

**TUGAS AKHIR - TL234839**

**PENGARUH BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075  
MENGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK  
INDUSTRI PESAWAT**

**ROMARIO SIMANJUNTAK**  
NRP 5011201041

Dosen Pembimbing  
**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 197701162003122007  
**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**  
NIP 199007262015041002

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024





**TUGAS AKHIR - TL234839**

**PENGARUH BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075  
MENGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK  
INDUSTRI PESAWAT**

**ROMARIO SIMANJUNTAK  
NRP 5011201041**

**Dosen Pembimbing  
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197701162003122007  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.  
NIP 199007262015041002**

**Program Studi Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL234839**

**EFFECT OF DIFFERENT VOLTAGE AND OXIDATION  
TIME ON MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES  
OF AA 7075 USING PEO COATING METHOD FOR  
AIRCRAFT INDUSTRY**

**ROMARIO SIMANJUNTAK  
NRP 5011201041**

Advisor

**Diah Susanti, S.T, M.T., Ph.D.**

**NIP 197701162003122007**

**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**NIP 199007262015041002**

**Study Program of Material Engineering  
Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024**

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075 MENGGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK INDUSTRI PESAWAT

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember

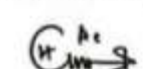
Oleh : **ROMARIO SIMANJUNTAK**  
NRP. 5011201041

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1. Diah Susanti, S.T, M.T., Ph.D.

  
Pembimbing


2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

  
Ko-Pembimbing


3. Yusuf Pradesar, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D.

  
Penguji

4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng, Ph.D.

  
Penguji



  
**SURABAYA**  
Juli, 2024

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### EFFECT OF DIFFERENT VOLTAGE AND OXIDATION TIME ON MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF AA 7075 USING PEO COATING METHOD FOR AIRCRAFT INDUSTRY

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : ROMARIO SIMANJUNTAK  
NRP. 5011201041

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Diah Susanti, S.T, M.T., Ph.D.

  
Advisor

2. Haniffudin Nurdiansah, S.T. M.T.

  
Co-Advisor

3. Yusuf Pradesar, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D.

  
Examiner

4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

  
Examiner



**SURABAYA**  
July, 2024

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Romario Simanjuntak/5011201041  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D./197701162003122007  
Dosen Ko-Pembimbing/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T. M.T./ 199007262015041002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "PENGARUH BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075 MENGGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK INDUSTRI PESAWAT" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.)  
NIP. 197701162003122007

Surabaya, 15 Juli 2024

Mahasiswa



(Romario Simanjuntak)  
NRP. 5011201041

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Romario Simanjuntak/5011201041  
Departement : Teknik Material dan Metalurgi  
Advisor/NIP : Diah Susanti, S.T, M.T., Ph.D./197701162003122007  
Co-Advisor/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T. M.T./ 199007262015041002

Hereby declare that the Final Project with the title of "EFFECT OF DIFFERENT VOLTAGE AND OXIDATION TIME ON MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF AA 7075 USING PEO COATING METHOD FOR AIRCRAFT INDUSTRY" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 15<sup>th</sup> 2024

Acknowledged  
Advisor



(Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.)  
NIP. 197701162003122007

Student



(Romario Simanjuntak)  
NRP. 5011201041

*(This page is intentionally blank)*

# PENGARUH BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075 MENGGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK INDUSTRI PESAWAT

Nama Mahasiswa / NRP : Romario Simanjuntak/5011201041  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing 1 : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

## Abstrak

Seiring dengan berkembangnya industri pesawat, maka kebutuhan akan material yang semakin bagus semakin tinggi pula. Aluminium dan paduannya merupakan salah satu material penting yang banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, seperti rangka badan pesawat, sayap, dan ekor. Penggunaan logam aluminium dibutuhkan karena memiliki sifat yang ringan, mudah untuk dimanufaktur, dan ketahanan korosi yang baik, hal ini membuat pengembangan aluminium terus menjadi pusat perhatian dari berbagai pihak. AA 7075 adalah paduan aluminium dengan seng sebagai elemen paduan utamanya. AA 7075 memiliki sifat mekanik dan memiliki keuletan yang baik, kekuatan tinggi, ketangguhan, ketahanan lelah dan ketahanan korosi yang jauh lebih baik daripada paduan seri 2000. Namun paduan ini masih memungkinkan terkena korosi retak dan kerusakan keausan. Keterbatasan dari AA 7075 ini mendorong para peneliti untuk melakukan pelapisan pada permukaan paduan untuk meningkatkan ketahanan korosi. Salah satunya dengan menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). PEO merupakan salah satu teknologi baru dalam teknologi pelapisan yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi dari beberapa logam ringan dan paduannya, salah satunya adalah aluminium. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan paduan Ti-6Al-4V menunjukkan bahwa beda potensial dan waktu oksidasi mempengaruhi ketebalan lapisan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beda potensial dan waktu oksidasi terhadap sifat mekanik dan korosi AA 7075 untuk industri pesawat. Penelitian ini menggunakan larutan elektrolit yang memiliki komposisi  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (12g/l), NaOH (5g/l), dan tepung kanji. Pada penelitian ini variasi beda potensial yaitu 325 V, 350 V, dan 375 V. Selain itu juga pada penelitian ini menggunakan variasi waktu oksidasi 10 menit dan 15 menit. Fasa yang terbentuk berdasarkan hasil XRD adalah  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SiO}_2$ . Pengujian SEM/EDX menunjukkan lapisan oksida terdiri dari unsur Al, Si, O, dan Na, sedangkan untuk morfologi lapisan oksida mengalami peningkatan diameter pori, porositas, dan ketebalan lapisan oksida seiring dengan meningkatnya beda potensial dan waktu oksidasi. Pengujian Kekerasan *Vickers* menunjukkan bahwa sampel dengan variasi 375 V/15 m memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 276 HV. Pengujian Densitas menunjukkan bahwa sampel dengan variasi 325V/15m memiliki nilai densitas terbaik yaitu sebesar  $2,7025 \text{ gr/cm}^3$ . Pengujian Ketahanan korosi menunjukkan bahwa sampel dengan variasi 325 V/10 m memiliki nilai ketahanan korosi terbaik yaitu sebesar  $0,1371 \text{ mmpy}$ . Pengujian Ketahanan Keausan menunjukkan bahwa sampel dengan variasi 375 V/15 m memiliki nilai ketahanan keausan tertinggi yaitu sebesar  $0,00091 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

**Kata Kunci:** AA 7075, Beda Potensial, *Plasma Electrolytic Oxidation*, Waktu Okidasi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **EFFECT OF DIFFERENT VOLTAGE AND OXIDATION TIME ON MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF AA 7075 USING PEO COATING METHOD FOR AIRCRAFT INDUSTRY**

**Student Name / NRP** : Romario Simanjuntak/5011201041  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS  
**Advisor** : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

## **Abstract**

As the aircraft industry develops, so does the need for better materials. Aluminum and its alloys are one of the important materials widely used in the aircraft industry, such as fuselage frames, wings, and tails. The use of aluminum metal is needed because it has lightweight properties, easy to manufacture, and good corrosion resistance, this makes the development of aluminum continue to be the center of attention of various parties. AA 7075 is an aluminum alloy with zinc as its main alloying element. AA 7075 has mechanical properties and has good ductility, high strength, toughness, fatigue resistance and much better corrosion resistance than 2000 series alloys. However this alloy is susceptible to stress corrosion cracking and wear damage. These limitations of AA 7075 encourage researchers to perform coatings on the surface of the alloy to improve corrosion resistance. One of them is by using the Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) method. PEO is one of the new technologies in coating technology that can improve the mechanical properties and corrosion resistance of several light metals and their alloys, one of which is aluminum. Based on previous research using Ti-6Al-4V alloy, it shows that the potential difference and oxidation time affect the thickness of the coating. This study aims to analyze the effect of variations in potential difference and oxidation time on the mechanical and corrosion properties of AA 7075 for the aircraft industry. This research uses an electrolyte solution that has a composition of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (12g/l), NaOH (5g/l), and starch. In this study, the variation of potential difference is 320 V, 350 V, and 375 V. In addition, this research also uses variations in oxidation time of 10 minutes and 15 minutes. The phases formed based on XRD results are  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and SiO<sub>2</sub>. SEM/EDX testing shows that the oxide layer consists of Al, Si, O, and Na elements, while the morphology of the oxide layer increases in pore diameter, porosity, and thickness of the oxide layer along with the increase in potential difference and oxidation time. Vickers Hardness Testing shows that the sample with 375 V/15 m variation has the highest hardness value of 276 HV. Density testing shows that the sample with the 325 V/15 m variation has the best density value of 2.7025 gr/cm<sup>3</sup>. Corrosion resistance testing shows that the sample with 325 V/10 m variation has the best corrosion resistance value of 0.1371 mmpy. Wear Resistance Testing shows that the sample with the 375 V/15 m variation has the highest wear resistance value of 0.00091 mm<sup>3</sup> / Nm.

**Keywords:** AA 7075, Differential Potential, Oxidation Time, Plasma Electrolytic Oxidation

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “PENGARUH BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075 MENGGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK INDUSTRI PESAWAT”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS
3. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 15 Juli 2024  
Penulis

Romario Simanjuntak

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>TITLE PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>APPROVAL SHEET</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Aluminium.....	3
2.1.1 Aluminium Untuk Dirgantara.....	4
2.1.2 Sayap Pesawat .....	5
2.1.3 Paduan Aluminium .....	6
2.1.4 AA 7075 .....	8
2.2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumina).....	9
2.3 Rekayasa Permukaan.....	9
2.4 Anodising .....	10
2.4.1 Proses Anodising .....	11
2.4.2 Anodising Aluminium .....	12
2.5 <i>Plasma Electrolytic Oxidation</i> (PEO) .....	14
2.5.1 Keuntungan Proses PEO.....	16
2.6 Tepung Kanji .....	16
2.7 Ketahanan Korosi .....	19
2.8 Penelitian Sebelumnya .....	22
2.8.1 Elektrolit yang Digunakan untuk PEO Pada AA 7075 .....	22
2.8.2 Waktu Oksidasi yang Digunakan untuk PEO Pada AA 7075 .....	23
2.8.3 Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Oksidasi PEO terhadap karakteristik Lapisan Oksida yang Terbentuk .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>35</b>
3.1 Diagram Alir.....	35
3.2 Alat Penelitian .....	35
3.3 Bahan Penelitian .....	38
3.4 Proses Preparasi dan Pelapisan.....	39
3.4.1 Preparasi Sampel dan Larutan Elektrolit.....	39
3.4.2 Proses Preparasi Menggunakan Metode PEO .....	39
3.5 Proses Pengujian.....	40

3.5.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> .....	40
3.5.2 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope (SEM)-Energy Dispersive X-Ray (EDX)</i> .....	41
3.5.3 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	41
3.5.4 Pengujian Tribologi.....	42
3.5.5 Pengujian <i>Salt Spray</i> .....	43
3.5.6 Pengujian Densitas .....	44
3.6 Rancangan Penelitian .....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>47</b>
4.1 Analisis Pengamatan Visual.....	47
4.2 Analisis Fasa Pengujian XRD.....	47
4.3 Analisis Komposisi EDX .....	48
4.4 Analisis Morfologi dan Ukuran Mikroskopi.....	50
4.5 Analisis Ketebalan Lapisan Oksida Hasil PEO .....	53
4.6 Analisis Kekerasan.....	55
4.7 Analisis Densitas.....	56
4.8 Analisis Ketahanan Korosi.....	58
4.9 Analisis Keausan dan Koefisien Gesek .....	60
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>71</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>93</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>95</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Aplikasi Material Pada Bagian Pesawat Boeing 787 (Boeing Company) .....	4
<b>Gambar 2.2</b> Struktur sayap pesawat.....	5
<b>Gambar 2.3</b> Gambaran Skema Proses Anodising Pada Aluminium.....	11
<b>Gambar 2.4</b> Urutan Umum Proses Anodising .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO. ....	15
<b>Gambar 2.6</b> Struktur molekul amilosa .....	17
<b>Gambar 2.7</b> Struktur molekul amilopektin .....	17
<b>Gambar 2.8</b> Mekanisme gelatinisasi tepung kanji .....	18
<b>Gambar 2.9</b> Contoh Korosi SCC .....	20
<b>Gambar 2.10</b> Contoh <i>Surface Corrosion</i> .....	20
<b>Gambar 2.11</b> Contoh <i>pitting corrosion</i> .....	21
<b>Gambar 2.12</b> Contoh <i>fretting corrosion</i> .....	21
<b>Gambar 2.13</b> Contoh <i>filiform corrosion</i> .....	22
<b>Gambar 2.14</b> Pengaruh beda potensial PEO terhadap ukuran pori-pori lapisan oksida Ti-6Al-4V .....	24
<b>Gambar 2.15</b> Pengaruh beda potensial PEO terhadap ketebalan lapisan oksida .....	25
<b>Gambar 2.16</b> Pengaruh waktu oksidasi PEO terhadap ketebalan lapisan oksida .....	26
<b>Gambar 2.17</b> Morfologi Ti-6Al-4V hasil pelapisan PEO dengan .....	27
<b>Gambar 2.18</b> Penampang melintang dari Ti-6Al-4V dengan waktu PEO berbeda. a) 30 Menit, b) 120 Menit.....	27
<b>Gambar 2.19</b> Pengujian XRD terhadap Ti-6Al-4V hasil PEO dengan berbagai waktu oksidasi .....	28
<b>Gambar 2.20</b> Hasil SEM morfologi permukaan AZ31B hasil PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi a) 400 V,5 menit, b) 400V,10 Menit, c) 400V,15 Menit,d) 450V,5 Menit, e) 450V,10 Menit, f) 450V,15 Menit, g) 500V,5 Menit, h) 500V,10 Menit, i) 500V,15 Menit perbesaran 2000x .....	29
<b>Gambar 2.21</b> EDX element mapping sampel PEO 200V-8 menit dengan perbesaran 1000X .....	30
<b>Gambar 2.22</b> Morfologi permukaan sampel, A) Tanpa PEO, B) PEO.....	31
<b>Gambar 2.23</b> Morfologi permukaan lapisan oksida hasil PEO menggunakan SEM dengan pembesaran 1000X, A)150V-8 Menit, B)200V-4 Menit, C)200V- 8 Menit, D)200V-12 Menit, E)250V-8 Menit .....	32
<b>Gambar 2.24</b> Pengaruh beda potensial terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi (700°C) dari Ti-6Al-4V hasil PEO .....	33
<b>Gambar 2.25</b> Pengaruh waktu oksidasi terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi (700°C) dari Ti-6Al-4V hasil PEO .....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	35
<b>Gambar 3.2</b> Sumber Daya DC .....	36
<b>Gambar 3.3</b> Kabel dan Konektor .....	36
<b>Gambar 3.4</b> Wadah Elektrolit <i>Stainless Steel</i> .....	36
<b>Gambar 3.5</b> Gelas <i>Beaker</i> .....	37
<b>Gambar 3.6</b> Neraca Analitik .....	37
<b>Gambar 3.7</b> <i>Ultrasonic Cleaner</i> .....	38
<b>Gambar 3.8</b> Alat Pengujian PEO .....	40
<b>Gambar 3.9</b> Alat <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	40
<b>Gambar 3.10</b> Mesin SEM FEI Inspect S50.....	41

<b>Gambar 3.11</b> Alat Uji <i>Microhardness</i> Vickers.....	42
<b>Gambar 3.12</b> Alat Uji Tribologi .....	42
<b>Gambar 3.13</b> Alat Pengujian <i>Salt Spray</i> .....	43
<b>Gambar 3.14</b> Alat Uji Densitas A) Neraca Analitik, B) Gelas Ukur .....	44
<b>Gambar 4.1</b> Pengamatan visual spesimen A sebelum proses PEO; B sesudah proses PEO. .	47
<b>Gambar 4.2</b> Hasil pengujian XRD.....	48
<b>Gambar 4.3</b> Hasil pengujian EDX spesimen A)sebelum PEO; B) PEO 325V/10m; C) PEO 325V/15m; D) PEO 350V/10m; E) PEO 350V/15m. ....	49
<b>Gambar 4.4</b> Morfologi permukaan sampel, A) Tanpa PEO, B) Perlakuan PEO. ....	50
<b>Gambar 4.5</b> Morfologi permukaan lapisan oksida hasil PEO menggunakan hasil SEM pada perbesaran 500x, A)325V-10 Menit, B)325V-15 Menit, C)350V-10 Menit, D)350V-15 Menit. ....	51
<b>Gambar 4.6</b> Grafik pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap ukuran mikropori.....	52
<b>Gambar 4.7</b> Grafik pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap luasan porositas. ....	52
<b>Gambar 4.8</b> Ketebalan lapisan oksida hasil PEO perbesaran 500X. A)325V-10 .....	53
<b>Gambar 4.9</b> Grafik ketebalan lapisan oksida hasil PEO.....	54
<b>Gambar 4.10</b> Grafik nilai kekerasan pada <i>base</i> AA7075 dan perlakuan PEO AA7075 .....	55
<b>Gambar 4.11</b> Grafik pengaruh beda potensial PEO terhadap nilai densitas pada AA7075.....	57
<b>Gambar 4.12</b> Grafik pengaruh waktu oksidasi PEO terhadap nilai densitas pada AA7075.....	58
<b>Gambar 4.13</b> Grafik pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap nilai laju korosi pada AA7075 .....	59
<b>Gambar 4.14</b> Hasil Koefisien Gesek terhadap <i>sliding distance</i> .....	61
<b>Gambar 4.15</b> Gabungan Hasil Koefisien Gesek terhadap <i>sliding distance</i> pada setiap variasi. ....	62
<b>Gambar 4.16</b> Grafik <i>Wear Rate</i> .....	63



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat Fisik Al.....	3
<b>Tabel 2.2</b> Sifat Mekanis Al .....	3
<b>Tabel 2.3</b> Uji gesekan pada Material dengan Coating pada Aplikasi <i>Aerospace</i> .....	6
<b>Tabel 2.4</b> Sifat mekanis dan fisik AA 7075 .....	8
<b>Tabel 2.5</b> Komposisi Paduan Aluminium.....	8
<b>Tabel 2.6</b> Paduan Kimia AA 7075 .....	9
<b>Tabel 2.7</b> Sifat Fisik dan Mekanik Alumina.....	9
<b>Tabel 2.8</b> Proses Anodising Aluminium dan Paduannya .....	13
<b>Tabel 2.9</b> Perbandingan <i>hard anodizing</i> dan PEO.....	14
<b>Tabel 2.10</b> Variasi Waktu dan Paduan pada Ketebalan hasil proses PEO.....	23
<b>Tabel 2.11</b> Ketebalan lapisan oksida hasil PEO .....	28
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan Penelitian.....	44
<b>Tabel 3.2</b> Jadwal Penelitian .....	45
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Unsur Pengujian EDX .....	49
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Diameter pori-pori dan Luasan pori. ....	51
<b>Tabel 4.3</b> Ketebalan lapisan oksida hasil PEO. ....	53
<b>Tabel 4.4</b> Kekerasan permukaan <i>base</i> AA7075 dan perlakuan PEO AA7075.....	55
<b>Tabel 4.5</b> Hasil hasil pengujian Densitas.....	56
<b>Tabel 4.6</b> Data hasil pengujian laju korosi. ....	58
<b>Tabel 4.7</b> Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus. ....	60
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Pengujian Keausan. ....	60
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Nilai <i>Wear Rate</i> .....	63
<b>Tabel 4.10</b> Nilai Keseluruhan Pengujian .....	64

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya industri pesawat, maka kebutuhan akan material yang semakin bagus semakin tinggi pula. Aluminium dan paduannya merupakan salah satu material penting yang banyak digunakan dalam industri pesawat, penggunaan logam aluminium dibutuhkan karena memiliki sifat yang ringan, mudah untuk dimanufaktur, daya konduktivitas listrik yang baik, ketahanan korosi yang baik, perbandingan kekuatan terhadap berat yang tinggi serta densitas yang rendah jika dibandingkan dengan logam lainnya seperti baja, hal ini membuat pengembangan aluminium terus menjadi pusat perhatian dari berbagai pihak.

AA7075 adalah paduan aluminium dengan seng sebagai elemen paduan utamanya. AA7075 memiliki sifat mekanik yang sangat baik dan memiliki keuletan yang baik, kekuatan tinggi, ketangguhan, ketahanan leleh yang baik dan ketahanan korosi yang jauh lebih baik daripada paduan seri 2000. AA7075 adalah bahan yang umum digunakan dalam industri pesawat terbang, seperti rangka badan pesawat, sayap, dan ekor. Paduan ini juga digunakan dalam pembuatan komponen mesin pesawat terbang, seperti pada bagian sayap. Namun pada paduan ini masih memungkinkan terjadinya retak *Stress Corrosion Cracking* (SCC) dan rentan mengalami kerusakan keausan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Kritzler, 1998) menyimpulkan bahwa SCC adalah kelemahan utama dalam paduan aluminium 7xxx walaupun aluminium memiliki sifat mekanik yang tinggi dengan spesifik yang tinggi kekuatan. SCC adalah jenis korosi yang terjadi ketika logam mengalami tegangan dan terpapar lingkungan yang korosif. SCC dapat menyebabkan retakan terbentuk pada permukaan logam dan menyebar ke dalamnya, yang dapat menyebabkan kegagalan komponen. Selain itu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Barati, 2022) menyimpulkan bahwa AA 7075 berbasis Zn menunjukkan kendala yaitu sering terjadi kerusakan keausan yang parah terutama karena mereka kekerasan permukaan yang relatif rendah dan keuletan yang lebih tinggi.

Keterbatasan dari AA 7075 ini mendorong para peneliti untuk melakukan pelapisan pada permukaan paduan untuk meningkatkan ketahanan korosi. Salah satunya dengan menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). PEO merupakan salah satu teknologi baru dalam teknologi pelapisan yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi dari beberapa logam ringan dan paduannya, salah satunya adalah aluminium. Prinsip dasar dari PEO adalah melakukan anodizing substrat dalam sebuah larutan dengan pemberian plasma yang menggunakan beda potensial tinggi. Adanya plasma mengakibatkan produksi panas dan tekanan tinggi sehingga menciptakan oksida yang keras dan melekat kuat pada permukaan substrat. Lapisan oksida yang terbentuk umumnya tercipta dari unsur logam substrat, namun pada situasi tertentu dapat mengandung senyawa kompleks dari unsur-unsur yang terkandung dalam elektrolit (Babak dkk, 2019). Beberapa hal yang mempengaruhi kualitas pelapisan PEO adalah beda potensial dan waktu oksidasi yang dapat menentukan sifat akhir dari lapisan oksida yang terbentuk baik morfologi, komposisi, kekerasan, ketahanan aus, maupun ketahanan korosinya. Hipotesa awal dari penelitian ini adalah bahwa semakin tinggi nilai beda potensial dan waktu oksidasinya maka semakin tebal lapisan oksida yang akan terbentuk.

Adapun penelitian ini akan membahas lebih lanjut tentang pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi dalam pelapisan *Plasma Electrolytic Oxidation* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi dari paduan AA 7075 yang digunakan dalam industri pesawat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap struktur dan morfologi yang terbentuk pada permukaan paduan AA 7075?
2. Bagaimana pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap ketahanan korosi yang terbentuk pada permukaan paduan AA 7075?
3. Bagaimana pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap sifat kekerasan dan tahan aus yang terbentuk pada permukaan paduan AA 7075?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar hasil yang dicapai sesuai dengan yang diharapkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka perlu adanya suatu batasan masalah. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi dari material substrat di seluruh permukaan dianggap konstan.
2. Temperatur elektrolit dianggap konstan.
3. Temperatur oksidasi pada saat pengujian dianggap konstan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap struktur dan morfologi yang terbentuk pada permukaan AA 7075.
2. Menganalisis pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap ketahanan korosi yang terbentuk pada permukaan AA 7075.
3. Menganalisis pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap sifat kekerasan dan tahan aus yang terbentuk pada permukaan AA 7075.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi untuk metode pelapisan oksida menggunakan *Plasma Electrolutic Oxidation* (PEO) pada AA 7075 dengan variasi beda potensial 325V, 350V, dan 375V dan waktu oksidasi 10 menit dan 15 menit untuk meningkatkan sifat kekerasan, tahan aus, dan ketahanan korosinya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aluminium

Aluminium merupakan salah satu material logam *non-ferrous* yang paling sering digunakan di dunia industri. Salah satu industri yang melibatkan banyak konsumsi bahan berdasarkan aluminium adalah pesawat terbang yang tentunya berkaitan dengan sifat aluminium yang ringan sehingga cocok untuk kebutuhan transportasi udara (Kaisar, 2017). Aluminium sendiri merupakan salah satu logam dengan simbol Al pada tabel periodik unsur dengan nomor atom 13. Biasanya logam Al ditemukan dalam warna putih keperakan dengan sifatnya yang lembut dan ulet. Aluminium dalam kondisi naturalnya di alam biasanya akan berikatan dengan banyak unsur lain membentuk suatu mineral, namun mineral yang dominan untuk keberadaan dari aluminium adalah bauxite.

