” in *Standard Specification for Aluminium Alloy Sheet Aluminium Plate*, United States, 2022, p. 298.
- [13] A. Gawad, “Characterization and corrosion behavior of anodized Aluminum alloys for military industries applications in artificial seawater,” *Surfaces and Interfaces*, pp. 314–323, 2019.
- [14] S. Rahayu, “Analisis Fenomena Elektrohodinamik Pada Permukaan Minyak Silikon Menggunakan Plasma Lucutan Pijar Korona Positif,” *Berkala Fisika*, no. 10, pp. 13–23, 2017.