Aluminium merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Titik lebur logam Aluminium adalah 660,3°C. Logam ini merupakan elemen yang sangat reaktif dan membentuk ikatan kimia yang kuat dengan oksigen. Aluminium memiliki nilai densitas 2,7 g/cm<sup>3</sup> sekitar sepertiga dari densitas baja (8,83 g/cm<sup>3</sup>), tembaga (8,93 g/cm<sup>3</sup>), atau kuningan (8,53 g/cm<sup>3</sup>), mempunyai sifat yang unik, yaitu: ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia. Sifat tahan korosi ini dikarenakan aluminium akan membentuk lapisan oksida aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ketika bereaksi dengan udara yang melindungi dari lingkungan (Rahmawati, 2010).

Adapun sifat fisik dan sifat mekanik aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan 2.2 berikut:

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Al (Auerkari, 1996)

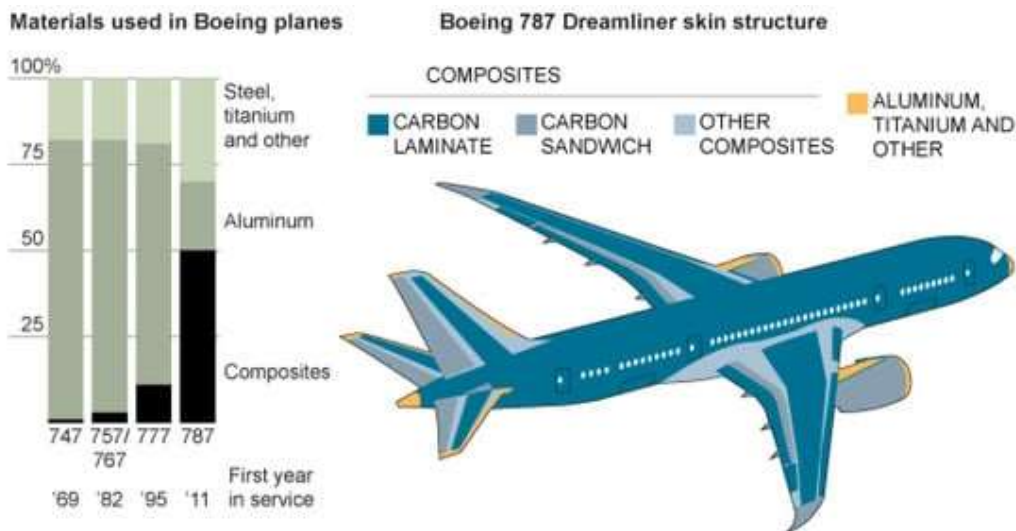
Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa jenis (T=20°C)	g/cm <sup>3</sup>	2,7
Nomor Atom	-	13
Berat Atom	Gram/mol	26,67
Warna	-	Putih Keperakan
Struktural Kristal	-	FCC
Titik lebur	°C	660
Titik didih	°C	2467
Jari-jari atom	Nm	0,143
Jari-jari ionic	Nm	0,053
Nomor Valensi	-	3

**Tabel 2.2** Sifat Mekanis Al (Auerkari (Campbel, 2006) (Anil K. Maini, 2014) (W., 1990), 1996)

Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Modulus Elastis	Gpa	71
<i>Poisson's Ratio</i>	-	0,35
Kekerasan	VHN	19
Kekuatan luluh	MPa	25
Ketangguhan	MPa m	33
Konduktivitas panas	W/mK	237

### 2.1.1 Aluminium Untuk Dirgantara

Seiring dengan berkembangnya jaman dan teknologi yang makin canggih, tidak terkecuali pesawat terbang, kebutuhan akan material yang lebih baik juga semakin meningkat, pesawat yang pada awalnya berbahan kayu, telah digantikan oleh aluminium dan titanium yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi, beberapa kelebihan aluminium sehingga masih dan lebih sering digunakan adalah harganya yang relatif lebih rendah jika dibanding dengan material lain (komposit dan paduan Ti), aluminium juga merupakan logam ringan yang dapat diberikan perlakuan panas sampai tingkat kekuatan yang cukup tinggi, dapat diberikan rekayasa struktur baik untuk permukaan ataupun keseluruhan, serta memiliki sifat fabrikasi paling mudah, dimana fabrikasi yang mudah biasanya berkorelasi langsung dengan biaya yang lebih rendah. Untuk pesawat terbang penggunaan aluminium banyak digunakan sebagai material kerangka, sirip sayap, ujung sayap, bodi depan dan pelapis turbin. Untuk keperluan satelit, material aluminium masih sangat digunakan untuk armor dan kerangka utama. (Campbel, 2006). Gambar 2.1 di bawah merupakan gambar persebaran aplikasi material pada bagian pesawat boeing 787:



**Gambar 2.1** Aplikasi Material Pada Bagian Pesawat Boeing 787 (Boeing Company)

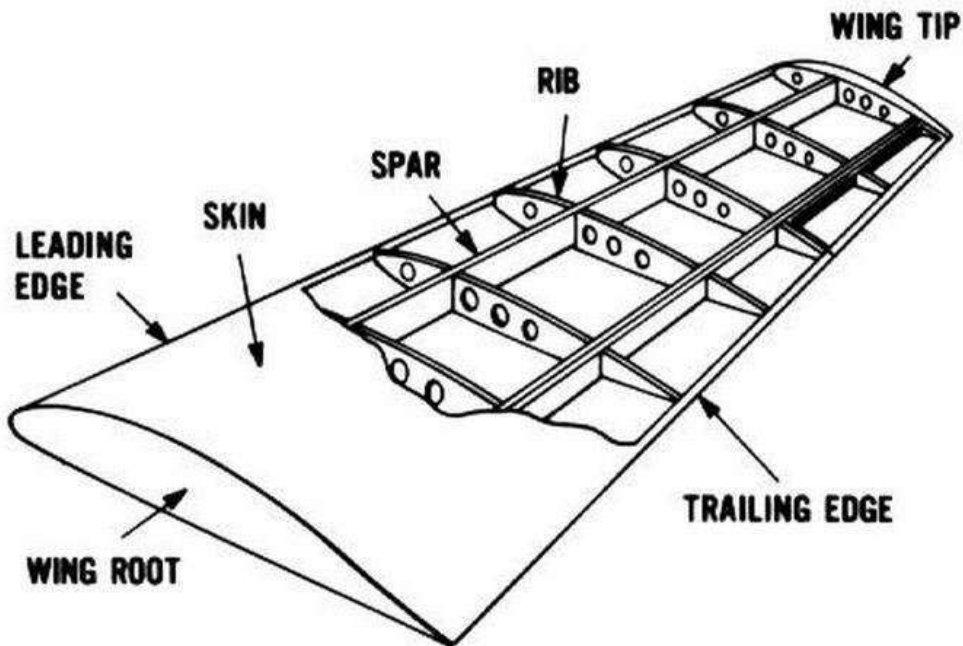
Saat berada di luar angkasa pesawat dan satelit harus tetap berfungsi dalam kondisi gravitasi dan lapisan atmosfer rendah. Pada saat ini, komponen-komponen mereka memiliki bobot yang jauh lebih rendah dibandingkan saat berada di Bumi. Variasi kekuatan gravitasi dan atmosfer ini mengharuskan bahan yang digunakan menjadi sangat serbaguna dan kokoh dalam integritasnya. Selain itu, struktur harus mampu menahan tekanan kabin yang berasal dari dalam satelit. Misalnya, di Stasiun Luar Angkasa Internasional, tekanan dari oksigen di dalamnya dapat mencapai hingga 15 pon per inci persegi pada permukaan struktur. Apabila bahan yang digunakan, terutama untuk struktur tubuh dan pelindung, tidak cukup kuat untuk menahan tekanan sebesar itu, hal ini dapat mengakibatkan kebocoran yang dapat mengganggu fungsi komponen lain dan bahkan membahayakan nyawa penumpang.

Selain itu, ada bahaya lain yang perlu diperhitungkan dalam aplikasi *aerospace*, seperti gesekan udara pada kecepatan tinggi dan potensi tabrakan dengan proyektil lainnya. Hingga saat ini, pecahan satelit yang sudah tidak berfungsi masih mengorbit di sekitar Bumi sebagai sampah luar angkasa. Potongan logam dengan kecepatan tinggi ini memiliki potensi untuk merusak satelit yang masih berfungsi jika material yang digunakan tidak cukup kuat untuk menahan abrasi dari udara dan benturan dengan proyektil tersebut.

Meluncurkan objek ke orbit Bumi merupakan proyek yang mahal, sehingga selain memenuhi kriteria teknis, pertimbangan ekonomis juga sangat penting. Kondisi ini menjadikan aluminium tetap menjadi pilihan utama selain material inovatif seperti komposit. Upaya terus dilakukan untuk mengembangkan komposisi dan struktur aluminium (Maini dkk., 2014).

### 2.1.2 Sayap Pesawat

Sayap merupakan komponen penting pada pesawat, terdapat beberapa komponen sayap pada pesawat seperti *Rib*, *spar*, *skin*, *leading edge*, *wing root*, *trailing edge*, dan *wing tip* dimana setiap komponen memiliki peran masing-masing untuk menahan tegangan yang diterima selama beroperasi. Kulit pesawat (*skin*) menjadi salah satu bagian yang perlu diperhatikan pemilihan materialnya, karena pada saat beroperasi bagian atas sayap terkena pembebanan kompresi dan tegangan beban *taxiing* (gaya geser) saat bergerak di landasan pacu dan beban statis (gaya angkat atau *lift-load*) (Marbun dkk, 2016). Sayap berfungsi memberikan daya angkat pada pesawat sehingga arah gerak pesawat dapat dikendalikan. Ketika pesawat beroperasi, sayap dikelolongi dengan angin yang berputar membentuk silindris pada ujung sayap. Pada Gambar 2.1 dibawah merupakan komponen-komponen yang ada pada pesawat.



Gambar 2.2 Struktur sayap pesawat

Komponen eksternal seperti *leading edge*, *skin*, *wing root* dan *trailing edge* yang ditampilkan harus memiliki standar mekanik yang baik untuk mendukung keefektifan dan keselamatan selama pengoperasian pesawat dikarenakan selama pengoperasian di udara, pesawat rentan mengalami beberapa kondisi seperti turbulen, paparan yang mengandung garam pada lautan yang dapat mengakibatkan korosi, dan kondisi lainnya. Aluminium 7075 merupakan paduan aluminium yang memiliki sifat mekanik yang sering diaplikasikan pada industri pesawat, baik pada bagian atas maupun bawah dikarenakan memiliki sifat yang ringan dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Oleh karena itu pengujian material penting dilakukan untuk mengetahui komposisi dan material yang terbaik untuk pengaplikasiannya. Pada Tabel 2.1 dibawah ditampilkan uji gesekan pada material dengan pelapisan, pengujian tersebut dimaksudkan ketika pesawat berada di udara dengan kondisi tertentu.

**Tabel 2.3** Uji gesekan pada Material dengan Coating pada Aplikasi *Aerospace*

Uji Ketahanan	Parameter Uji	Nilai	Referensi
<i>Friction Properties</i>	Metode Pelapisan : <i>hard anodizing</i> Pin uji: hard steel	0,5	(Amos, 1996)
	0,15 Metode uji : <i>friction dry</i>		
<i>Friction Coefficient</i> ( $\mu$ )	Metode Pelapisan : <i>plasma spray</i> Substrat : CK 60 (plat baja karbon	0,365	(Dwivedi dkk, 2021)
	Pin uji : titanium carbonitride (TiCN) 10N RPM : 327,4		

### 2.1.3 Paduan Aluminium

Seperti logam-logam yang lain, untuk merubah sifat aluminium menjadi lebih kuat, maka dipadu dengan unsur-unsur lain sesuai dengan kebutuhan dan penggunaannya. Paduan aluminium (aluminium alloy) banyak digunakan secara komersial karena mempunyai kekuatan yang lebih dibandingkan aluminium murni.

Beberapa jenis logam ditambahkan ke dalam aluminium murni dalam bentuk cair untuk menjadikannya lebih kuat dan lebih serbaguna. Unsur-unsur yang biasanya ditambahkan ke dalam paduan aluminium adalah Cu, Zn, Mn, Mg, dan Si. Unsur-unsur tersebut jauh lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan besi karbon, tetapi aluminium lebih tahan lagi terhadap korosi (Fellers, 1990). Komposisi kimia paduan aluminium didaftarkan pada asosiasi yang bernama Aluminium Association yang disingkat AA. Disamping itu ada organisasi lain yang mempublikasikan standar yang lebih bagus, seperti Society of Automotive Engineers (SAE), American Society for Testing and Materials (ASTM).

Paduan aluminium dengan sifat-sifat yang lebih luas digunakan untuk bagian-bagian mesin atau struktur lainnya. Sistem paduan (Alloy Sytems) diklasifikasikan dengan sistem nomor yang dikeluarkan American National Standard Institute (ANSI) dengan nama yang mengindikasikan besarnya elemen yang dipadukan (Deutsches Institut Fur Normung – DIN dan International Organization of Standardization – ISO) (Fellers, 1990). Dengan memilih paduan yang benar, akan menghasilkan sifat-sifat paduan seperti: kekuatan (strength), keuletan (ductility), pembentukan (formability), dapat disambung (weldability) dan ketahanan terhadap korosi (corrosion resistance). Kekuatan dan daya tahan aluminium mempunyai variasi yang besar sehingga dapat digunakan sebagai paduan khusus dalam proses manufaktur.

Dalam hal paduan aluminium yang disiapkan sebagai bahan baku untuk pembuatan kemasan kaleng minuman dan kemasan lainnya diperkuat dengan menambahkan magnesium, untuk membentuk aluminium magnesium alloy, ditambahkan pula elemen lain seperti mangan dan chromium sebagai penguat dan juga untuk mengontrol mampu bentuk, memperbaiki ukuran butiran dan sifat-sifat lainnya. Paduan aluminium sebagai bahan baku kemasan yang diharapkan mempunyai kekuatan setinggi mungkin akan tetapi harus mudah dibentuk dan kualitasnya memenuhi persyaratan kemasan kaleng minuman.

Dengan cara memilih paduan yang tepat maka kemungkinan penipisan materialnya bisa dilakukan sehingga memberikan optimasi penggunaan material secara ekonomis . Komposisi



dan struktur logam harus memberikan mampu bentuk pada waktu diproses pada line produksi, karena mampu bentuk dapat menentukan kinerja paduan aluminium itu sendiri.

Berikut adalah paduan aluminium dan sifat umumnya :

a) Aluminium Seri 1xxx (Aluminium Murni)

Paduan utama seri ini adalah besi dan silicon. Jenis paduan ini mempunyai kandungan aluminium 99,0%. Aluminium dalam seri ini memiliki kekuatan yang rendah tapi memiliki sifat tahan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik juga memiliki sifat mampu las dan mampu potong yang bagus.

b) Aluminium Seri 2xxx (Paduan Al-Cu)

Penambahan unsur tembaga pada aluminium memberikan keuntungan berupa penambahan kekuatan dan memudahkan proses pemotongan, namun kadar yang terlalu tinggi mengakibatkan paduan memiliki sifat getas. Untuk seri 2xxx digunakan dalam aplikasi pencegahan kerusakan, seperti pembungkus sayap bawah dan badan untuk pesawat komersial.

c) Aluminium Seri 3xxx (Paduan Al-Mn)

Paduan utama pada seri ini adalah Manganese. Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada proses pembua tannya. Bila dibandingkan dengan jenis aluminium murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal ketahanan terhadap korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya, sedangkan dalam hal kekuatannya, jenis paduan ini jauh lebih tinggi.

d) Aluminium Seri 4xxx (Paduan Al-Si)

Paduan utama pada seri ini adalah Silikon yang termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya, maka paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor atau tempa pada dunia Industri.

e) Aluminium Seri 5xxx (Paduan Al-Mg)

Paduan Aluminium dan Magnesium merupakan paduan utama dari komposisi sekitar 5%. Jenis ini mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya. Paduan ini juga digunakan untuk sheet metal work, biasanya digunakan untuk komponen bus, truk, dan untuk beberapa bagian kapal.

f) Aluminium 6xxx (Paduan Al-Mg-Si)

Paduan seri 6xxx adalah Magnesium dan Silicon. Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul. Paduan jenis ini banyak digunakan untuk tujuan struktur rangka dan biasanya untuk lambung kapal.

g) Aluminium Seri 7xxx (Paduan Al-Zn)

Pada seri ini ditambahkan paduan unsur berupa Zn dan sedikit Mg. Penambahan unsur ini memberikan penambahan kekuatan yang lebih tinggi dibanding pada seri 2xxx. Hal ini yang mengakibatkan paduan 7xxx digunakan untuk aplikasi dengan kekuatan lebih tinggi dan saat ini lebih sering digunakan. Aplikasi kekuatan yang tinggi dibutuhkan pada kerangka dan armor satelit. Selain keperluan kekuatan yang tinggi, material untuk aplikasi body dan armor harus memiliki ketahanan abrasi yang tinggi. Ketika mengudara dengan kecepatan tinggi, body dan armor akan mengalami gesekan besar dengan udara maupun benda angkasa, sehingga rekaya perlu dilakukan.

Paduan aluminium tembaga (seri 2xxx) dan paduan aluminium-zinc (seri 7xxx) adalah paduan utama yang digunakan dalam aplikasi aerospace (Maini dkk., 2014).

#### 2.1.4 AA 7075

Paduan aluminium 7075 (AA 7075) adalah sebuah jenis paduan aluminium yang mengandung zinc sebagai unsur paduan utamanya. Paduan ini memiliki sifat mekanis yang baik, dengan kekuatan Tarik, kekakuan, dan ketahanan terhadap kelelahan yang tinggi. Paduan ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik terutama terhadap korosi logam, AA 7075 sering digunakan dalam aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan yang tinggi, seperti pesawat terbang, pesawat tempur, kapal laut, mobil, alat berat, dan alat olahraga. Paduan aluminium 7075 memiliki beberapa sifat mekanis dan fisik seperti pada table 2.3 berikut:

**Tabel 2.4** Sifat mekanis dan fisik AA 7075 (Zhou, 2016)

Sifat	Nilai
Kekuatan Tarik (MPa)	500-600
Kekuatan luluh (MPa)	380-450
Modulus elastisitas (GPa)	70
Ketahanan terhadap kelelahan (siklus)	107-108
Ketahanan korosi	Baik terhadap korosi asam
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	2,1

Fitur yang paling penting adalah ketahanan aluminium korosi karena pembentukan pada permukaan film pelindung yang solid - alumina. Aluminium memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi (tapi sedikit lebih buruk, dari tembaga), sehingga ia menemukan aplikasi terbesar dalam industri listrik untuk produksi kawat, kabel, gulungan dll, selain itu, aluminium digunakan dalam industri kimia, dalam instrumentasi, dan untuk paduan aluminium.

Seng adalah logam putih biru. Ketika suhu mencapai 225 derajat, oksidasi seng sangat kuat. Saat terbakar, nyala biru-hijau dipancarkan. Seng mudah larut dalam asam, dan mudah untuk menggantikan emas, perak dan tembaga dari larutan. Seng ada dalam keadaan sulfida di alam. Mineral-mineral bantalan seng utama adalah sfalerit, ada juga sejumlah kecil bijih teroksidasi, seperti seng sulfida, seperti seng sulfida dan bijih hetero.

Pada tabel 2.4 di bawah merupakan paduan kimia aluminium dengan nilai komposisi, kekuatan *Tensile* dan elongasi (%) pada 50mm bahan.

**Tabel 2.5** Komposisi Paduan Aluminium (Kumar, 2015)

Paduan	Komposisi (%)	Kekuatan Tensil (Mpa)	Elongasi (%) pada 50mm bahan
2014	4,4 Cu; 0,8 Si; 0,8 Mn; 0,4 Mg	190 - 490	10 - 22
2024	4,5 Cu; 0,6 Mn; 1,5 Mg	190 - 525	6 - 20
6061	1,0 Mg; 0,6 Si; 0,2Cr	125 - 410	2 - 25
7075	5,5 Zn; 2,5 Mg; 1,5 Cu; 0,3 Cr	230 - 580	11 - 17

Unsur-unsur seng dan Zn dapat meningkatkan kekompakan paduan aluminium, memfasilitasi demoulding dan mengurangi sifat mekanik dari paduan, tetapi kerapuhan suhu tinggi besar, yang cenderung menyebabkan retakan dalam casting. Seng memiliki kelarutan yang tinggi dalam aluminium. Ketika kandungan seng dalam aluminium lebih dari 10%, kekuatan paduan dapat ditingkatkan secara signifikan.

Pada tabel 2.5 di bawah merupakan paduan kimia dari AA 7075:

**Tabel 2.6** Paduan Kimia AA 7075 (Kumar, 2015)

Elements	Zn	Mg	Cu	Mn	Fe	Si	Al
Komposisi Kimia (%)	5,6	2,5	1,5	0,04	0,3	0,08	Bal.

Paduan pada Aluminium seri 7075 berdasarkan tabel di atas maka diketahui unsur yang memiliki komposisi paling besar serta sangat mempengaruhi sifat mekanik dari paduan aluminium seri 7075 adalah Seng (Zn).

## 2.2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alumina)

Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau aluminium oksida merupakan satu-satunya oksida yang terbentuk oleh logam aluminium dan terbentuk di alam dalam bentuk mineral korundum (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); diaspore (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O); gibbsite (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O) dan yang paling umum sebagai bauksit, yang merupakan bentuk tidak murni dari gibbsite.

Alumina adalah salah satu keramik yang digunakan untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Alumina memiliki struktur yang keras, abrasif, inert, ketahanan aus yang baik, dan penahan korosi yang sangat baik (Karaoglanli dkk., 2011).

Beberapa sifat fisik dan mekanik dari alumina ditampilkan pada table 2.6 dimana jika dilihat alumina memiliki sifat mekanik yang sangat tinggi seperti kekerasan yang sangat tinggi, modulus elastisitas yang tinggi serta ketahanan terhadap temperature tinggi.

**Tabel 2.7** Sifat Fisik dan Mekanik Alumina (Auerkari, 1996)

Sifat	Satuan	Nilai
Temperatur leleh	C	2040
Densitas pada 20°C	g/cm <sup>3</sup>	3.95
Konduktivitas Panas	W/mK	30
Modulus Elastisitas	GPa	398
Hardness	HV	1500

Terdapat dua jenis alumina,  $\alpha$ -alumina yang mempunyai permukaan luar kecil, atau korundum, dan  $\gamma$ -alumina yang sangat porous (Maciver dkk, 1963).  $\gamma$ -alumina adalah fasa metastabil yang pertama terbentuk dari proses kalsinasi sulfat, hidroksida, dan garam-garam lain sebelum membentuk fasa stabil  $\alpha$ -alumina. Perubahan ke  $\alpha$ -alumina berupa proses pengasaran dan ditandai dengan menurunnya luas permukaan alumina (Dynys dan Halloran, 1982).

## 2.3 Rekayasa Permukaan

Rekayasa permukaan adalah ilmu yang berfokus pada modifikasi, perbaikan, dan peningkatan kualitas permukaan material. Tujuan dari rekayasa permukaan adalah untuk mengubah atau memodifikasi karakteristik fisik, kimia, atau mekanik permukaan material agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. Hal ini dilakukan tanpa mengubah sifat bahan dasar materialnya. Rekayasa permukaan dapat diterapkan pada berbagai jenis material,

termasuk logam, keramik, polimer, dan komposit. Definisi lain dari rekayasa permukaan yaitu sebagai "perlakuan bagian permukaan dan bagian dekat permukaan dari suatu material untuk memungkinkan permukaan dari material tersebut memiliki sifat dan fungsi yang berbeda dari sifat aslinya" (ASM Handbook).

Sifat atau karakteristik yang diinginkan dari rekayasa permukaan suatu komponen dapat bervariasi tergantung pada aplikasi khususnya. Namun, beberapa sifat yang sering dicari dalam rekayasa permukaan mencakup:

- **Kekerasan:** Peningkatan kekerasan permukaan adalah tujuan umum dalam rekayasa permukaan, terutama untuk meningkatkan ketahanan aus dan ketahanan terhadap goresan.
- **Ketahanan Korosi:** Perlindungan terhadap korosi sangat penting dalam banyak aplikasi. Rekayasa permukaan dapat meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh zat-zat korosif.
- **Ketahanan terhadap Abrasi:** Komponen yang mengalami gesekan atau abrasi seringkali memerlukan permukaan yang tahan terhadap aus dan kerusakan mekanis.
- **Adhesi:** Sifat permukaan yang memengaruhi daya lekat atau kemampuan lem adalah faktor penting dalam aplikasi seperti perekatan atau laminasi.
- **Kemampuan Pelumasan:** Beberapa komponen memerlukan permukaan yang memiliki kemampuan pelumasan untuk mengurangi gesekan dan keausan.
- **Kemampuan Konduktivitas Listrik:** Dalam aplikasi elektronik, kemampuan permukaan untuk menghantarkan listrik adalah hal penting.
- **Reaktivitas Kimia:** Beberapa aplikasi memerlukan permukaan yang dapat diubah untuk berinteraksi secara kimiawi dengan zat tertentu.
- **Kemampuan Thermal:** Kemampuan untuk menghantarkan panas atau mengisolasi panas pada permukaan dapat menjadi faktor penting dalam aplikasi suhu tinggi atau rendah.
- **Kekasaran Permukaan:** Kekasaran permukaan dapat memengaruhi sifat-sifat seperti kemampuan melekat dan pemahaman cat atau lapisan pelindung.
- **Warna atau Estetika:** Dalam beberapa kasus, karakteristik estetika atau tampilan visual permukaan menjadi faktor penting, seperti dalam industri otomotif atau perhiasan.
- **Kemampuan Biokompatibilitas:** Dalam aplikasi medis atau biomedis, sifat permukaan yang aman dan ramah terhadap jaringan biologis sangat penting.
- **Kekuatan Tarik:** Peningkatan kekuatan tarik permukaan dapat menjadi fokus dalam beberapa aplikasi konstruksi atau pengikatan material.

Untuk merekayasa permukaan dapat dilakukan dengan berbagai prinsip, yaitu mengubah sifat metalurgi permukaan (*surface hardening*, *laser melting*); mengubah struktur kimia permukaan seperti *Chromate chemical conversion coatings*, *Black oxide chemical conversion coatings*, anodising (prinsip pelapisan melalui reaksi elektrokimia), *carburizing*; dan dengan menambahkan lapisan pada permukaan/ *coating* (*hot dip*, *thermal spraying*, *electroplating*, CVD, PVD) (Davis, dkk, 2001).

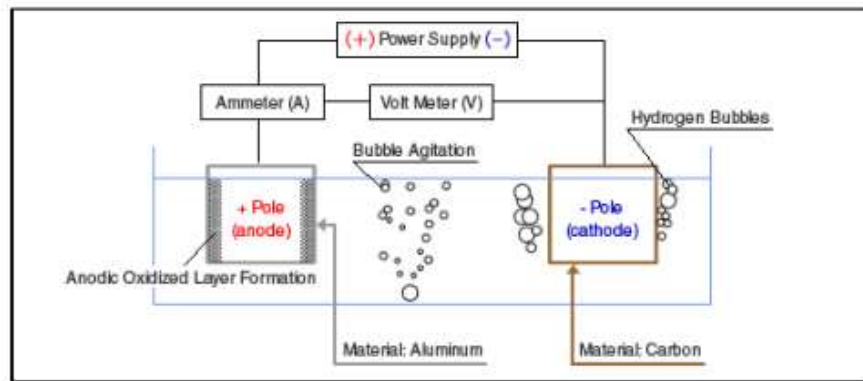
## 2.4 Anodising

Anodising merupakan proses elektrokimia yang digunakan untuk menghasilkan lapisan oksida yang kuat pada permukaan logam, terutama aluminium, meskipun juga dapat diterapkan pada beberapa logam lainnya seperti titanium dan magnesium. Logam ringan, seperti aluminium dan paduannya memiliki kemampuan untuk menahan korosi oleh atmosfer karena lapisan pelindungnya dalam bentuk oksida  $Al_2O_3$  atau hidroksida  $Al(OH)_3$ , lapisan pasif

yang segera terbentuk setelah logam terekspos udara. Lapisan oksida setebal 2,5 hingga 10 nm hanya dapat memberikan perlindungan terbatas pada lingkungan agresif (Henley, 2002). Sifat perlindungan dari aluminium dapat ditingkatkan dengan mengoksidasi permukaan lebih lanjut, baik secara thermal, kimiawi, ataupun elektrokimia. Proses anodizing umumnya dilakukan dengan merendam benda kerja logam (biasanya aluminium) dalam suatu larutan elektrolit dan kemudian mengalirkan arus listrik melalui larutan tersebut. Proses ini mengakibatkan oksidasi permukaan logam di bawah pengaruh arus listrik, membentuk lapisan oksida yang kuat dan tahan korosi. Proses anodizing mendapat nama dari prosesnya berupa substrat yang menjadi anoda pada sel elektrolitik, dibandingkan dengan teknik rekayasa permukaan lainnya, anodizing memiliki perbedaan, dengan cara memanfaatkan oksidasi terkontrol pada substrat logam yang akan menghasilkan perubahan lapisan logam menjadi lapisan oksida. Lapisan oksida anoda aluminium memiliki ketebalan dari 5 hingga 25 mm; oleh karena itu anodizing tidak hanya digunakan untuk kebutuhan perlindungan tetapi juga dapat untuk kebutuhan estetika. Proses anodizing sering digunakan untuk perlindungan korosi pada kendaraan, bangunan, pesawat, alat olahraga serta alat elektronik (ASM, 2003).

#### 2.4.1 Proses Anodizing

Pada proses oksidasi anodik aluminium, proses yang sering digunakan berasal dari asam sulfat dan asam kromat. Asam sulfat digunakan untuk kebutuhan dekoratif, proteksi, kekerasan serta ketahanan aus. Asam kromat digunakan untuk perlindungan maksimal dengan kehilangan logam seminimal mungkin (Sheasby, 2001). Proses lain yang digunakan untuk kebutuhan khusus berupa campuran asam sulfat dengan asam oksalat, asam fosfat atau dengan asam oksalat sepenuhnya. Untuk permukaan lebih tebal ( $\geq 25$  mm) proses menggunakan hard anodizing, hampir seluruh ketebalan dari proses anodizing berkisar antara 5 hingga 18 mm (ASM., 1994). Gambar 2.2 merupakan skema proses anodizing pada aluminium.



**Gambar 2.3** Gambaran Skema Proses Anodizing Pada Aluminium (Kumar dkk., 2014)

Ketika aluminium terpolarisasi secara anodik pada elektrolit, anion muatan negatif pada larutan berpindah ke anoda dimana anoda dilepaskan dengan melepas elektron. Pada larutan encer, anion mengandung oksigen, yang akan bereaksi secara kimia dengan aluminium. Reaksi pembentukan oksida logam dapat dianggap terjadi melalui pelarutan logam anodik untuk membentuk kation yang sesuai :



Diikuti dengan reaksi antara kation logam dengan ion oksigen :



Reaksi total dari oksidasi anodik aluminium:



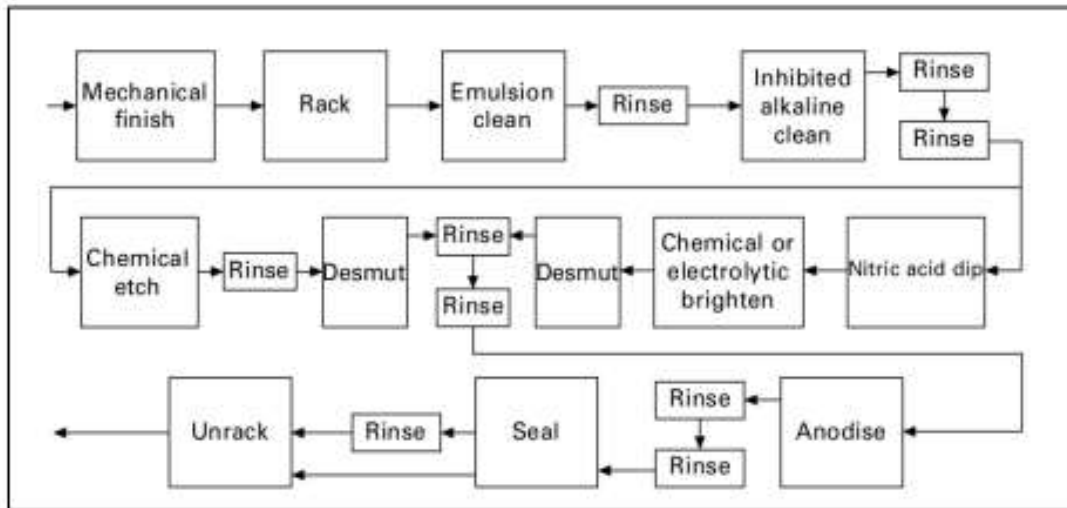
Hasil dari oksidasi anodik tergantung dari beberapa faktor, terutama elektrolit (komposisi, konsentrasi, dan temperatur) dan juga kondisi elektrolisis (arus dan tegangan). proses berikut dapat terjadi di anoda jika:

- i. Jika produk reaksi anodik tidak larut dalam elektrolit, lapisan pembatas kuat yang mudah menempel terbentuk pada aluminium. Lapisan pembatas akan terus tumbuh hingga hambatannya mencegah arus sampai pada anoda. Lapisan ini sangat tipis dan padat. Jenis lapisan ini dapat terbentuk pada pH yang relatif netral, juga pada elektrolit jenis borat dan tartrat. Lapisan jenis ini juga terbentuk pada tegangan yang relatif tinggi, biasanya jenis anodising ini digunakan untuk produksi kapasitor pada industri elektronik.
- ii. Jika produk reaksi sedikit larut pada elektrolit, lapisan yang mudah menempel seperti poin (i) terbentuk, tetapi pertumbuhan lapisan disertai dengan pelarutan lokal, yang akan memproduksi susunan pori pada lapisan. Lapisan ini meneruskan aliran arus dan pertumbuhan lapisan. Elektrolit yang digunakan untuk jenis lapisan ini biasanya asam termasuk asam sulfat, asam fosfat, asam kromat dan asam oksalat. Lapisan ini dibentuk untuk memperbaiki adhesi dari cat, pernis dan karena jenis lapisan ini sangat keras dan tebal (mikron), lapisan ini digunakan untuk kegunaan dekorasi dan proteksi.
- iii. Jika produk reaksi sedikit banyak larut pada elektrolit, electropolishing logam aluminium dapat dilakukan pada kondisi ini, jika elektrolit yang tepat digunakan.
- iv. Jika produk reaksi seluruhnya larut pada elektrolit, logam akan larut hingga larutan menjadi jenuh. Jenis seperti ini terjadi pada beberapa asam dan basa anorganik kuat yang digunakan untuk manufaktur elektrokimia logam aluminium.

Pertumbuhan oksida untuk ketebalan dan struktur kimia bergantung pada beberapa faktor seperti tegangan dan densitas arus yang digunakan, temperatur, dan komposisi larutan. Jenis lapisan pembatas dimana oksida hampir tidak terlarut paling disukai dimana jenis lapisan ini memiliki resistivitas listrik tinggi (Yerokhin, 2005).

#### **2.4.2 Anodising Aluminium**

Pada proses oksidasi anodik aluminium, proses yang sering digunakan berasal dari asam sulfat dan asam kromat. Asam sulfat digunakan untuk kebutuhan dekoratif, proteksi, kekerasan serta ketahanan aus. Asam kromat digunakan untuk perlindungan maksimal dengan larutnya logam se (ASM, ASM Metal Handbook Surface Engineering Vol 5, 1994) (Zhu, 2016) (Jiang B. L., 2010) (Lugovskoy, 2013) (Patel J L., 2001) (Volynets V D, 1991) (Tako, 2012) (Li, 2013) (Song, 2017) (Khorasanian, 2011) (Uhi, 2006) (Motwani, 2006) (Rachtanapun, 2012) sedikit mungkin (The Canning Handbook, 1982). Proses lain yang digunakan untuk kebutuhan khusus berupa campuran asam sulfat dengan asam oksalat, asam fosfat atau dengan asam oksalat sepenuhnya. Untuk permukaan lebih tebal ( $\geq 25$  mm) proses menggunakan hard anodising, hampir seluruh ketebalan dari proses anodising berkisar antara 5 hingga 18 mm (ASM, 1994). Gambar 2.3 menunjukkan urutan proses anodising dari *surface preparation* yang dimulai dari perlakuan mekanik hingga anodising dan hingga sampai ke tahap *packaging*.



**Gambar 2.4** Urutan Umum Proses Anodising (ASM, 1994)

Pada tabel 2.7 ditampilkan spesifikasi umum kebutuhan anodizing dengan berbagai macam jenis proses, dengan larutan asam yang berbeda dan dengan proses yang lain, *Hard anodizing*, alkalin anodizing, dan parameter *power supply* berbeda tegangan AC:

**Tabel 2.8** Proses Anodising Aluminium dan Paduannya (ASM, 2003)

Komposisi Larutan	Konsentrasi (wt%)	Temperatur (°C)	Densitas Arus (A/dm <sup>2</sup> )	Tegangan (V DC)
Asam Kromat	10	45 - 55	0,3 - 1	40 - 50
Asam Sulfat	5 - 25	15 - 25	0,8 - 3	15 - 20
Asam Oksalat	3 - 5	20 - 30	1 - 1,5	25
Asam Fosfat	3 - 10	20 - 30	0,5 - 2	40 - 100
Hard Anodising				
-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10 - 20			
-Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,1 - 10	0 - 5	2-4	25-60
-H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1			
Alkaline Anodising				
-NaOH	8 - 12	10 - 20	1 - 4	30 - 70
-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2 - 3			
-Sodium Fosfat	0,1 - 0,5			
AC Anodising	15 - 30	0 - 40	3 - 12	15 - 30 AC

## 2.5 Plasma Electrolytic Oxidation (PEO)

*Plasma electrolytic oxidation* (PEO) adalah teknologi pelapisan yang berasal dari metode anodizing untuk menghasilkan lapisan oksida logam yang tebal dan padat, terutama pada logam ringan, terutama untuk meningkatkan ketahanan aus dan korosi. Secara umum, proses anodizing melibatkan penggunaan elektrolisis arus searah (DC) di mana benda kerja ditempatkan dalam larutan elektrolit asam dan dijadikan sebagai katoda. Biasanya, tegangan pada metode ini dijaga pada rentang 20 hingga 80 Volt dengan kepadatan arus sekitar 1 hingga 10 A/dm<sup>2</sup>. Sementara itu, metode PEO, yang juga dikenal sebagai Spark Anodizing, biasanya dilakukan dengan menggunakan tegangan yang jauh lebih tinggi daripada anodizing konvensional. Proses ini dapat menggunakan pasokan daya baik dari arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC) (Li dkk, 2013).

Proses ini menghasilkan pembentukan sejumlah besar mikropori pada permukaan logam anoda. Ion-ion yang terdapat dalam larutan elektrolit mampu menembus lapisan oksida ketika terjadi efek pelepasan cahaya (breakdown lapisan oksida) pada substrat sampel selama proses oksidasi elektrolit plasma. Metode pelapisan PEO menyediakan peningkatan kinerja permukaan, peningkatan tingkat kekerasan, dan peningkatan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik (Krazakata dkk, 2013).

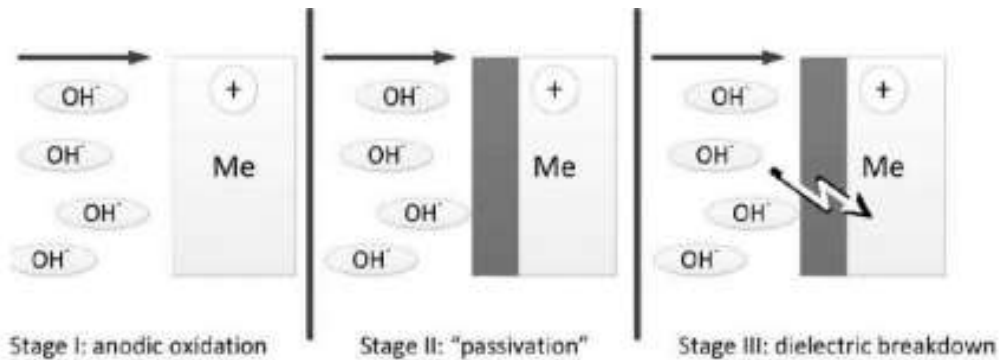
Pada table 2.8 ditampilkan perbandingan *hard anodizing* dan PEO:

**Tabel 2.9** Perbandingan *hard anodizing* dan PEO (Li dkk, 2013)

Proses	PEO	Hard Anodizing
Beda potensial dan densitas arus	Tinggi	Rendah
Kecepatan deposisi (µm/min)	Cepat (1~2)	Lambat (~0,3)
Mekanisme oksidasi	Reaksi kimia/elektrokimia dan plasma kimia	Reaksi kimia/elektrokimia
Pelapisan pada logam tertentu	Dapat digunakan untuk banyak jenis paduan Al, Mg, dan Ti	Terbatas (tidak bisa digunakan untuk paduan seri 2000, paduan Al dengan zink atau silicon tinggi, dan paduan Al casting)
Struktur mikro	Fasa amorphous dan crystalline / lapisan padat di dalam dan lapisan berpori di luar	Lapisan amorphous/ poripori columnar dan pembatas yang sangat tipis
Ketahanan korosi (relatif)	Sangat baik (5)	Baik (1)
Kekerasan (HV)	Tinggi (~1600)	Rendah (maksimal 600)
Wear resistance (relatif)	Sangat baik (30)	Cukup (2)
Perlindungan termal	Sangat baik	Baik
Elektrolit	Larutan alkaline	Larutan asam
Kekuatan dielektrik	Sangat baik	Cukup
Kekurangan (umum)	Kekurangan data tentang kinerja pelapisan dalam praktik	Sensitif terhadap pengotor dalam logam yang akan dilapisi
Kekurangan (lingkungan)	Tidak ada	Kolam asam sulfat



Pada gambar 2.4 digambarkan mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO sebagai berikut:



**Gambar 2.5** Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO (Lugovskoy dan Zinigrad, 2013).

Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 diantaranya adalah:

1. *Anodic Oxidation*

Pada proses PEO, tangki elektrolit akan berperan sebagai katoda, sedangkan substrat akan berperan sebagai anoda. Ketika arus dialirkan maka muatan negatif pada larutan elektrolit akan bereaksi dengan substrat yang bermuatan positif membentuk lapisan oksida dielektrik di permukaan logam.

2. *Passivation*

Lapisan pelindung oksida dielektrik yang terbentuk akan merata di seluruh permukaan substrat selama proses PEO masih berlangsung. Voltase antara substrat logam dan lapisan oksida dielektrik akan meningkat sampai terjadinya *dielectric breakdown*. Ketika spesimen di masukan elektrolit yang kita pakai, maka akan terjadinya beda potensial yang sangat cepat, potensial akan naik dan menciptakan lapisan pelindung anodik pada permukaan spesimen.

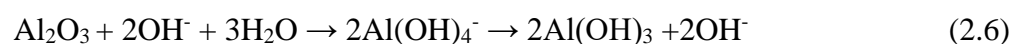
3. *Dielectric Breakdown*

*Dielectric breakdown* pada lapisan oksida terjadi bersamaan dengan percikan listrik sehingga proses ini terjadi dalam model pelepasan busur mikro yang menyebabkan mikropori di lapisan oksida. Larutan elektrolit yang masih baik kualitasnya akan diinjeksikan pada mikropori di permukaan logam selama terjadi kerusakan dielektrik sehingga lapisan oksida akan tetap bertumbuh. Proses akan terus berlanjut selama voltase masih cukup untuk proses *Dielectric Breakdown* baru yang melubangi lapisan oksida yang tumbuh (Lugovskoy dan Zinigrad, 2013).

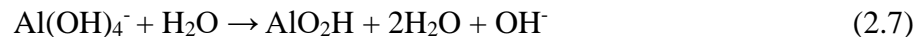
Pada proses PEO reaksi yang terjadi melibatkan reaksi kimia dan elektrokimia. Dimulai dengan saat tidak ada arus pada larutan, reaksi kimia akan mengetsa aluminium dan melepaskan ion  $AlO_2^-$  dan  $Al(OH)_4^-$  ke dalam elektrolit melalui reaksi berikut:



Ketebalan alumina dapat berkurang akibat pelarutan kimia:



Sehingga *boehmite* mungkin terbentuk:



Aluminium hidroksida dapat terlarut oleh  $\text{OH}^-$



Dalam pengaruh medan listrik tinggi, oksigen dapat terionisasi menjadi anion oksigen ( $\text{O}^{2-}$ ), berdifusi ke dalam substrat, dan bereaksi dengan kation logam ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang selanjutnya bergerak menuju elektrolit membentuk aluminium oksida



### 2.5.1 Keuntungan Proses PEO

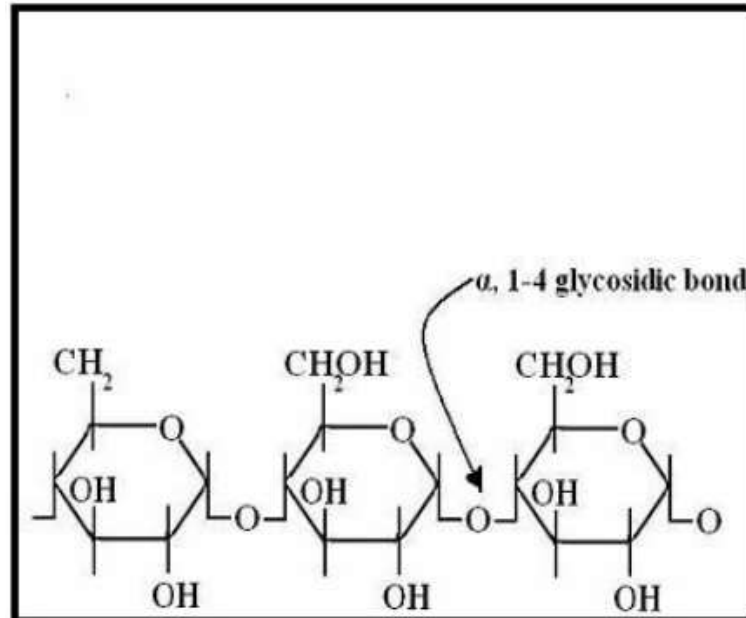
Proses PEO memiliki banyak keuntungan, diantaranya adalah (i) Aplikasi pelapisan yang luas, baik untuk ketahanan aus, ketahanan korosi, dan sifat fungsional lainnya (thermo - optik, dielektrik, thermal barrier, dll) ; (ii) tidak ada penurunan performa untuk sifat mekanik dari substrat karena input panas yang tak seberapa ; (iii) ikatan metalurgi yang kuat antara substrat dan coating ; (iv) dapat dilakukan untuk komponen dengan ukuran besar dan geometri yang kompleks ; (v) peralatan sederhana dan mudah untuk dilakukan ; (vi) biaya rendah, karena tidak butuh kondisi vakum juga gas pelindung ; (vi) proses yang ramah lingkungan, hanya menggunakan larutan elektrolit alkalin, tidak ada emisi berbahaya yang dikeluarkan dari proses (Patel dkk., 2001).

Apabila dibandingkan dengan anodising konvensional dan hard anodising, PEO menunjukkan banyak keunggulan (Volynets dkk., 1991). Walaupun anodising konvensional pada larutan alkalin dapat memberikan lapisan dengan tebal beberapa mikron, lapisan ini masih terlalu tipis untuk memberikan proteksi efektif untuk keausan dan korosi, dan anodising ini biasanya hanya digunakan untuk kebutuhan dekorasi. Metode PEO, yang diturunkan dari anodising konvensional tetapi ditingkatkan dengan pelepasan percikan plasma ketika voltase yang besar dapat menghasilkan lapisan keramik yang lebih tebal dengan sifat yang sangat baik seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan aus dan ketahanan korosi yang sangat baik, serta ikatan yang kuat antara lapisan dengan substrat jika dibandingkan dengan anodising konvensional. Proses PEO telah menunjukkan sukses besar dalam meningkatkan rekayasa permukaan dari logam magnesium, aluminium, dan titanium, menggantikan proses anodising konvensional dengan elektrolit asam yang mengandung zat berbahaya terhadap lingkungan (Jiang., 2010).

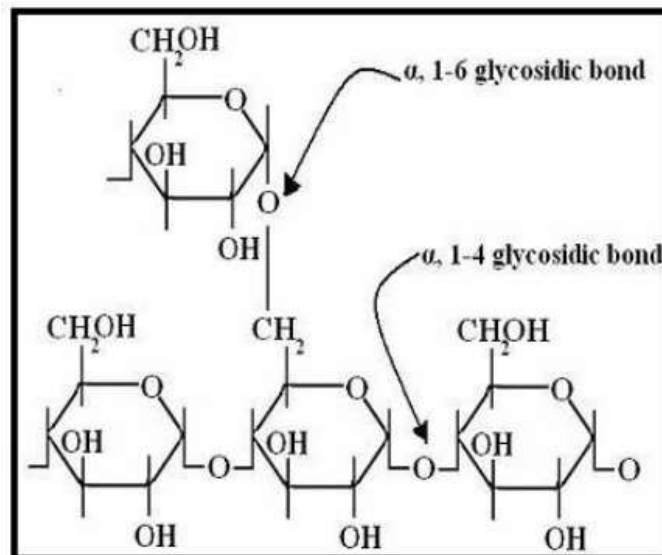
## 2.6 Tepung Kanji

Tepung kanji adalah jenis pati yang diekstraksi dari akar singkong, juga dikenal sebagai tapioka. Tepung kanji adalah bubuk putih halus yang digunakan sebagai pengental, pengikat, dan agen pembentuk gel dalam berbagai makanan. Tepung kanji merupakan komponen utama dari banyak tanaman pangan seperti gandum, beras, jagung, kentang, ubi jalar, singkong dan lain-lain. Tepung kanji banyak digunakan dalam makanan, kosmetik, kertas, tekstil, dan industri tertentu sebagai bahan perekat, penebalan, penstabil, pengerasan, dan pembentuk lapisan gel. Pati adalah polimer karbohidrat yang tersusun atas amilosa dan amilopektin. Amilosa disebut sebagai fraksi terlarut, sedangkan amilopektin sebagai fraksi tidak larut (Arif et al., 2013). Pati dalam bahan pangan terdapat dalam bentuk granula, yaitu tempat dimana amilosa dan amilopektin berada. Struktur granula pati tersusun secara kompleks dan

dipengaruhi oleh asal botaninya (Buleon, et al., 1998). Ukuran granula pati bervariasi dari diameter 2- 100  $\mu\text{m}$ . Granula pati terdiri dari bagian amorf dan bagian kristalin. Bagian kristalin terbentuk dari rantai pendek molekul amilopektin yang tersusun membentuk gugus. Bagian titik percabangan rantai amilopektin disebut dengan bagian amorf (Liu, 2005). Struktur amilosa dan amilopektin ini ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 berikut. Kedua molekul ini yang mempengaruhi fenomena gelatinisasi pada tepung kanji (Tako dkk, 2014).



**Gambar 2.6** Struktur molekul amilosa (Tako dkk, 2014)

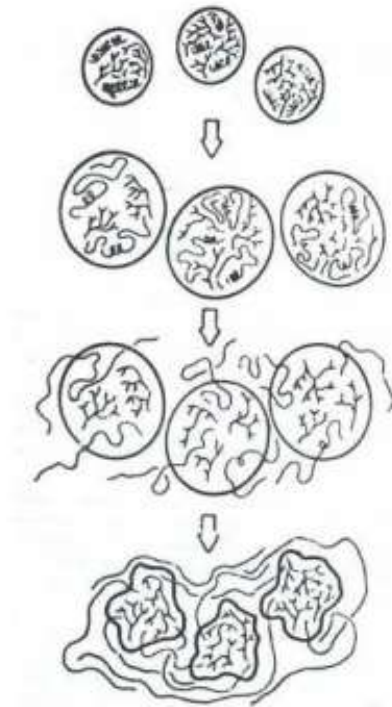


**Gambar 2.7** Struktur molekul amilopektin (Tako dkk, 2014)

Tepung kanji mengalami fenomena gelatinisasi pada proses PEO (Khorasanian dkk, 2011). Menurut Uhi (2006). Gelatinisasi adalah proses perubahan bentuk struktur pati menjadi lebih lunak dan mudah larut dalam air. Proses ini terjadi Ketika granula pati dipanaskan dengan air yang cukup sehingga terjadi pengembangan granula pati dan menghasilkan cairan yang kental Dengan naiknya temperatur menyebabkan makin banyak air yang terserap sehingga pertumbuhan butiran tepung kanji semakin membesar. Dengan

demikian, viskositas dari larutan elektrolit akan meningkat sehingga dapat mengurangi risiko elektrolit menguap dan terpercik keluar akibat plasma yang dihasilkan dari proses PEO.

Gambar 2.7 berikut merupakan mekanisme gelatinisasi pada tepung kanji:



**Gambar 2.8** Mekanisme gelatinisasi tepung kanji (Liu, 2005)

Gambar 2.8 menjelaskan mekanisme fenomena gelatinisasi pada tepung kanji yaitu:

1. Butiran tepung kanji tersusun dari molekul pendek amilosa dan molekul bercabang amilopektin. Kedua molekul ini dihubungkan oleh ikatan hidrogen yang lemah sehingga mudah terputus bila berikatan dengan air.
2. Adanya molekul air akan masuk terserap ke dalam butiran tepung kanji yang menyebabkan rusaknya kristalinitas amilosa dan amilopektin. Meresapnya air ke dalam butiran tepung kanji menyebabkan pertumbuhan butiran tepung kanji.
3. Dengan naiknya temperatur akan menyebabkan pertumbuhan butiran tepung kanji semakin membesar hingga amilosa berdifusi keluar. Molekul amilosa cenderung untuk meninggalkan butiran tepung kanji karena strukturnya yang pendek dan mudah larut dalam air.
4. Pertumbuhan butiran tepung kanji akan menghasilkan lapisan gel mengandung amilopektin yang terperangkap dalam matriks amilosa.

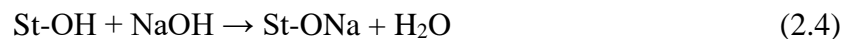
Fenomena gelatinisasi tepung kanji menyebabkan terbentuknya lapisan gel pasta pati. Lapisan gel ini mempunyai sifat thermal yang baik. Bila temperatur semakin meningkat, maka konsentrasi tepung kanji yang tergelatinisasi akan meningkat sehingga lapisan gel yang terbentuk semakin tebal dan penghambatan panas akan semakin kuat. Hal ini menyebabkan plasma yang terbentuk di sekitar anoda akan lebih stabil dan lebih seragam. Produk dari pembentukan plasma ini akan menjadi film oksida yang padat, dan seragam.

Lapisan gel berperan dalam mengurangi turbulensi dalam elektrolit dan juga mencegah panas yang dihasilkan menghilang dengan cepat dari selubung plasma. Hal ini menyebabkan proses pendinginan setelah penghentian proses PEO akan lebih seragam dan mencegah

thermal shock di antarmuka substrat dan lapisan oksida. Dengan demikian, lapisan oksida akan melekat pada substrat tanpa ada keretakan atau detaching yang signifikan dari substrat (Khorasanian dkk, 2011).

Peran tepung kanji pada proses Plasma Electrolytic Oxidation selain membuat larutan elektrolit yang kental dan stabil juga mempengaruhi mikrostruktur lapisan coating. Pada perbandingan mikrostruktur lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO pada lautan elektrolit dengan dan tanpa tepung kanji, tidak terdapat unsur kimia baru pada elektrolit dengan penambahan tepung kanji. Selain itu, komposisi lapisan tidak berubah secara signifikan dimana keduanya terdiri dari titanium oksida. Hal ini menunjukkan bahwa tepung kanji hanya menambah persentase oksigen pada komposisi lapisan oksida (Motwani dkk, 2007).

Proses PEO yang menggunakan tepung kanji dan NaOH akan menyebabkan sebagian NaOH bereaksi dengan tepung kanji sehingga mengurangi pasokan ion OH<sup>-</sup> dalam larutan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3 (Rachtanapun, 2012).



Berkurangnya pasukan OH<sup>-</sup> dalam larutan akan menyebabkan intensitas plasma yang terbentuk akan semakin kecil sehingga lapisan oksida yang terbentuk lebih tipis tetapi padat.

## 2.7 Ketahanan Korosi

Dari beberapa logam seperti baja, tembaga, seng, aluminium dan paduannya, maka aluminium memiliki unggulan, terutama dalam hal ketahanan korosi (dalam suasana netral), ringan, kaku, dan mudah dibentuk, sehingga logam aluminium memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai konstruksi pesawat terbang, peralatan industry, alat-alat rumah tangga sampai ke bahan pengemas makanan ataupun minuman (Bradford & Faulkner, 1992). Korosi merupakan suatu proses perusakan logam akibat interaksi antara logam dengan lingkungannya (Jones, 1992). Ketahanan korosi yang sangat baik oleh aluminium disebabkan oleh adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat di permukaannya (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), namun aluminium juga dapat terkorosi dalam lingkungan yang agresif (Siregar, 2010).

Berikut ini merupakan contoh-contoh korosi yang umum dan sering terjadi pada aluminium:

a) *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

SCC adalah tipe dari korosi dimana material mengalami degradasi sebagai akibat dari lingkungan sekitar yang agresif, dan juga saat logam terkena *tensile stress*. *Stress* bisa didapatkan dari ketidaktepatan *quenching* setelah *heat treatment*, atau dari *interference fit* dari *fastener*. Dari sumber yang lain *stress corrosion* adalah korosi yang timbul sebagai akibat bekerjanya tegangan dan media yang korosif dan ini menyebabkan keretakan. (K.B. Fisher, 2018). Tegangan adalah tegangan tarik, dapat berupa tegangan sisa atau bekerja. Menurut buku lain stress terjadi sebagai hasil dari efek kombinasi *tensile stress* dan lingkungan yang korosif (*fatigue stress*). Korosi ini ditemukan pada hampir kebanyakan sistem logam, bagaimanapun, karakteristik ini sangat utama bagi aluminium, *copper*, beberapa, *stainless steel*, dan *high strength-alloy steel* (lebih dari 240,00 p.s.i) ,biasanya terjadi pada cold working dan memungkinkan transgular,*intergranular* pada alam. Jenis korosi ini sangat sulit dideteksi tanpa menggunakan *Ultrasonic* atau *X-ray*. Gambar 2.8 merupakan contoh korosi SCC.



**Gambar 2.9** Contoh Korosi SCC (Rosyidin, 2016)

Ciri-ciri:

1. Retak menjalar tegak lurus terhadap arah tegangan maksimum.
2. Awal retakan dipermukaan dapat berawal dari *pitting corrosion*.

b) *Surface Corrosion*

Merupakan lapisan korosi yang pernah terbentuk sebelumnya, tidak menyebabkan *pits* atau kerusakan disekitar. Saat dimana permukaan logam yang tidak terlindungi berada pada daerah yang mengandung asap dari baterai ,gas\exhaust, atau kontaminasi industri maka logam akan secara keseluruhan terganggu, sehingga akan menyebabkan permukaan menjadi kusam yang disebabkan logam yang berubah menjadi garam korosi, jika endapan ini tidak dihilangkan maka akan terbentuk logam kasar yang membentuk korosi jenis pit (*corrosion pits*). Gambar 2.9 merupakan contoh *Surface Corrosion*.



**Gambar 2.10** Contoh *Surface Corrosion* (Rosyidin, 2016)

Ciri-ciri:

1. Kerusakan seragam pada material.
2. Penampakan buram.
3. Pada besi hasil korosi berwarna kemerah-merahan.
4. Jika dibersihkan, permukaan logam mengkilap lagi.

Penyebab :

Serangan kimia langsung (*direct chemical attack*). Pada kondisi udara lembab dan atmosfer yang mengandung unsur-unsur agresif (misal ion Cl<sup>-</sup>) yang dibiarkan berlanjut terus, besar kemungkinan permukaan akan menjadi kasar dan berbentuk lubang-lubang kecil (*pitting*) (Rosyidin, 2016).

c) *Pitting Corrosion*

Merupakan pembentukan kantung dari korosi yang terjadi pada permukaan logam dan ini merupakan korosi yang terjadi akibat dari korosi yang terjadi sebelumnya tidak dihilangkan. Korosi ini akan terus berlangsung hingga ketebalan dari logam sudah berubah menjadi garam, secara ekstrimnya memakan seluruh bagian logam. Gambar 2.10 merupakan contoh *pitting corrosion*.



**Gambar 2.11** Contoh *pitting corrosion* (Ali, 2016)

Ciri-ciri :

Membentuk sumuran (*pit*)

Penyebab :

1. Akibat ketidakhomogenan ataupun ketidakrataan permukaan.
2. Aksi galvanic yang disebabkan oleh beda potensial pada daerah-daerah permukaan logam
3. Adanya ion pada elektrolit (*corrosive agent*) yang menyerang daerah-daerah yang dicurigai terjadinya “*PIT*” antara lain : daerah dimana logam kontak dengan material hidroskopis seperti karet, kayu, *asbestos*, *sponge* serta beberapa jenis plastik lainnya juga daerah-daerah dimana sumber korosif non-natural seperti *engine exhaust*, *lavatories*, *batteries*, dll (Rosyidin, 2016).

d) *Fretting Corrosion*

Adalah jenis kerusakan yang disebabkan oleh *corrosive attack*, yang terjadi saat dua permukaan bertemu, subjek akan bergerak relatif. Korosi ini mempunyai *pitting* pada permukaannya, dan juga memiliki puing logam. Penggunaan pelumasan yang tepat akan meminimalkan kerusakan. Gambar 2.11 merupakan contoh *fretting corrosion*.



**Gambar 2.12** Contoh *fretting corrosion* (Rosyidin, 2016)

Ciri-ciri:

1. Kerusakan pada *protective film*.
2. Hilangnya permukaan logam akibat oksidasi
3. Berwarna kegelap-gelapan.

Penanggulangan :

1. Penggantian pelumas secara periodik.
2. Penggunaan *inhibitor*/pelindung.
3. Memperkeras permukaan kedua logam jika memungkinkan.
4. Pemilihan bahan/ material.
5. *Detail design*.

(Rosyidin, 2016)

e) *Filliform Corrosion*

Bentuk khususnya sel oksigen yang terkonsentrasi pada lapisan permukaan metal (*painting/cat*). Gambar 2.12 merupakan contoh *filiform corrosion*.



**Gambar 2.13** Contoh *filiform corrosion* (Wahid, 1999)

Ciri-ciri:

1. Terjadinya diantara lapisan cat primer dan lapisan oksida Aluminium.
2. Cat menggelembung.
3. Terjadinya pengelupasan kearah horizontal.
4. Membentuk serabut-serabut yang menyebar.

Penyebab:

1. Cat terkelupas.
2. Adanya uap air yang terjebak pada lapisan primer.

Penanggulangan:

1. Penambahan *inhibitor* yang tepat.
2. Hindari pengecatan pada kekentalan udara yang tinggi.

(Wahid, 1999)

## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini tentu membutuhkan referensi tentang penelitian-penelitian lain yang pernah meneliti pengaruh pengaplikasian *Plasma Electrolytic Oxidation* terhadap AA7075. Penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 2.8.1 Elektrolit yang Digunakan untuk PEO Pada AA 7075

Pengaruh mendasar dari elektrolit dapat digambarkan sebagai berikut: (i) yang pertama dan paling krusial adalah pengembangan pasivasi logam untuk membentuk lapisan; lapisan



ini memiliki peran penting dalam memenuhi syarat terjadinya induksi percikan listrik; (ii) elektrolit berfungsi sebagai media untuk menghantarkan arus, yang diperlukan untuk mentransmisikan energi yang diperlukan untuk mengoksidasi anoda pada interface logam dengan elektrolit; (iii) elektrolit menyediakan sumber oksigen dalam bentuk garam oksigen (oxysalt), yaitu garam yang mengandung anion oksigen yang diperlukan untuk terjadinya oksidasi; (iv) elektrolit memungkinkan unsur-unsur dalam elektrolit untuk bergabung, bahkan dapat memodifikasi atau memperbaiki sifat pelapisan PEO (Jiang, 2010). Beberapa penelitian dengan elektrolit tertentu telah dilakukan; Voevodin dkk (1996), misalnya, menggunakan elektrolit sodium metasilikat dan potasium hidroksida pada logam aluminium, menghasilkan lapisan permukaan  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , dan Al-Si-O yang berguna untuk meningkatkan ketahanan aus serta ketahanan korosi. Percobaan oleh Wang dkk (1999) menunjukkan bahwa penambahan garam  $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$  ke dalam elektrolit sedikit meningkatkan rasio ketebalan lapisan dalam dari total ketebalan lapisan. Penelitian oleh Luo dkk (2009) dan Yao dkk (2008) menunjukkan bahwa fasa sangat keras dari m-ZrO<sub>2</sub> dan t-ZrO<sub>2</sub> tergabung dalam pelapisan paduan magnesium dan paduan titanium dengan menambahkan  $K_4ZrF_6$  ke dalam elektrolit, menghasilkan lapisan yang mengandung senyawa ZrO<sub>2</sub> yang penting untuk peningkatan ketahanan korosi, ketahanan aus, dan penyekat panas. Penelitian oleh Arrabal dkk menunjukkan bahwa partikel zirkonia dapat tergabung dalam lapisan yang terbentuk dengan PEO baik dengan DC maupun AC pada logam magnesium, dan lapisan ini terdiri dari dua lapisan utama di mana partikel zirkonia tergabung lebih baik pada daerah lapisan dalam dan terluar. Meskipun hanya sedikit zirkonium yang ada di dalam lapisan dalam, dapat dibuktikan bahwa partikel nano yang tersebar di dalam elektrolit dapat mencapai lapisan dalam. Penelitian oleh Wang dkk (1999) menunjukkan bahwa penambahan serbuk silikon karbida ke dalam elektrolit dapat mengurangi rasio ketebalan lapisan padat terhadap total ketebalan lapisan. Salah satu masalah dari penggunaan elektrolit dalam proses PEO adalah konsumsi yang tinggi dan umur yang pendek, yang mempengaruhi reproduktivitas proses pelapisan dan meningkatkan biaya penggantian elektrolit. Sampai saat ini, banyak penelitian dan literatur yang fokus mencari dan mengembangkan elektrolit yang optimal, baik dari segi komposisi maupun konsentrasi, untuk mendapatkan sifat lapisan yang diinginkan (Jiang, 2010).

### 2.8.2 Waktu Oksidasi yang Digunakan untuk PEO Pada AA 7075

Waktu oksidasi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses PEO (*plasma electrolytic oxidation*). Penelitian yang dilakukan oleh Kim dkk (2012) membuktikan bahwa Waktu oksidasi dalam proses PEO sangat mempengaruhi substrat yang terbentuk, karena di dalam proses PEO sendiri dibutuhkan waktu spark discharge agar proses PEO berjalan. Kim dkk (2012) melakukan percobaan dengan menggunakan 2 variasi waktu oksidasi pada delapan paduan aluminium berbeda yang tercatat seperti pada tabel 2.9 berikut:

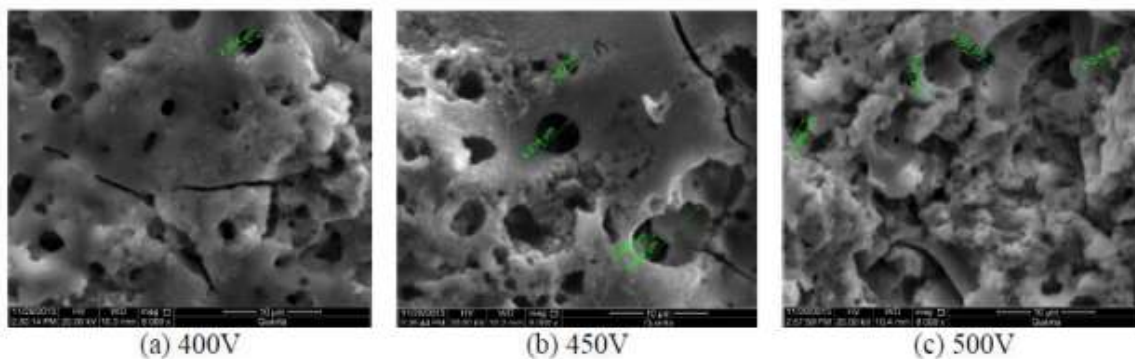
**Tabel 2.10** Variasi Waktu dan Paduan pada Ketebalan hasil proses PEO (Kim dkk, 2012)

Material	Ketebalan (µm)	
	Oksidasi 10 menit	Oksidasi 20 menit
A-1100	16	21
A-2014	13	18
A-5052	19	21
A-6061	15	18
A-6063	14	18
A-7075	17	20
ACD-7B	15	19
ACD-12	14	16

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu oksidasi substrat maka akan menghasilkan lapisan alumina yang lebih tebal beberapa mikron, dan lapisan yang lebih tebal ini sangat diperlukan untuk kebutuhan industri .

### 2.8.3 Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Oksidasi PEO terhadap karakteristik Lapisan Oksida yang Terbentuk

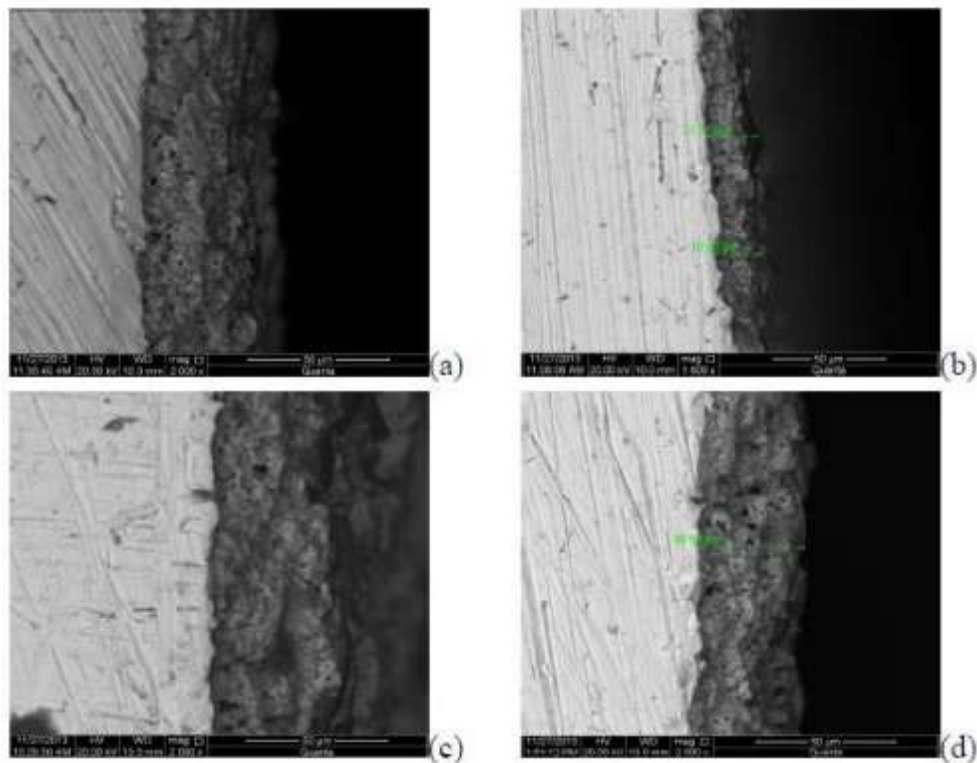
Penelitian pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap karakteristik lapisan oksida yang terbentuk dengan substrat AA 7075 masih sangat jarang bahkan mungkin belum pernah dilakukan. Pengaplikasian beda potensial untuk pelapisan menggunakan metode PEO dengan substrat Ti-6Al-4V pernah dilakukan oleh (Teng dkk, 2016). Dari penelitian ini didapat perbedaan morfologi permukaan lapisan oksida yang terbentuk di mana dengan semakin besarnya potensial yang diberikan menghasilkan penurunan jumlah pori-pori namun diameter pori-pori semakin membesar, akan tetapi pada beda potensial 500V permukaan terselimuti oleh sejumlah banyak lelehan sehingga pori-pori tidak jelas. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.13 di mana menggunakan beda potensial 400V, 450V, dan 500V.



**Gambar 2.14** Pengaruh beda potensial PEO terhadap ukuran pori-pori lapisan oksida Ti-6Al-4V (Teng dkk, 2016)

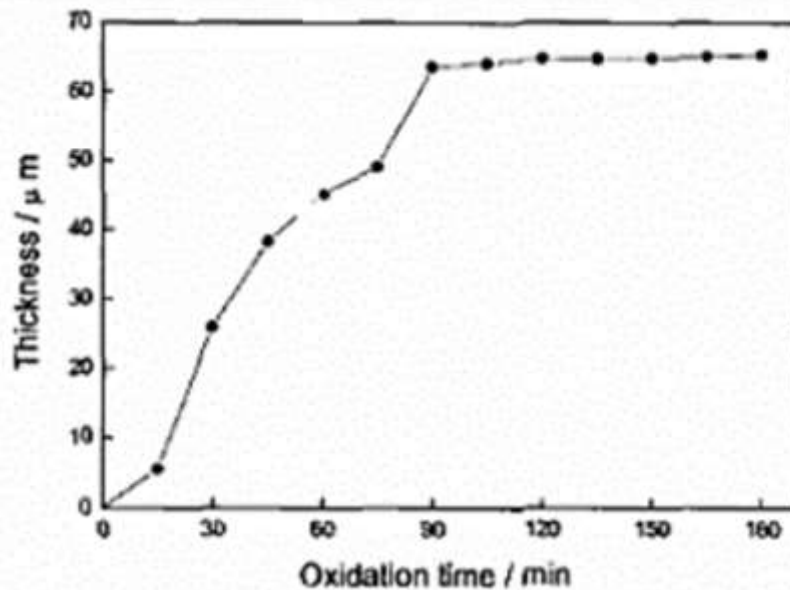
Variasi pengaplikasian beda potensial juga berpengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida yang terbentuk di mana semakin besar beda potensial yang digunakan maka ketebalan dari lapisan oksida yang terbentuk semakin tebal. Bisa dilihat pada gambar 2.14 dengan menggunakan variasi beda potensial 400V, 425V, 450V, dan 475V menghasilkan ketebalan lapisan oksida 22  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 45  $\mu\text{m}$  dan 48  $\mu\text{m}$ . Peningkatan beda potensial akan memberikan energi yang lebih banyak dan membuat semakin banyak percikan plasma yang terjadi mengakibatkan pertumbuhan lapisan oksida semakin cepat.

Gambar 2.14 merupakan pengaruh beda potensial terhadap ketebalan lapisan oksida Ti-6Al-4V dengan variasi 400V, 425V, 450V, dan 475V.



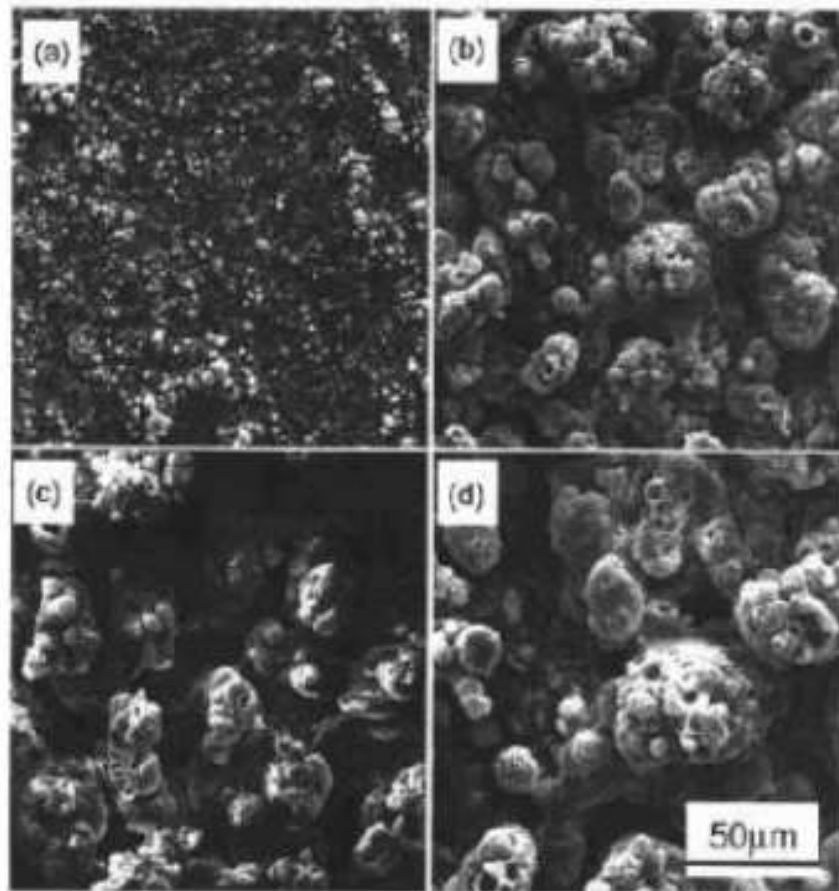
**Gambar 2.15** Pengaruh beda potensial PEO terhadap ketebalan lapisan oksida Ti-6Al-4V dengan a) 400V, b) 425V, c) 450V, d) 475V (Teng dkk, 2016)

Pengaruh dari perbedaan waktu oksidasi PEO terhadap hasil lapisan oksida yang terbentuk dari substrat Ti-6Al-4V pernah diteliti oleh Jiang dkk (2005) menggunakan elektrolit silicate hypophosphite dengan komposisi elektrolit dan potensial yang konstan, didapatkan bahwa ketebalan lapisan meningkat dengan kontinu pada 1-2 jam pertama (tahap pertama) seiring dengan bertambahnya waktu oksidasi, setelah memasuki tahap kedua penambahan ketebalan lapisan menurun bahkan hampir konstan, perubahan ini bisa dilihat pada Gambar 2.16. Penjelasan untuk peristiwa ini adalah ketika awal pemberian arus lapisan keramik mudah sekali rusak, sehingga banyak sekali titik percikan plasma pada permukaan lapisan dan densitas arus sangat besar yang menyebabkan pertumbuhan lapisan oksida yang cepat. Pertumbuhan dari lapisan ini akan terus terjadi sampai titik maksimum yang bisa dicapai dengan kondisi elektrolit dan potensial yang konstan. Pada gambar 2.15 ditampilkan grafik pengaruh waktu oksidasi PEO terhadap ketebalan lapisan oksida.

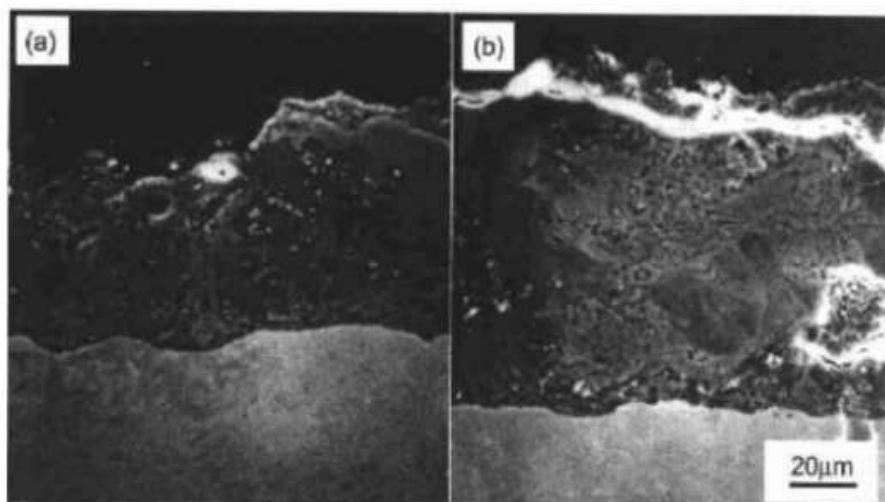


**Gambar 2.16** Pengaruh waktu oksidasi PEO terhadap ketebalan lapisan oksida (Jiang dkk, 2005)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jiang dkk (2005) menemukan pengaruh bertambahnya waktu oksidasi terhadap pori-pori yang terbentuk pada permukaan lapisan. Bisa dilihat pada Gambar 2.16 pori-pori pada waktu oksidasi 15 menit memiliki ukuran yang sangat kecil dan berjumlah sangat banyak, dengan bertambahnya waktu oksidasi diameter pori-pori semakin besar dan jumlahnya semakin sedikit. Pada titik percikan plasma akan didapati temperatur yang tinggi, titik ini akan terus diselimuti oleh lelehan oksida yang dibekukan oleh elektrolit dingin, untuk memecahkan lapisan yang tebal dan rata ini memerlukan energi yang lebih besar, yang membuat pori-pori yang dihasilkan dari proses PEO pada bagian yang tertutupi lelehan oksida menjadi membesar. Pada Gambar 2.17 yang merupakan penampang melintang dari sampel dengan waktu oksidasi 30 menit (a) dan 120 menit (b) menunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu oksidasi didapat lapisan oksida yang lebih tebal dan padat dengan pori-pori dalam yang lebih sedikit. Hal ini terjadi akibat pertumbuhan lapisan yang terbentuk terhadap substrat di mana pertumbuhan lapisan bagian dalam mendominasi seluruh pertumbuhan lapisan yang menyebabkan struktur yang lebih homogen dan padat seiring dengan bertambahnya waktu oksidasi.



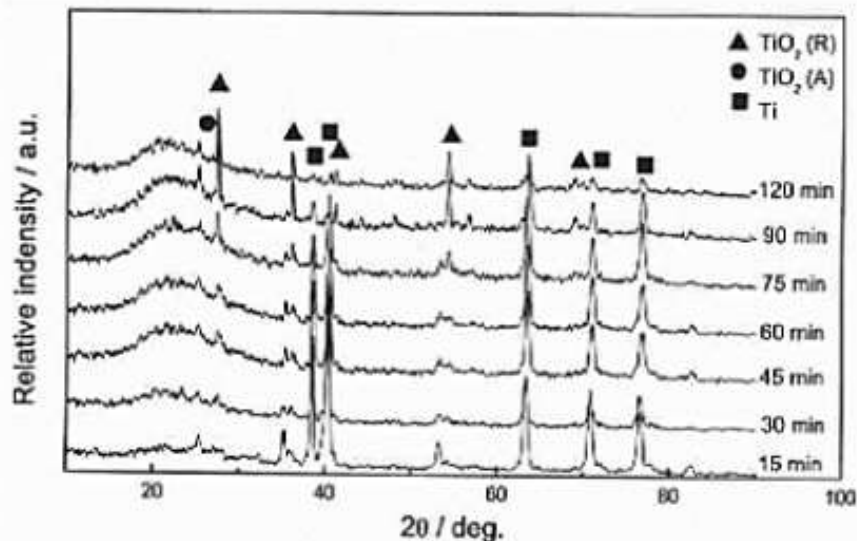
**Gambar 2.17** Morfologi Ti-6Al-4V hasil pelapisan PEO dengan perbedaan waktu oksidasi: a) 15 Menit, b) 30 Menit, c) 60 Menit, dan d) 120 Menit (Jiang dkk, 2005)



**Gambar 2.18** Penampang melintang dari Ti-6Al-4V dengan waktu PEO berbeda. a) 30 Menit, b) 120 Menit (Jiang dkk, 2005)

Jiang dkk (2005) juga mendapati perubahan komposisi dari lapisan yang terbentuk berubah seiringan dengan bertambahnya waktu oksidasi. Pada penelitian ini lapisan oksida terdiri dari rutile, anatase, dan fasa amorphous, komposisi rutile terus meningkat dengan bertambahnya waktu oksidasi, sedangkan anatase dan fasa amorphous pada awalnya

meningkat lalu sedikit menurun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18. Ketika waktu oksidasi bertambah maka akan memberikan temperatur dan waktu yang cukup untuk fasa amorphous (terdiri dari Si) untuk berubah bentuk sehingga jumlah fasa ini semakin sedikit dengan bertambahnya waktu oksidasi, sedangkan anatase merupakan fasa metastabil sehingga dengan bertambahnya waktu oksidasi yang diiringi dengan peningkatan temperatur membuat anatase berubah menjadi rutil yang merupakan fasa stabil dari TiO<sub>2</sub> di tekanan dan temperatur tinggi dengan melting point 1870°C.



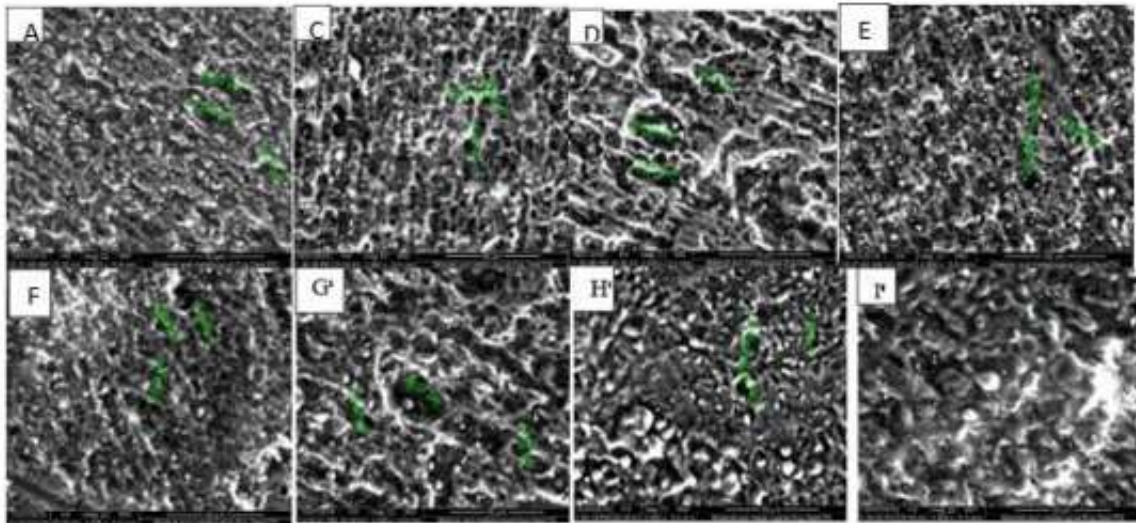
**Gambar 2.19** Pengujian XRD terhadap Ti-6Al-4V hasil PEO dengan berbagai waktu oksidasi (Jiang dkk, 2005)

Muafa dan Purniawan (2018) melakukan penelitian PEO terhadap paduan AZ31B dengan menggunakan elektrolit Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan KOH dengan menggunakan variabel beda potensial berupa 400V, 450V, dan 500V serta variabel waktu oksidasi PEO yaitu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Dari penelitiannya didapatkan bahwa nilai kekerasan yang tinggi terdapat pada spesimen dengan pengaplikasian PEO di 500V selama 15 menit, kekerasan yang dihasilkan bisa mencapai 141,56 VHN yaitu dua kali dari kekerasan AZ31B tanpa PEO yang hanya 68 VHN. Ketebalan lapisan oksida dari proses PEO yang terbentuk juga meningkat beriringan dengan bertambahnya beda potensial, bisa dilihat pada Tabel 2.5 bahwa ketebalan tertinggi terdapat pada spesimen yang diaplikasikan beda potensial 500V yaitu beda potensial tertinggi yang diaplikasikan. Dapat dilihat pada Tabel 2.10 nilai ketebalan lapisan oksida hasil PEO.

**Tabel 2.11** Ketebalan lapisan oksida hasil PEO (Muafa dan Purniawan, 2018)

Spesimen dengan perlakuan PEO (V/m)	Rata-rata ketebalan lapisan (µm)
400/5	2,62
400/10	3,63
400/15	3,92
450/5	5,56
450/10	5,47
450/15	5,03
500/5	5,96
500/10	8,56
500/15	6,89

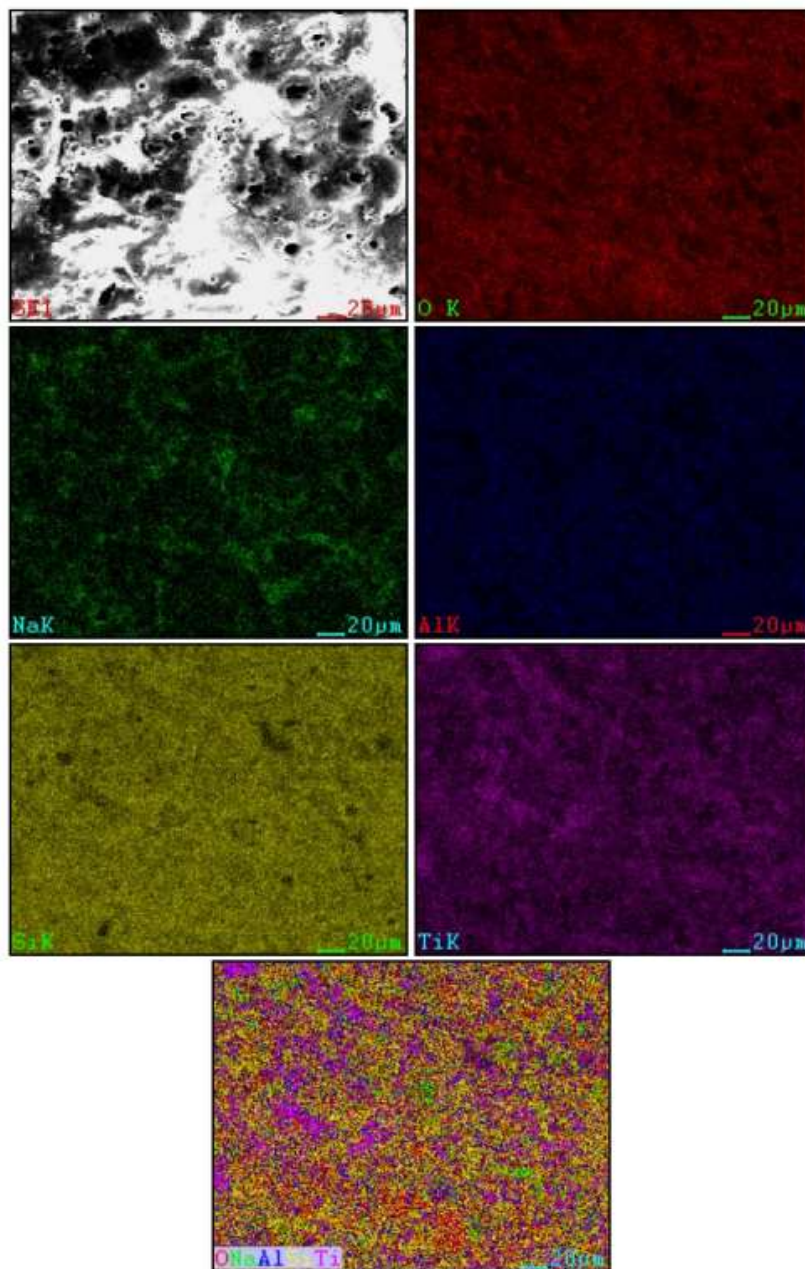
Pada penelitian yang dilakukan Muafa dan Purniawan (2018) juga meneliti pengaruh beda potensial dan waktu terhadap ukuran pori-pori lapisan yang terbentuk, didapatkan bahwa semakin tinggi beda potensial maka akan memperbesar ukuran pori-pori namun hal ini berkorelasi dengan waktu PEO, di mana semakin lama waktu PEO akan memperkecil pori-pori yang terbentuk. Pada spesimen dengan perlakuan beda potensial 500V dan 15 menit memiliki ukuran pori rata-rata paling kecil yaitu 4,71  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 2.19 dapat dilihat perbedaan morfologi permukaan spesimen yang di PEO dengan beda potensial dan waktu yang berbeda.



**Gambar 2.20** Hasil SEM morfologi permukaan AZ31B hasil PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi a) 400 V,5 menit, b) 400V,10 Menit, c) 400V,15 Menit,d) 450V,5 Menit, e) 450V,10 Menit, f) 450V,15 Menit, g) 500V,5 Menit, h) 500V,10 Menit, i) 500V,15 Menit perbesaran 2000x (Muafa dan Purniawan, 2018)

Pengaplikasian beda potensial untuk pelapisan menggunakan metode PEO dengan substrat Ti-6Al-4V pernah dilakukan oleh (Sakti dkk, 2020). Berbeda dari Teng, penelitian ini menggunakan variasi beda potensial 150V, 200, dan 250V dan beda waktu oksidasi sebesar 4 menit, 8 menit, dan 12 menit. Dari Hasil pengujian EDX menunjukkan bahwa lapisan oksida ini terdiri dari unsur Ti, Si, O, Al, dan Na. Peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi akan meningkatkan diameter pori-pori, porositas, ketebalan, dan fasa rutil. Dari pengujian XRD didapati bahwa lapisan Oksida terdiri dari TiO<sub>2</sub> (rutile), TiO<sub>2</sub> (anatase), dan SiO<sub>2</sub> amorphous dengan persentase fasa rutil tertinggi sebesar 52,01%.

Pada gambar 2.20 dibawah ditunjukkan EDX *element mapping* sampel PEO 200V-8 menit dengan perbesaran 1000x.



**Gambar 2.21** EDX element mapping sampel PEO 200V-8 menit dengan perbesaran 1000X  
(Sakti dkk, 2020)

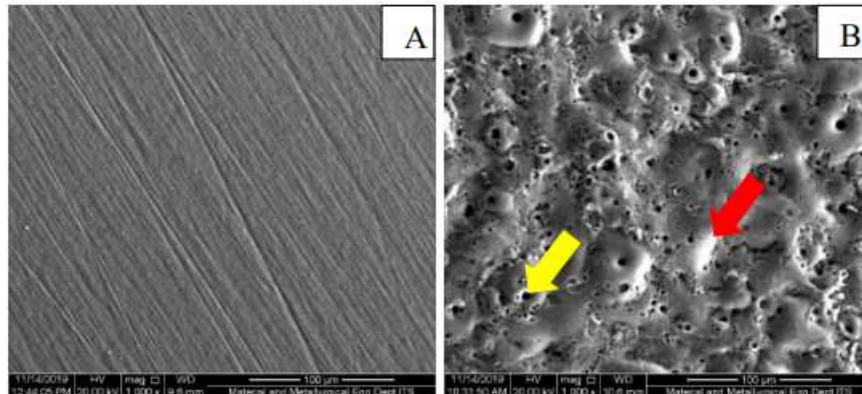
Gambar 2.20 merupakan pengujian EDX element mapping pada sampel Ti-6Al-4V dengan PEO 200V-8 menit, dapat dilihat bahwa Persebaran unsur O yang terjadi secara merata pada seluruh bagian lapisan oksida yang terbentuk, begitu pula dengan unsur Si terutama pada bagian crater dan tidak ditemukan pada titik-titik terbentuknya pori-pori karena pori-pori merupakan tempat keluarnya lelehan logam dari substrat menuju permukaan lapisan oksida sehingga pori-pori lebih banyak mengandung unsur Ti dan Al. Unsur Ti dan Al juga ditemukan di crater atau titik-titik yang jauh dari pori-pori, sedangkan untuk unsur Na tersebar secara tidak merata dan tidak ditemukan pada bagian pori-pori.

Pengujian yang dilakukan Sakti dkk (2020) menunjukkan hasil pengujian SEM bahwa sampel Ti-6Al-4V yang dilapisi menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) memiliki ukuran diameter pori, porositas, dan ketebalan yang meningkat dengan



bertambahnya beda potensial dan waktu oksidasi dengan nilai tertinggi berturut-turut adalah 23,25  $\mu\text{m}$ , 7,15% luasan, dan 43,52  $\mu\text{m}$ .

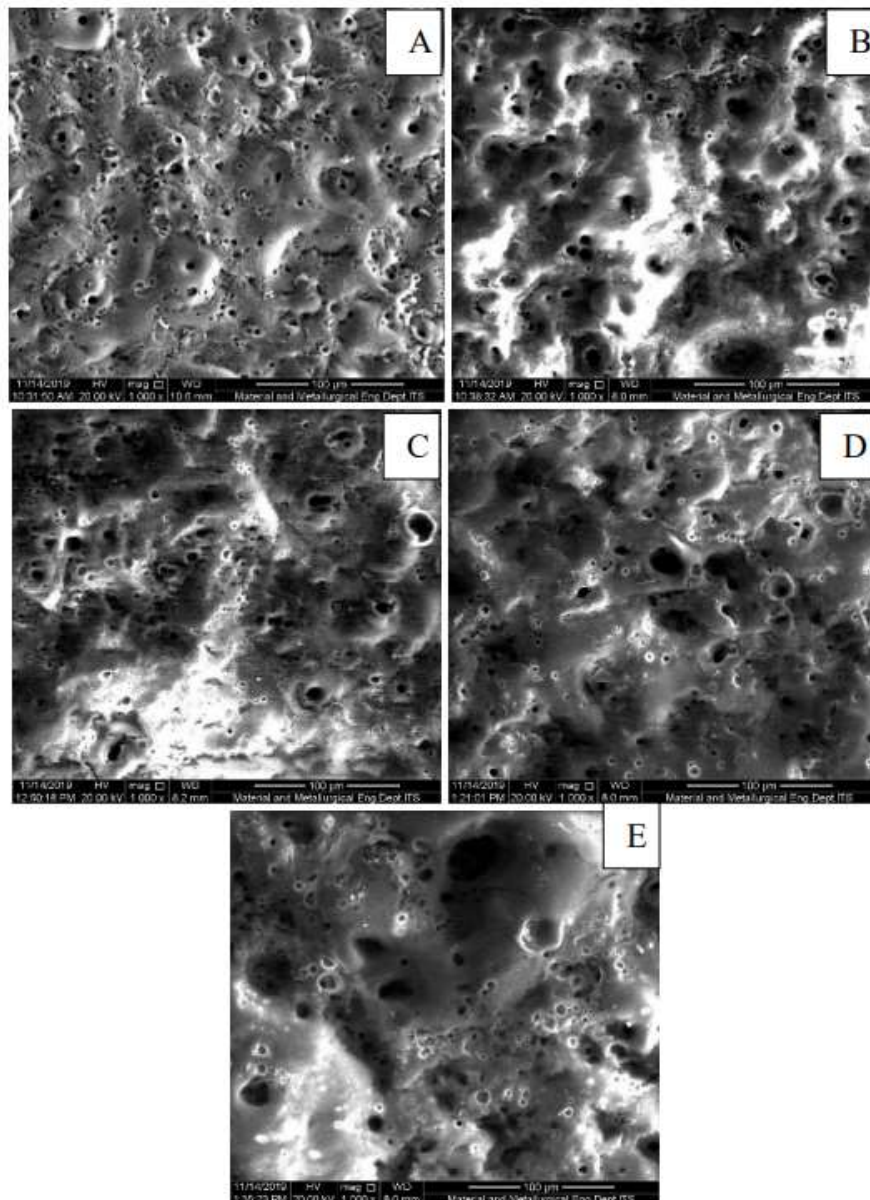
Pada gambar 2.21 dibawah memperlihatkan morfologi permukaan sampel tanpa PEO dan dengan PEO.



**Gambar 2.22** Morfologi permukaan sampel, A) Tanpa PEO, B) PEO (Sakti dkk, 2020)

Ada Gambar 2.21 bagian A merupakan morfologi sampel Ti6Al-4V base (tanpa perlakuan PEO) yang sudah diampelas hingga grade 1000, terlihat bahwa terdapat goresan-goresan yang searah akibat proses pengamplasan pada permukaan sampel. Sedangkan pada Gambar 4.6 bagian B merupakan morfologi sampel Ti-6Al-4V dengan PEO yang memiliki 2 bentuk morfologi khas dari pelapisan menggunakan metode PEO yaitu pori-pori berukuran mikro yang ditunjukkan dengan tanda panah berwarna kuning dan juga crater yang ditunjukkan dengan tanda panah berwarna merah. Pori-pori merupakan jalan keluarnya logam cair dari permukaan substrat ke elektrolit akibat micro-arc discharge dan crater merupakan logam cair yang telah dingin dan terdeposit di permukaan substrat (Khorasani dkk, 2011). Adanya 2 bentuk morfologi dari PEO membuat kekasaran dari hasil pelapisan tidak merata di semua bagian sampel.

Pada Gambar 2.22 merupakan morfologi permukaan dari lapisan oksida hasil PEO dimana seluruh variasi beda potensial dan waktu oksidasi sama-sama memiliki pori-pori dan crater yang tersebar secara acak serta tidak ditemukannya retakan dari lapisan oksida pada seluruh variasi beda potensial dan waktu oksidasi.



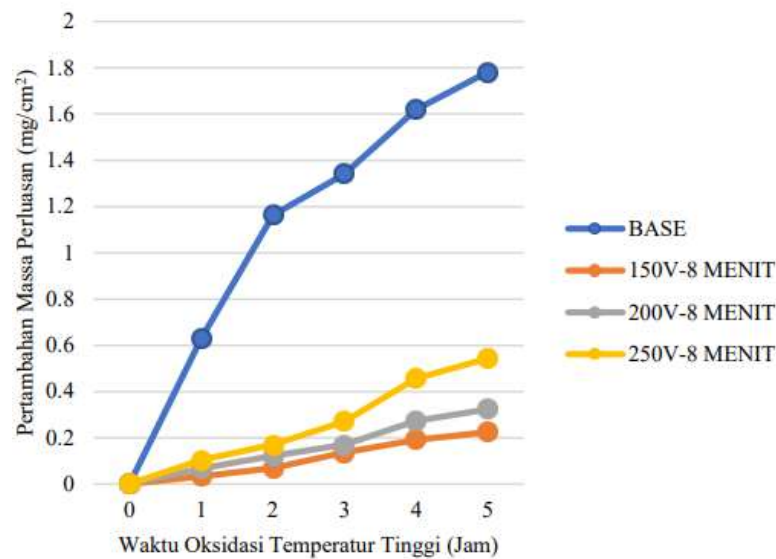
**Gambar 2.23** Morfologi permukaan lapisan oksida hasil PEO menggunakan SEM dengan pembesaran 1000X, A)150V-8 Menit, B)200V-4 Menit, C)200V-8 Menit, D)200V-12 Menit, E)250V-8 Menit (Sakti dkk, 2020)

Pada penelitian yang dilakukan Sakti (2020) diameter pori-pori yang dihasilkan pada setiap variasi beda potensial berbeda-beda, terlihat bahwa peningkatan beda potensial dapat memperbesar diameter pori-pori dengan cukup signifikan, diameter pori-pori terbesar didapatkan ketika menggunakan beda potensial 250V yaitu  $23.25\mu\text{m}$ . Namun peningkatan diameter pori-pori diiringi dengan penurunan jumlah dari pori-pori yang terbentuk yang dapat dilihat pada Gambar 2.22 bagian A,C, dan E, hal ini terjadi karena peningkatan beda potensial akan memberikan energi yang lebih banyak lalu menciptakan percikan plasma yang semakin besar dan banyak mengakibatkan pembesaran diameter pori-pori dan peningkatan jumlah lelehan substrat yang keluar dari pori-pori sehingga lelehan ini akan menutupi pori-pori kecil di sekitarnya (Teng dkk, 2016).

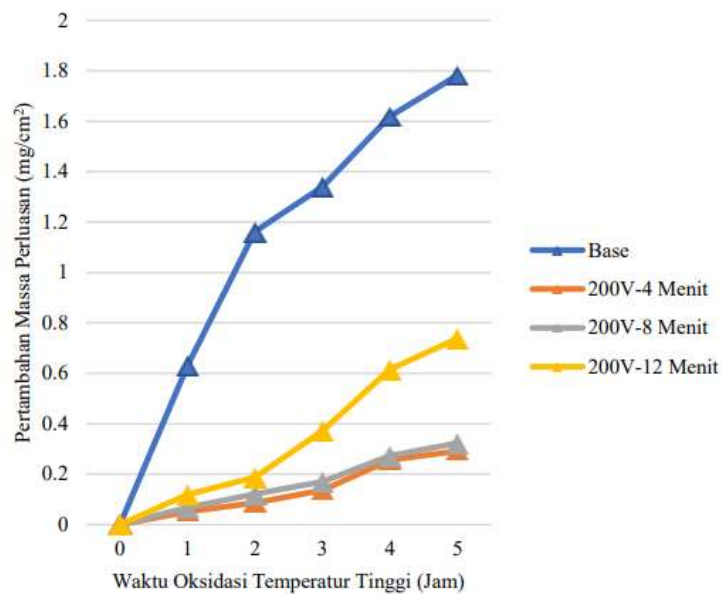
Pada penelitian ini juga didapatkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi terbaik dimiliki oleh sampel 150V-8 Menit dengan pertambahan massa perluasan sebesar  $0,225\text{ mg/cm}^2$  ,

nilai ini jauh lebih kecil dibanding dengan sampel base (tanpa PEO) yang memiliki pertambahan massa perluasan mencapai 1,78 mg/cm<sup>2</sup> atau 8,2 kali lebih rendah dibanding dengan sampel base (tanpa PEO). Peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi akan menurunkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi, hal ini terjadi karena porositas yang semakin besar akan meningkatkan kemungkinan difusi oksigen kedalam substrat dan terjadinya oksidasi substrat walaupun jumlah fasa rutil dan ketebalan meningkat.

Pada gambar 2.x ditampilkan grafik pengaruh beda potensial terhadap ketahanan oksidasi temperature tinggi dan 2.x ditampilkan grafik pengaruh waktu oksidasi terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi.



**Gambar 2.24** Pengaruh beda potensial terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi (700°C) dari Ti-6Al-4V hasil PEO (Sakti dkk, 2020)

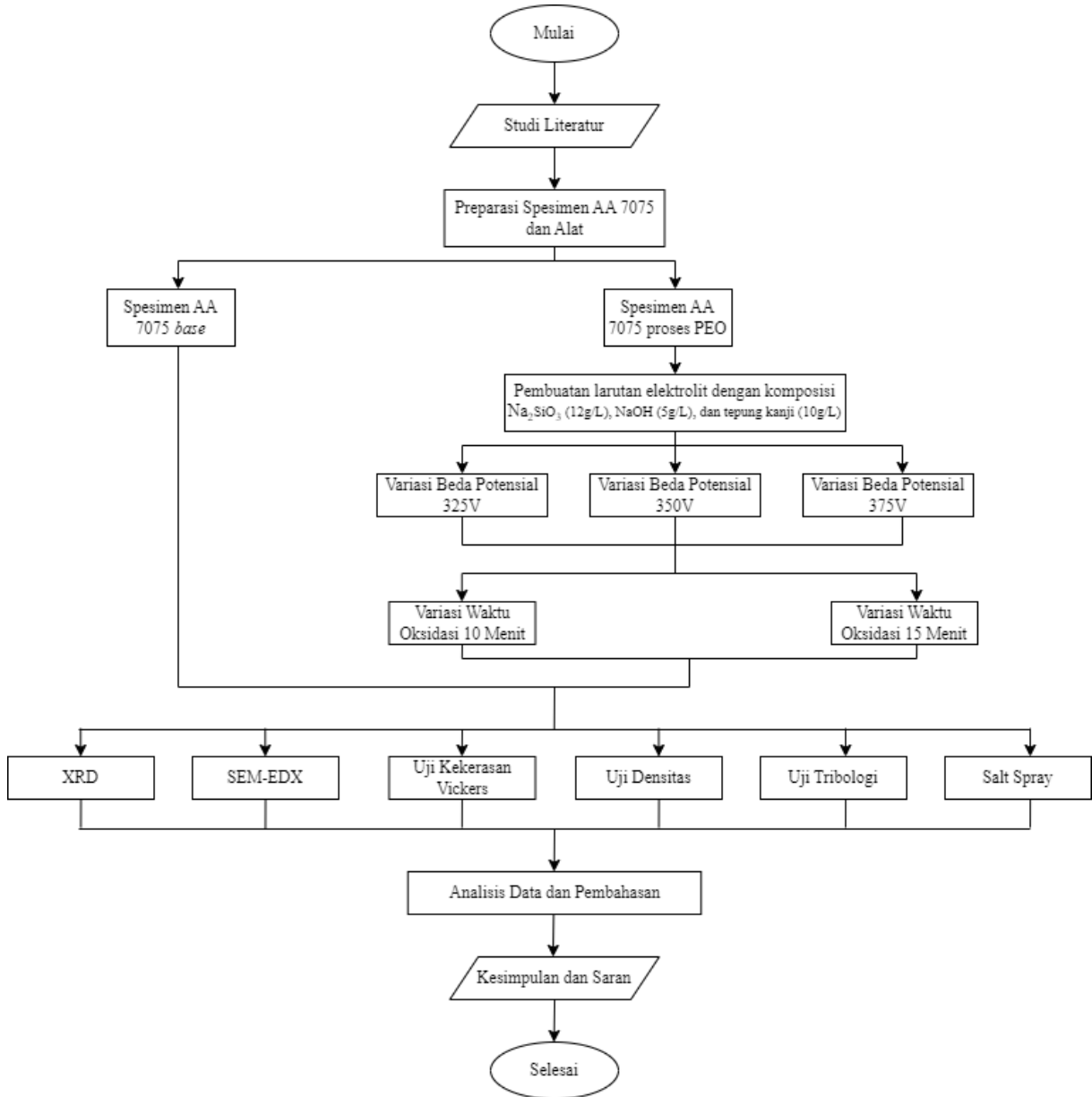


**Gambar 2.25** Pengaruh waktu oksidasi terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi (700°C) dari Ti-6Al-4V hasil PEO (Sakti dkk, 2020)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Sumber Daya DC

Sumber Daya DC digunakan untuk menyediakan tegangan listrik yang dibutuhkan untuk melakukan reaksi elektrokimia selama proses *Plasma Electrolitic Oxidation* (PEO).



**Gambar 3.2** Sumber Daya DC

2. Kabel dan Konektor

Kabel dan Konektor digunakan untuk menghubungkan sumber daya ke katoda dan anoda yang ada di dalam elektrolit. Nantinya tegangan listrik dari sumber daya akan mengalir melalui alat ini.



**Gambar 3.3** Kabel dan Konektor

3. Wadah Elektrolit *Stainless Steel*

Wadah ini digunakan untuk wadah tempat elektrolit selama proses berlangsung. Selain itu wadah *Stainless Steel* juga berfungsi sebagai katoda.



**Gambar 3.4** Wadah Elektrolit *Stainless Steel*

4. Wadah Pendingin

Wadah pendingin digunakan untuk menjaga temperature elektrolit di rentang temperatur 30°C.

5. Gelas *Beaker*

Gelas *Beaker* berfungsi sebagai tempat persiapan elektrolit dari  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , tepung kanji, dan akuades.



**Gambar 3.5** Gelas *Beaker*

6. Neraca Analitik

Neraca analitik digunakan untuk menghitung massa dari spesimen uji dan menghitung massa dari komposisi elektrolit yang akan digunakan.



**Gambar 3.6** Neraca Analitik

7. *Ultrasonic Cleaner*

Alat ini digunakan untuk membersihkan dan mempersiapkan permukaan paduan aluminium sebelum dilakukannya proses PEO.



**Gambar 3.7** *Ultrasonic Cleaner*

8. Alat Pengujian XRD

Alat pengujian XRD digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk pada sampel tanpa perlakuan dan hasil PEO. Alat yang digunakan bertipe *PAN Analytical XRD* yang merupakan milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi.

9. Alat Pengujian SEM-EDX

Alat pengujian SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi dan mengetahui komposisi unsur secara kuantitatif dari permukaan sampel yang terbentuk pada sampel tanpa perlakuan dan hasil PEO. Alat yang digunakan merupakan milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi.

10. Alat Pengujian Kekerasan

Alat pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari lapisan substrat hasil proses PEO. Alat uji kekerasan yang digunakan yaitu model HBRV-187.5 A milik Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi.

11. Alat Pengujian Tribologi

Alat pengujian tribologi digunakan untuk mengetahui kemampuan dari hasil pelapisan terhadap ketahanan abrasi.

12. Alat pengujian *Salt Spray*

Alat pengujian *salt spray* digunakan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap korosi. Alat yang digunakan dalam pengujian ini yaitu milik Laboratorium Korosi dan Baterai Departemen Teknik Material dan Metalurgi.

### 3.3 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Paduan Aluminium 7075

Paduan aluminium 7075 adalah anoda yang digunakan untuk bahan baku utama dari metode

*Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO).

2. Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Natrium silikat digunakan sebagai elektrolit dari proses pelapisan ini. Nantinya natrium silikat akan dicampur dengan senyawa lain agar menjadi elektrolit yang diinginkan.

3. Natrium Hidroksida (NaOH)



Natrium hidroksida digunakan sebagai elektrolit dari proses pelapisan ini. Nantinya natrium hidroksida akan dicampur dengan senyawa lain agar menjadi elektrolit yang diinginkan.

4. Tepung Kanji

Tepung kanji digunakan sebagai zat aditif pada elektrolit dari proses pelapisan ini. Nantinya tepung kanji akan dicampur dengan senyawa lain agar menjadi elektrolit yang diinginkan.

5. Aquades

Aquades digunakan sebagai bahan pelarut dari kedua senyawa yang digunakan sebagai elektrolit. Selain itu juga, aquades digunakan juga sebagai media pendingin dan senyawa yang digunakan untuk melarutkan NaCl dalam pengujian *salt spray*.

6. NaCl

NaCl digunakan sebagai bahan pembuatan larutan untuk pengujian *salt spray*.

7. Ethanol

Ethanol digunakan sebagai bahan membersihkan specimen dari *oil, gram*, dan debu.

8. Kertas Amplas

Kertas amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan paduan aluminium 7075 hingga sesuai dengan kehalusan yang diharapkan.

### 3.4 Proses Preparasi dan Pelapisan

#### 3.4.1 Preparasi Sampel dan Larutan Elektrolit

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah paduan AA7075. Komposisi dari paduan AA7075 ditunjukkan pada **Table 2.5** Substrat dipotong menggunakan metode wire cut dengan dimensi 25 mm x 10 mm x 6 mm menjadi 28 buah sampel lalu diampelas dengan menggunakan amplas dengan grade 180, 400, 800, dan 1200. Pengamplasan bertujuan untuk mendapatkan kekasaran sampel yang homogen dan memudahkan proses pelapisan. Setelah itu sampel dibilas menggunakan aquadest dan dibersihkan menggunakan *ultrasonic* di dalam larutan etanol selama 10-15 menit untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor.

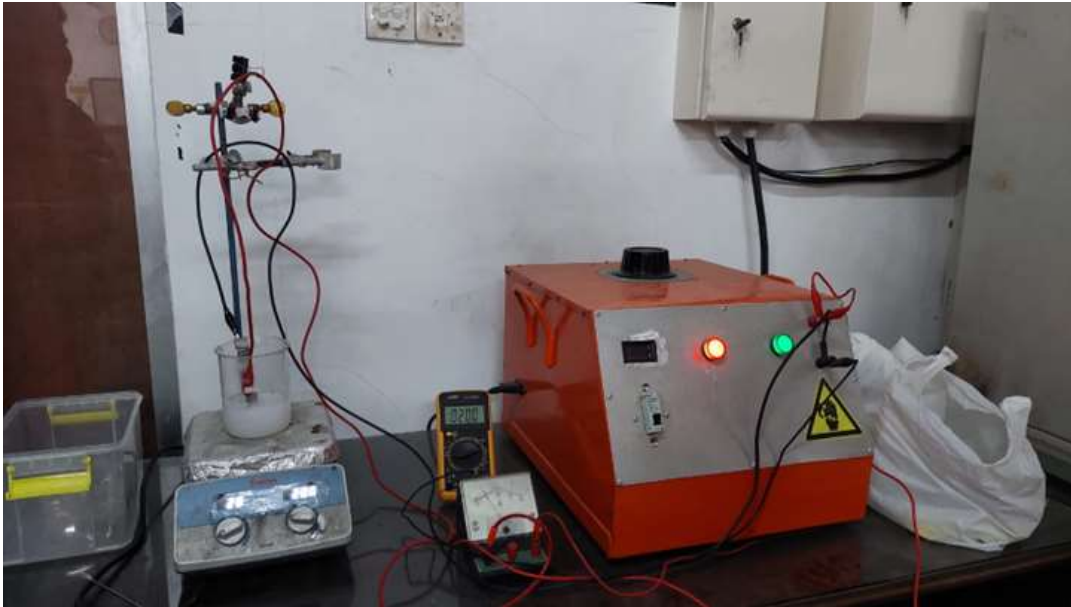
Larutan elektrolit yang digunakan pada proses PEO dengan substrat AA7075 memiliki komposisi  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (12 g/l), NaOH (5 g/l), dan tepung kanji (10 g/l).

#### 3.4.2 Proses Preparasi Menggunakan Metode PEO

Setelah proses preparasi, selanjutnya substrat dilapisi menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) untuk membentuk lapisan oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Proses PEO menggunakan power supply DC dengan potensial maksimum sebesar 800V dan arus maksimum sebesar 4A.

PEO menggunakan prinsip dasar *anodizing*, dimana anodanya adalah substrat (AA7075) sedangkan katodanya berupa wadah *stainless steel*. Wadah dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menjaga temperatur elektrolit tidak terlalu tinggi ( $\pm 30^\circ\text{C}$ ) sehingga elektrolit tidak terlalu cepat menguap akibat panas yang dihasilkan oleh plasma.

Dalam melakukan pelapisan substrat di penelitian ini menggunakan variasi potensial yaitu 325V, 350V, dan 375V dengan waktu oksidasi PEO berbeda yaitu 10 menit dan 15 menit. Waktu oksidasi PEO mulai dihitung ketika sampel telah berada pada kondisi beda potensial yang ditentukan dan jalannya proses PEO dilakukan tanpa ada agitasi.



**Gambar 3.8** Alat Pengujian PEO

### 3.5 Proses Pengujian

Proses pengujian bertujuan untuk menganalisis sifat kekerasan, tahan aus, dan ketahanan korosi dari sampel paduan aluminium 7075 *base* (tanpa PEO) dan juga setelah PEO, pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Pengujian *X-Ray Diffraction*

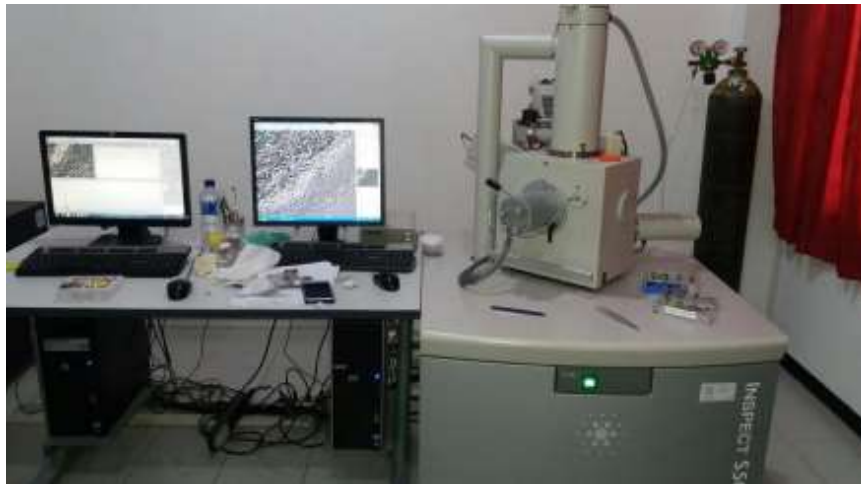
Pengujian *X-Ray Diffraction* adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk substrat dan hasil proses PEO. Data hasil XRD berupa grafik dengan puncak intensitas terhadap  $2\theta$ . Data XRD ini digunakan untuk perhitungan komposisi unsur dan senyawa. Pengujian XRD ini menggunakan alat merk Xper pro panlythical yang ditunjukkan gambar 3.2. Cara kerja mesin XRD adalah menembakkan elektron dengan energi tinggi ke sampel, pantulan dari elektron yang ditembakkan akan memberikan informasi visual dari morfologi permukaan sampel.



**Gambar 3.9** Alat *X-Ray Diffraction* (XRD)

### 3.5.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)-Energy Dispersive X-Ray (EDX)*

Pengujian SEM bertujuan untuk memahami struktur mikro dan morfologi lapisan substrat setelah melalui proses PEO. Selain menggunakan SEM, analisis Energy Dispersive X-Ray (EDX) juga dilakukan untuk mengidentifikasi unsur-unsur pada titik-titik tertentu. Instrumen SEM yang digunakan berasal dari departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS, yakni SEM tipe FEI INSPECT S50. Dua variasi beda potensial dan dua waktu oksidasi PEO akan diamati menggunakan SEM dan dibandingkan dengan base metal AA 7075 tanpa perlakuan PEO, dengan fokus pengamatan pada permukaan substrat. Selanjutnya, EDX dilakukan pada spot-spot tertentu sebagai pendukung untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang hadir dalam morfologi lapisan. Adapun morfologi juga akan dipetakan untuk mengetahui sebaran unsur-unsur pada lapisan permukaan.



**Gambar 3. 10** Mesin SEM FEI Inspect S50

### 3.5.3 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan dilaksanakan untuk menentukan nilai kekerasan dari lapisan substrat yang dihasilkan oleh proses PEO. Substrat yang telah melalui PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi akan diuji kekerasan permukaannya dan dibandingkan dengan kekerasan substrat tanpa perlakuan PEO. Pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan *Vickers* model HBRV-187.5 A dari departemen Teknik Material ITS, dimana beban sebesar 30kgf diterapkan ke permukaan sampel selama 10 detik. Hal ini akan menghasilkan indentasi beban, yang kemudian dapat diukur diagonalnya dengan bantuan perangkat lunak untuk menghitung nilai kekerasan dari lapisan permukaan substrat. Analisis ini bertujuan untuk memahami pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi proses PEO terhadap nilai kekerasan, dengan tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan aluminium dengan sifat mekanik yang optimal, terutama kekerasan, sehingga dapat digunakan dalam industri pesawat.

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah  $136^{\circ}$ . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antar diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (dieter, 1987). Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya. Luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN, *Hardness test method* ini dijelaskan dalam standar ASTM E92 yang dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$VHN = (2P \sin^2(\frac{\theta}{2}))/d^2 = \frac{(1,854)P}{d^2} \quad (2.5)$$

dimana,

P = beban yang digunakan (Kgf)

D = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^\circ$



**Gambar 3.11** Alat Uji *Microhardness* Vickers

### 3.5.4 Pengujian Tribologi

Uji tribologi adalah metode eksperimental yang digunakan untuk memahami dan mengukur fenomena gesekan, keausan, dan pelumasan antara dua permukaan yang bergesekan satu sama lain. Substrat yang telah melalui PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi akan diuji ketahanan aus dan geseknya yang akan dibandingkan dengan kekerasan substrat tanpa perlakuan PEO.



**Gambar 3.12** Alat Uji Tribologi

Untuk mengetahui nilai keausan pada permukaan pesawat digunakan standard ASTM G99, dimana nilai keausan didapatkan dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$V_{keausan}(mm^3) = \frac{\text{massa keausan (gr)}}{\text{massa jenis } (\frac{gr}{mm^3})} \quad (2.6)$$

Selanjutnya dari jumlah volume yang hilang dapat ditentukan nilai laju keausan dengan persamaan berikut:

$$\text{Wear rate}(mm^3/Nm) = \frac{V_{keausan}(mm^3)}{\text{jarak tempuh}(m) \times \text{beban}(N)} \quad (2.7)$$

### 3.5.5 Pengujian *Salt Spray*

Pengujian *salt spray* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap korosi. Pengujian *salt spray* menggunakan standar dari ASTM B117-11. Pada pengujian *salt spray* digunakan *salt spray chamber* milik Laboratorium Korosi dan Baterai Departemen Teknik Material dan Metalurgi. Pengujian *salt spray* merupakan pengujian terhadap sampel dengan cara menyemburkan cairan NaCl ke sampel dengan bantuan pompa angin dan pompa air. Pengujian ini dilakukan selama 7 hari untuk mengetahui berat material yang hilang karena perlakuan korosi.

Untuk menghitung laju korosi pada hasil pelapisan AA 7075 digunakan metode *weight loss*. Metode kehilangan berat (*Weight Loss*) merupakan perhitungan laju korosi dengan mengukur berat material akibat terjadinya korosi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut yang sesuai dengan metode kehilangan berat pada ASTM G31-72:



**Gambar 3.13** Alat Pengujian *Salt Spray*

$$CR = \frac{W \times K}{D \times A_t \times T} \quad (2.7)$$

dimana,

CR = *Corrosion Rate* (mmy)

W = *Weight Loss* (gram)

K = Konstanta,  $8.76 \times 10^4$

D = Densitas ( $g/cm^3$ )

$A_t$  = Luas Permukaan ( $mm^2$ )

$T = \text{Exposure Time (Jam)}$

### 3.5.6 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum *Archimedes* dengan cara menimbang sampel uji di udara (kering) dan di dalam air (basah). Untuk menghitung nilai densitas menggunakan persamaan standard ASTM D792 dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho_m = \frac{m_s}{V} \quad (2.8)$$

dimana,

- $\rho_m$  = densitas aktual ( $\text{g/cm}^3$ )
- $m_s$  = massa sampel kering (g)
- $V$  = Volume sampel ( $\text{cm}^3$ )



Gambar 3.14 Alat Uji Densitas A) Neraca Analitik, B) Gelas Ukur

### 3.6 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini perlu dibuat rancangan penelitian yang dibuat berupa tabel yang mendaftarkan sampel dan jenis pengujian yang dilakukan, tabel rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini, agar penelitian ini terstruktur juga dibuat jadwal penelitian seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Sampel	Variabel		Uji XRD	Uji SEM-EDX	Microhardness Vickers	Uji Tribologi	Salt Spray	Uji Densitas
	Potensial (V)	Waktu (Menit)						
AA 7075	-	-	√	√	√	√	√	√
	325	10	√	√	√	√	√	√
	350	10	√	√	√	√	√	√
	375	10	-	-	√	√	√	√
AA 7075 + PEO	325	15	√	√	√	√	√	√
	350	15	√	√	√	√	√	√
	375	15	-	-	√	√	√	√

**Tabel 3.2** Jadwal Penelitian

Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Studi Literatur	[Blue bar]																																			
Penyusunan Proposal	[Green bar]																																			
Asistensi	[Yellow bar]																																			
Persiapan Alat & Bahan																																				
Proses Pelapisan																																				
Pengujian XRD																																				
Pengujian SEM-EDX																																				
Pengujian Kekerasan																																				
Pengujian Densitas																																				
Pengujian Tribologi																																				
Pengujian <i>Salt Spray</i>																																				
Penyusunan Laporan Akhir	[Dark Blue bar]																																			

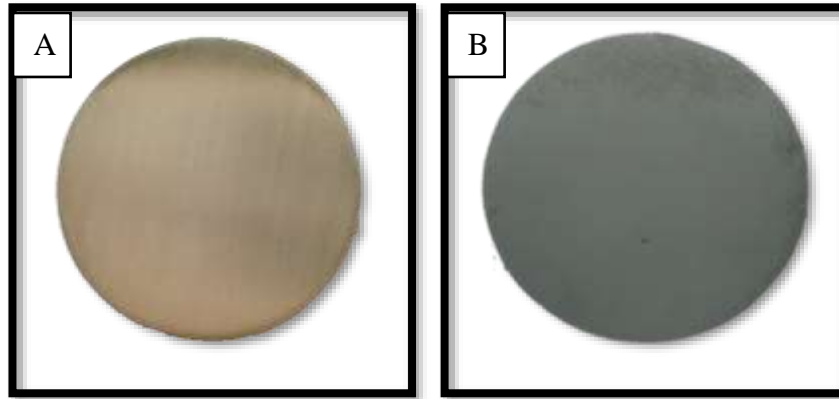
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Pengamatan Visual

Pengamatan pada AA7075 dilakukan secara visual untuk mengamati perubahan yang terjadi pada permukaan sebelum dan setelah adanya proses PEO, yang ditunjukkan pada Gambar berikut :



**Gambar 4.1** Pengamatan visual spesimen A sebelum proses PEO; B sesudah proses PEO.

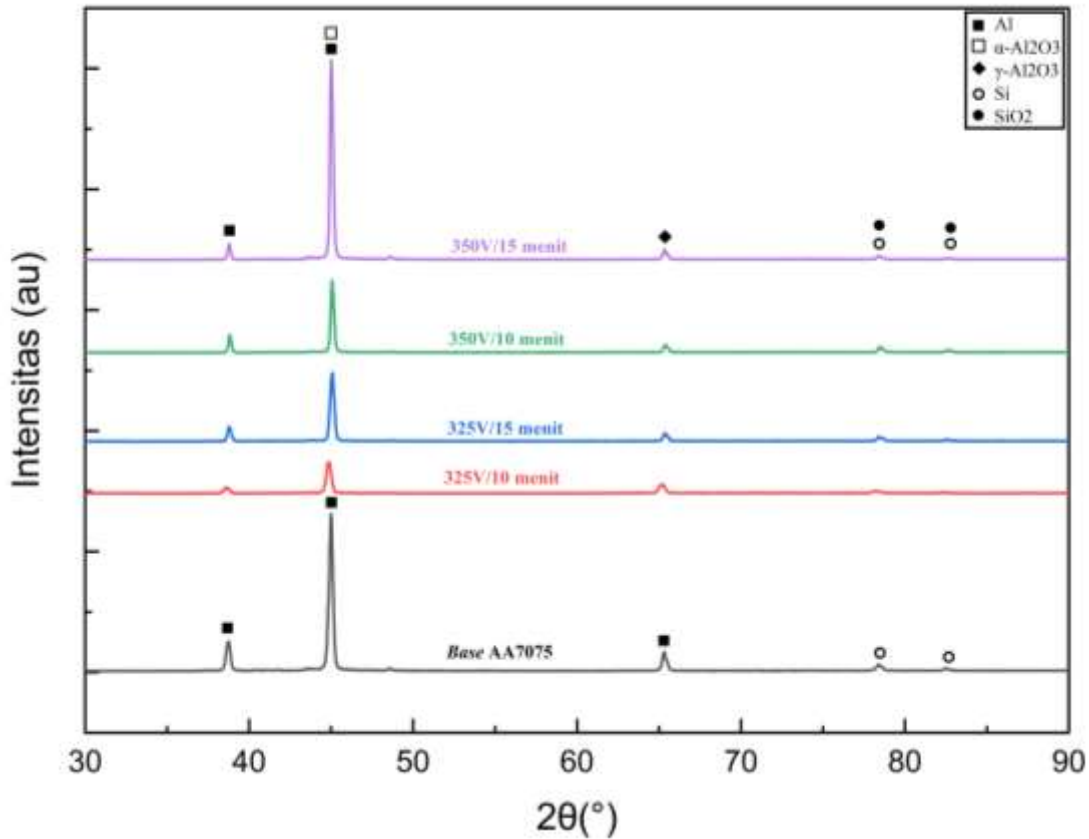
Pada visual **Gambar 4.1** diatas material *base* AA7075 material sudah dipreparasi dengan cara diampas hingga *grade* 1200 mempunyai visual permukaan berwarna silver mengkilap dengan permukaan yang rata dan halus yang menindikasikan material dalam keadaan baik dan tidak ada cacat sebelum pengujian, sedangkan pada visual spesimen yang sudah melalui proses PEO dengan voltase 350 Volt selama 10 menit mempunyai permukaan yang berwarna putih keabu-abuan. Menurut Zolotarjovs, dkk (2022) warna putih keabu-abuan yang muncul pada spesimen AA7075 yang telah diberikan perlakuan PEO mengindikasikan bahwa telah terbentuk lapisan berupa aluminium oksida pada permukaan spesimen yang telah di PEO.

### 4.2 Analisis Fasa Pengujian XRD

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan unsur dan senyawa yang terbentuk pada material base AA7075 dan material AA7075 yang sudah melalui proses PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi. Pada hasil pengujian XRD puncak yang memiliki visual meruncing dan sempit menunjukkan kristalinitas yang tinggi pada senyawa yang terbentuk. Pada hasil pengujian XRD yang dilakukan pada base material AA7075 didapatkan nilai puncak  $2\theta$  pada  $38,6481^\circ$ ;  $44,9649^\circ$ ;  $65,2357^\circ$ ;  $78,471^\circ$ ; dan  $82,4483^\circ$ . Analisa XRD menggunakan data ICDD pada material base menunjukkan bahwa pada base didominasi oleh fasa aluminium, hasil yang didapatkan pada sampel yang telah diberikan perlakuan PEO menghasilkan puncak difraksi yang tidak jauh berbeda, perbedaan base dan perlakuan PEO ada pada terbentuknya fasa baru sebagai hasil dari proses pelapisan dengan metode PEO.

Berdasarkan Gambar 4.2 sampel dengan perlakuan PEO menunjukkan terbentuknya fasa  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  masing-masing pada  $2\theta = 44,9649^\circ$ ;  $65,2357^\circ$  dan  $\text{SiO}_2$  pada  $2\theta = 78,471^\circ$ ;  $82,4483^\circ$ . Hal ini membuktikan bahwa pelapisan menggunakan PEO pada material AA7075 menghasilkan alumina dan dengan digunakannya larutan elektrolit yang mengandung silikat yaitu  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , maka terbentuk fasa  $\text{SiO}_2$ . Menurut Han, dkk (2024) (Adanya fasa  $\text{SiO}_2$  pada lapisan oksida hasil PEO terbentuk dari ionisasi larutan elektrolit yang mengandung  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  berupa  $\text{SiO}_4^{2-}$  yang bereaksi dengan  $\text{O}^{2-}$  membentuk  $\text{SiO}_2$  dan terdeposit karena adanya plasma yang dihasilkan selama plasma. Berdasarkan penelitian

Vedyagin, dkk (2016) Alumina yang muncul merupakan fasa khas yang terbentuk pada paduan aluminium setelah diberikan perlakuan PEO.

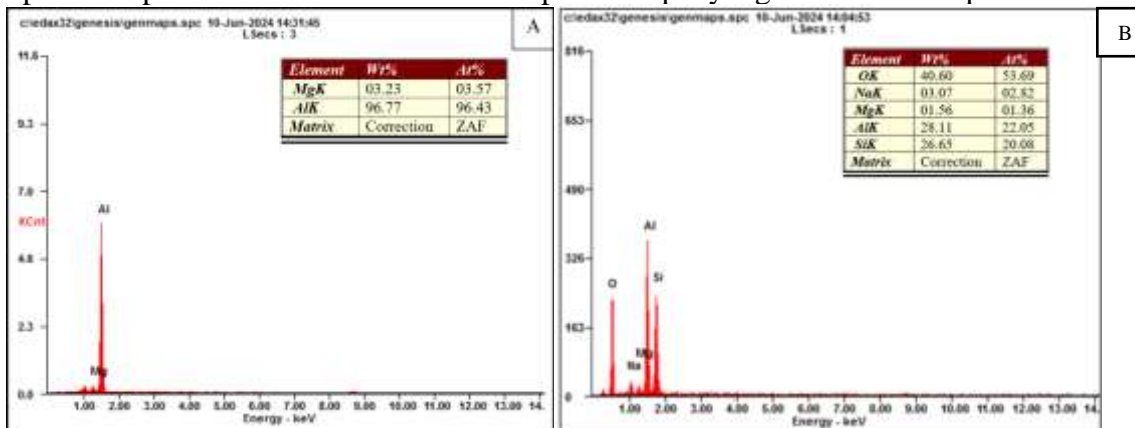


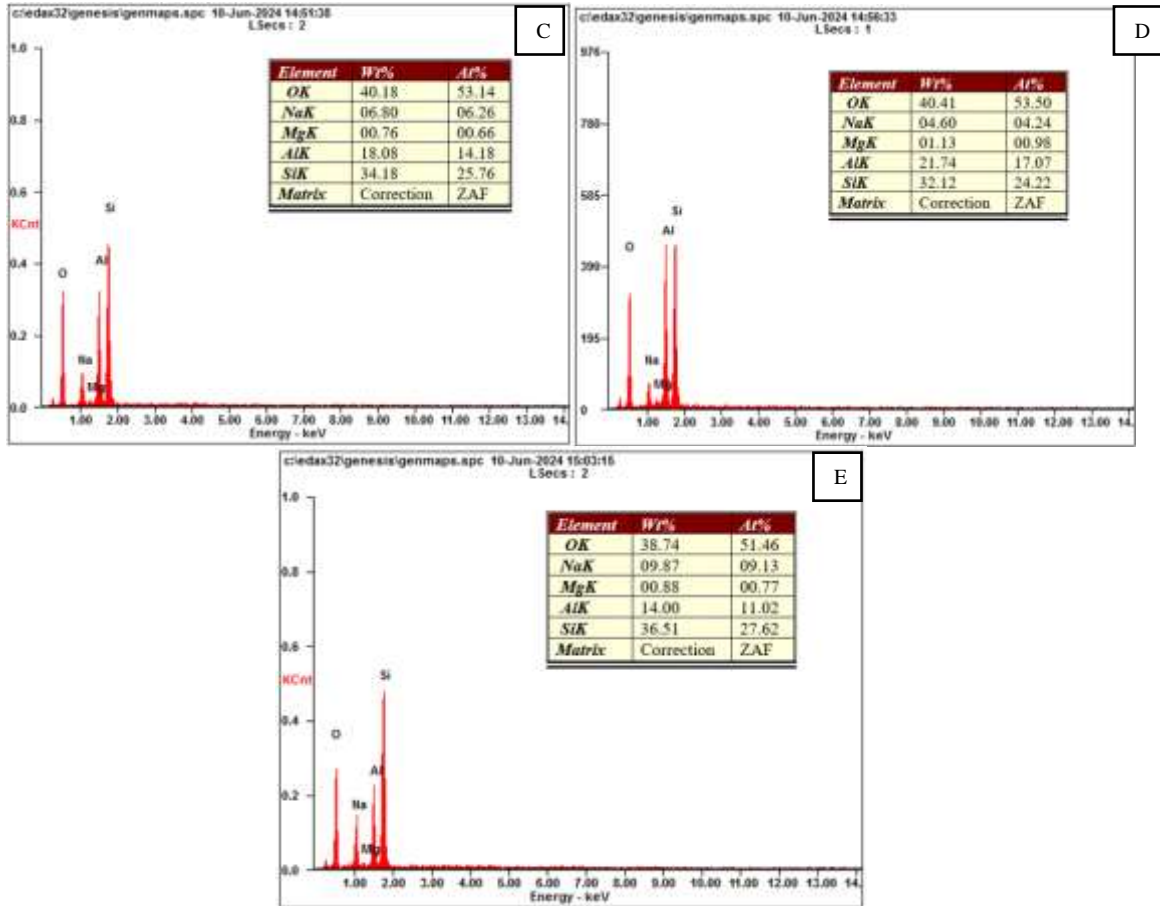
Gambar 4.2 Hasil pengujian XRD.

Penggunaan tepung kanji pada larutan elektrolit tidak berpengaruh pada fasa maupun senyawa yang terbentuk pada permukaan lapisan PEO, hal ini dapat dilihat pada sampel yang telah dilakukan proses PEO dimana penambahan tepung kanji tidak menghasilkan fasa baru selain  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SiO}_2$ , variasi beda potensial dan waktu oksidasi dalam proses PEO hanya mempengaruhi intensitas dari fasa yang terbentuk (Lamouri, 2017).

### 4.3 Analisis Komposisi EDX

Pada Gambar 4.3 berikut merupakan hasil karakterisasi komposisi kimia menggunakan EDX pada sampel *base material* AA7075 dan pada sampel yang sudah melalui proses PEO.





**Gambar 4.3** Hasil pengujian EDX spesimen A) sebelum PEO; B) PEO 325V/10m; C) PEO 325V/15m; D) PEO 350V/10m; E) PEO 350V/15m.

Hasil pengujian EDX ini kemudian diplot dalam **Tabel 4.1** untuk melihat komposisi AA 7075 substrat dan setelah diberi perlakuan PEO:

**Tabel 4.1** Komposisi Unsur Pengujian EDX

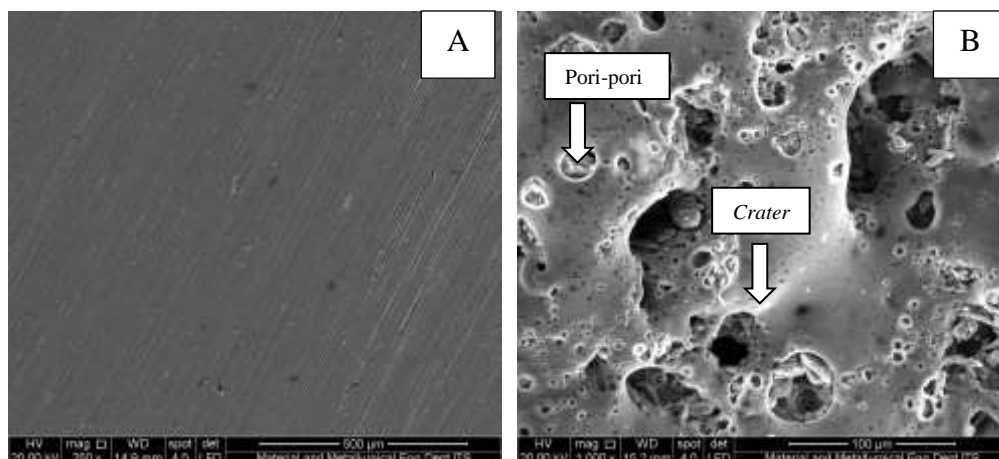
Sampel	Komposisi (Wt%)				
	Al	Si	Mg	Na	O
base AA7075	96,77	-	3,23	-	-
PEO 325V/10 Menit	28,11	26,65	1,56	3,07	40,6
PEO 350V/10 Menit	21,74	32,12	1,13	4,6	40,41
PEO 325V/15 Menit	18,08	34,18	0,76	6,8	40,18
PEO 350V/15 Menit	14	36,51	0,88	9,87	38,74

Pada sampel *base* yang terdapat di **Gambar 4.3** unsur aluminium dan magnesium merupakan Paduan utama dari material AA7075 begitu pula pada material AA7075 yang sudah melalui proses PEO terdapat unsur aluminium dan magnesium yang merupakan paduan utama dari material AA7075, pada material yang sudah melalui proses PEO terdapat unsur berupa Na yang berasal dari larutan elektrolit Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang digunakan dalam proses PEO,

pada hasil unsur seperti aluminium, oksigen, dan silicon mendominasi unsur yang dihasilkan dengan persentase melebihi 18% pada masing-masing unsurnya. Hal ini berbanding lurus dengan Analisa XRD yang sudah dilakukan sebelumnya bahwa pada lapisan, oksida yang terbentuk dari proses PEO terbentuk fasa  $Al_2O_3$  dan  $SiO_2$ .

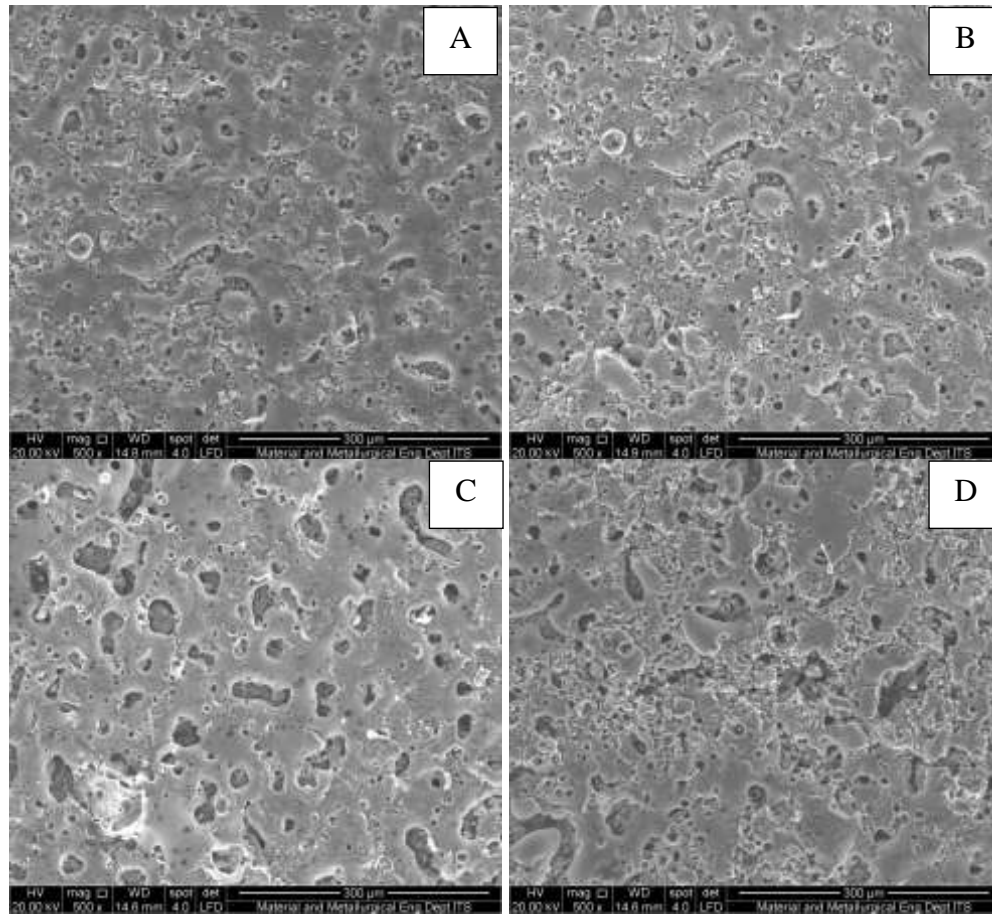
#### 4.4 Analisis Morfologi dan Ukuran Mikroskopi

Pada **Gambar 4.4** bagian A, terlihat morfologi dari sampel AA7075 *base* (tanpa perlakuan PEO) yang telah diamplas hingga grade 1500, terlihat goresan-goresan linier akibat dari proses pengamplasan pada permukaan sampel. Sementara itu, pada Gambar 4.4 bagian B, morfologi sampel AA7075 dengan perlakuan PEO pada variasi 325V/10 Menit terlihat dua bentuk morfologi khas dari pelapisan menggunakan metode PEO, yaitu pori-pori berukuran mikro yang dan *crater* (cekungan). Untuk membedakannya dalam lapisan PEO adalah bahwa pori-pori ini merupakan jalur keluarnya logam cair dari permukaan substrat ke elektrolit akibat dari *micro-arc discharge*, pori biasanya lebih kecil dan berbentuk bulat dan oval, pori memiliki tepi yang lebih halus dan tidak terlalu dalam, sedangkan *crater* adalah logam cair yang telah mendingin dan terdeposit di permukaan substrat, biasanya lebih besar dan memiliki bentuk cekungan yang jelas dengan tepi yang taja., *crater* sering kali terlihat seperti lubang besar yang dikelilingi oleh dinding yang lebih tinggi (Khorasani dkk, 2011). Munculnya dua bentuk morfologi dari PEO ini menyebabkan kekasaran lapisan pelapisan tidak merata di seluruh bagian spesimen.



**Gambar 4.4** Morfologi permukaan sampel, A) Tanpa PEO, B) Perlakuan PEO.

Pada **Gambar 4.5** dibawah ini merupakan morfologi dengan perbesaran 500x dari sampel AA7075 yang sudah diberikan perlakuan PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi, terlihat bahwa persebaran pori dan *crater* yang acak dan berbeda pada setiap variasinya.



**Gambar 4.5** Morfologi permukaan lapisan oksida hasil PEO menggunakan hasil SEM pada perbesaran 500x, A)325V-10 Menit, B)325V-15 Menit, C)350V-10 Menit, D)350V-15 Menit.

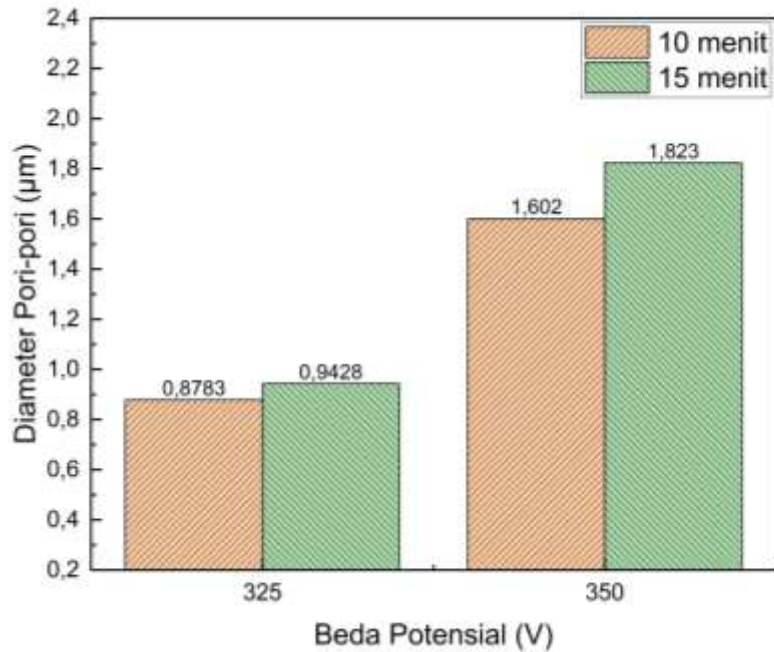
Pada **Tabel 4.2** nilai dari sampel AA7075 base dan sampel yang telah dilakukan perlakuan PEO dihitung nilai diameter pori-pori dan luasan porinya dan didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Nilai Diameter pori-pori dan Luasan pori.

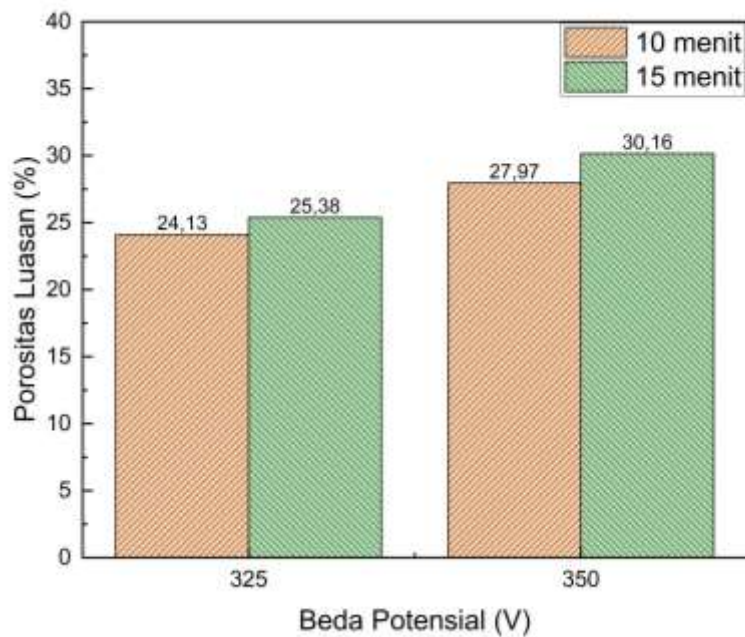
Sampel	Diameter Pori-pori ( $\mu\text{m}$ )	Luasan Pori (%)
base AA7075	0	0
PEO 325V/10 Menit	0.8783	24.13
PEO 350V/10 Menit	1.602	27.97
PEO 325V/15 Menit	0.9428	25.38
PEO 350V/15 Menit	1.823	30.16

Terlihat bahwa kenaikan voltase dan waktu oksidasi berpengaruh signifikan pada nilai diameter pori-pori dan luasan pori. Diameter pori-pori yang dihasilkan bervariasi dengan perubahan beda potensial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Peningkatan beda potensial secara signifikan memperbesar diameter pori-pori, dengan diameter terbesar tercatat pada beda potensial 350V/15 Menit yaitu 1.823 $\mu\text{m}$ . Namun, peningkatan diameter ini disertai dengan penurunan jumlah pori-pori yang terbentuk, seperti terlihat pada Gambar 4.6 bagian B dan D. Hal ini terjadi karena peningkatan beda potensial memberikan lebih banyak energi, menciptakan percikan plasma yang lebih besar dan banyak, yang memperbesar diameter pori-pori dan meningkatkan jumlah lelehan substrat yang keluar dari pori-pori, sehingga menutupi

pori-pori kecil di sekitarnya (Li dkk, 2023). Besarnya diameter pori-pori yang terbentuk dengan bertambahnya beda potensial juga meningkatkan porositas lapisan oksida yang terbentuk. **Tabel 4.2** menunjukkan hasil pengukuran porositas berdasarkan rasio luasan pori, dengan porositas terkecil pada sampel dengan beda potensial 325V/10 Menit yaitu 24.13% luasan, dan porositas terbesar pada sampel dengan beda potensial 350V/15 Menit yaitu 30.16% luasan.



**Gambar 4.6** Grafik pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap ukuran mikropori.

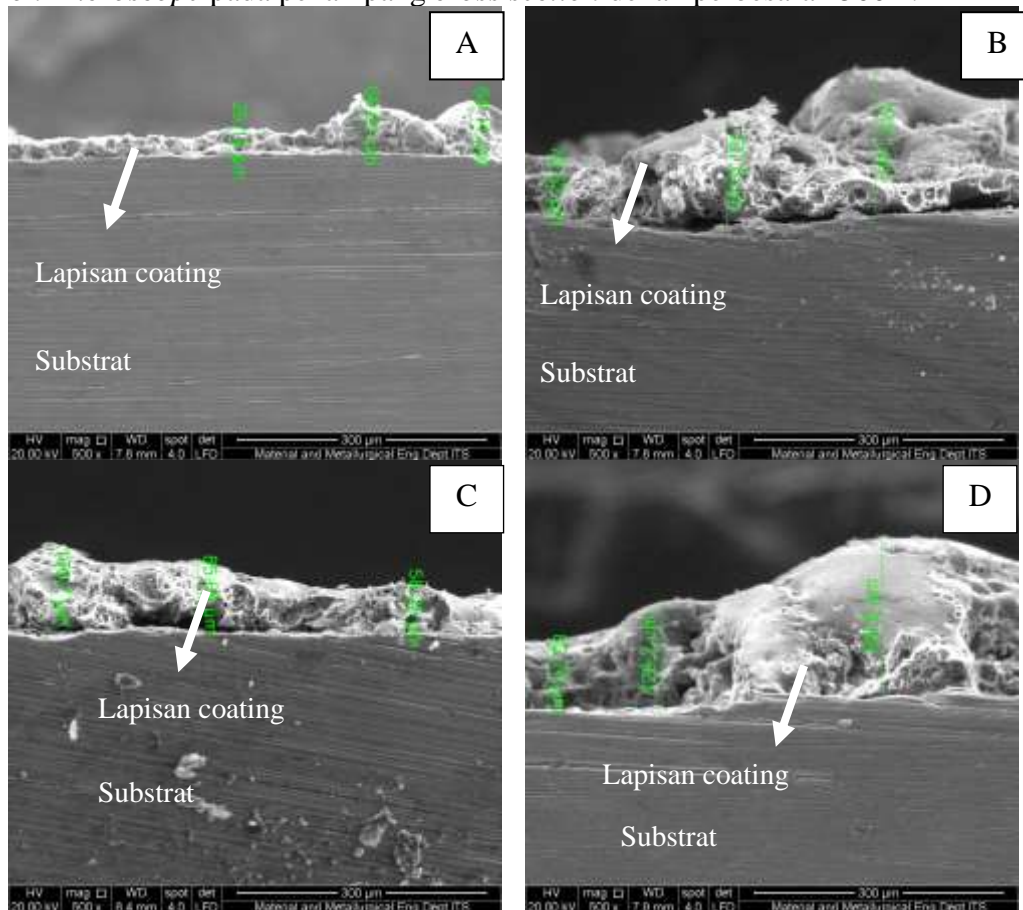


**Gambar 4.7** Grafik pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap luasan porositas.

Peningkatan waktu oksidasi PEO memiliki efek yang mirip dengan peningkatan beda potensial, yaitu memperbesar diameter pori-pori dan mengurangi jumlah pori-pori yang terbentuk, meskipun efeknya tidak sekuat peningkatan beda potensial. Hal ini terlihat pada Gambar 4.7, di mana tren peningkatan diameter pori-pori terus berlanjut. Peningkatan diameter ini disebabkan oleh suhu tinggi di titik percikan plasma, yang terus diselimuti oleh lelehan oksida yang dibekukan oleh elektrolit dingin. Untuk memecahkan lapisan tebal dan rata ini diperlukan energi yang lebih besar, sehingga pori-pori yang dihasilkan pada bagian yang tertutupi lelehan oksida menjadi lebih besar (Dudareva dkk, 2022). Peningkatan porositas lapisan oksida juga dapat diamati seiring bertambahnya waktu oksidasi, seperti pada **Gambar 4.7** Porositas terkecil terdapat pada sampel dengan variasi 325V/10 Menit yaitu 24.13% luasan, sedangkan porositas terbesar terdapat pada sampel dengan variasi 350V/15 Menit yaitu 30.16% luasan.

#### 4.5 Analisis Ketebalan Lapisan Oksida Hasil PEO

**Gambar 4.8** Berikut menampilkan penampang melintang dari sampel AA7075 hasil PEO dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi yang didapatkan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope* pada penampang *cross section* dengan perbesaran 500X.



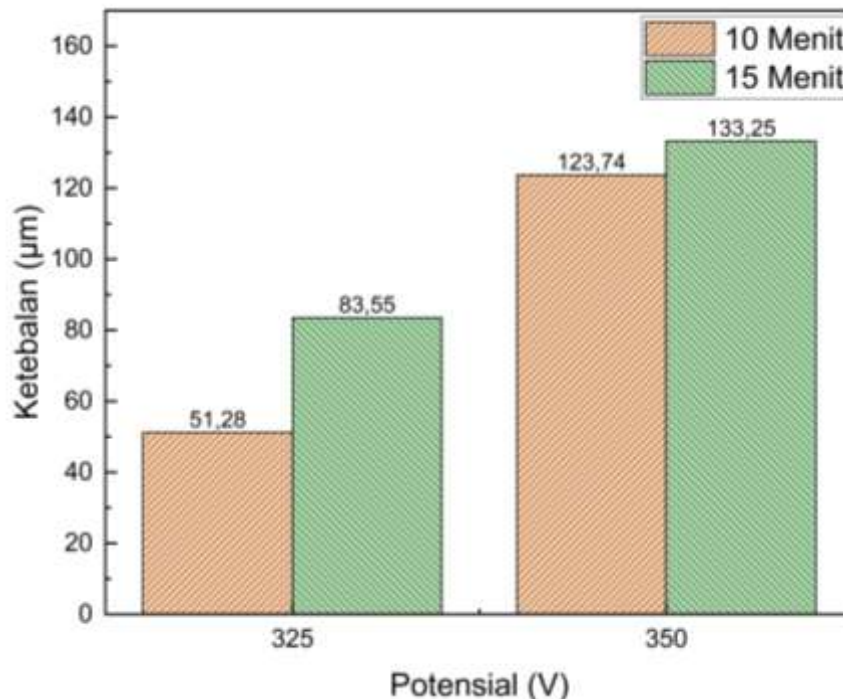
**Gambar 4.8** Ketebalan lapisan oksida hasil PEO perbesaran 500X. A)325V-10 Menit, B)350V-10 Menit, C)325V-15 Menit, D)350V-15 Menit.

Pada **Tabel 4.3** ditampilkan grafik ketebalan dari sampel AA7075 *base* dan sampel AA7075 dengan perlakuan PEO pada variasi beda potensial 325V,250V dan waktu oksidasi 10 dan 15 menit.

**Tabel 4.3** Ketebalan lapisan oksida hasil PEO.

Sampel (V/menit)	Ketebalan 1 ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan 2 ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan 3 ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
PEO 325/10	29,14	60,61	64,11	51,28
PEO 350/10	70,52	127,6	173,1	123,74
PEO 325/15	106,7	85,68	58,28	83,55
PEO 350/15	82,76	128,2	188,8	133,25

Nilai ketebalan pada Tabel 4.2 diplot pada Gambar 4.9 yang menampilkan grafik ketebalan dari sampel AA7075 base dan sampel AA7075 dengan perlakuan PEO pada variasi beda potensial 325V, 250V dan waktu oksidasi 10 dan 15 menit.



**Gambar 4.9** Grafik ketebalan lapisan oksida hasil PEO.

Pada sampel yang diberi perlakuan PEO lapisan oksida yang terbentuk memiliki ketebalan yang tidak merata hal ini terjadi karena titik pembentukan saluran *discharge* atau percikan plasma terjadi secara acak. Pengaruh beda potensial terhadap ketebalan lapisan oksida PEO dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dimana nilai ketebalan tertinggi dicapai pada variasi beda potensial 350V, yaitu sebesar 133,25  $\mu\text{m}$  pada waktu oksidasi 15 menit dan 123,74  $\mu\text{m}$  pada waktu oksida 10 menit, yang sekitar dua kali lebih besar dibandingkan ketebalan yang dihasilkan pada beda potensial 325V. Semakin besar beda potensial yang digunakan, semakin tebal lapisan oksida yang terbentuk. Peningkatan beda potensial memberikan lebih banyak energi dan menghasilkan lebih banyak percikan, yang dapat mempercepat pertumbuhan lapisan oksida (Teng dkk, 2016).

Nilai ketebalan lapisan oksida juga mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan waktu oksidasi PEO meskipun tidak sebesar pengaruh beda potensial, dengan ketebalan maksimum sebesar 133,25  $\mu\text{m}$  pada waktu oksidasi tertinggi yaitu 15 menit. Namun, peningkatan ketebalan ini semakin berkurang dan tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan pengaruh beda potensial, seperti yang ditunjukkan pada. Hal ini disebabkan oleh kerusakan lapisan oksida yang mudah terjadi pada awal pemberian arus, sehingga banyak titik



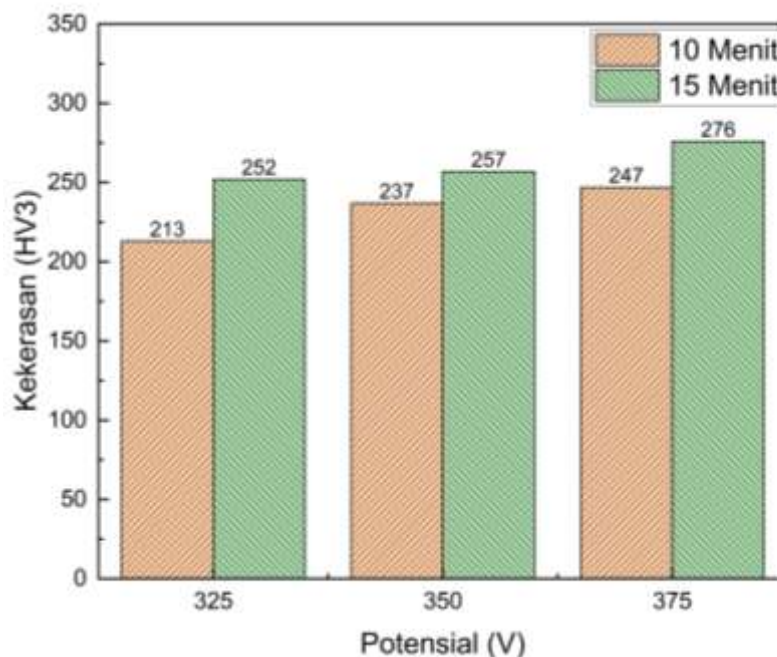
*discharge channel* atau percikan plasma pada permukaan lapisan dan densitas arus yang sangat besar menyebabkan pertumbuhan lapisan oksida yang cepat. Pertumbuhan lapisan ini akan terus terjadi hingga mencapai titik maksimum yang dapat dicapai dengan kondisi elektrolit dan potensial yang konstan (Jiang dkk, 2005). Ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan setelah proses PEO berkisar antara 51,27-133,26  $\mu\text{m}$ , nilai ketebalan ini masih termasuk dalam rentang ketebalan standar untuk sayap pesawat menurut U.S Patent (2017), yaitu 12,7-3175  $\mu\text{m}$ , sehingga dapat diaplikasikan untuk sayap pesawat.

#### 4.6 Analisis Kekerasan

Nilai kekerasan pada material didapatkan dengan menggunakan uji kekerasan Vickers, pada setiap sampel dilakukan pengujian dengan memberi beban sebesar 30 kgf selama 10 detik dan setelah itu dilakukan pengukuran diagonal indentasi  $d_1$  dan  $d_2$ . Hasil pengujian didapatkan nilai kekerasan seperti yang tertera pada **Tabel 4.4** yang menampilkan nilai kekerasan pada *base* dan material yang sudah melalui proses PEO, kemudian nilai kekerasan diplot dalam grafik yang tersedia pada **Gambar 4.10**.

**Tabel 4.4** Kekerasan permukaan *base* AA7075 dan perlakuan PEO AA7075.

Sampel	Beda Potensial (V)	Waktu Oksidasi (m)	Diagonal (mm)		Nilai Kekerasan (HV)
			$d_1$	$d_2$	
AA 7075	-	-	0.588	0.578	164
	325	-	0.524	0.498	213
	350	10	0.488	0.48	237
AA 7075 + PEO	375	-	0.464	0.486	247
	325	-	0.488	0.452	252
	350	15	0.418	0.48	257
	375	-	0.466	0.464	276



**Gambar 4.10** Grafik nilai kekerasan pada *base* AA7075 dan perlakuan PEO AA7075

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa beda potensial dan waktu oksidasi berpengaruh besar terhadap nilai kekerasan material, dimana terjadi peningkatan kekerasan pada material yang diberi perlakuan PEO jika dibandingkan dengan base material dan variasi lainnya. Terlihat bahwa hasil yang signifikan terlihat dari kenaikan kekerasan sebesar 29,9% pada material yang diberi perlakuan PEO dengan variasi 325V-10 Menit (213HV) jika dibandingkan dengan base material (164HV), kenaikan kekerasan juga terjadi pada saat waktu oksidasi lebih lama, dimana material yang diberi perlakuan PEO dengan variasi 325V-15 Menit (252HV) mengalami kenaikan sebesar 18,3% jika dibandingkan dengan material yang diberi perlakuan PEO dengan variasi 325V-10 Menit (213HV).

Kekerasan material ditentukan oleh fase yang terbentuk pada lapisan tersebut. Fase dengan kandungan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi akan menunjukkan kekerasan yang tinggi, sementara kandungan alumina amorfus yang tinggi serta kandungan aluminium yang masih tinggi pada hasil uji XRD menunjukkan kekerasan yang relatif lebih rendah. Hal ini sesuai dengan hasil uji XRD yang telah dilakukan pada sub-bab 4.2, dimana analisis fasa pada logam dasar, perlakuan PEO dengan variasi 325V- 10 Menit, dan perlakuan PEO dengan variasi 325V- 15 menit menunjukkan intensitas fase aluminium yang masih sangat tinggi. Sebaliknya, hasil uji XRD pada perlakuan PEO dengan variasi 375V-10 Menit dan perlakuan PEO dengan variasi 375V/15 Menit menunjukkan kandungan aluminium yang tidak terlalu tinggi serta diikuti peningkatan intensitas  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sehingga menghasilkan kekerasan lapisan yang tinggi. Pada logam dengan kandungan aluminium yang relatif tinggi seperti pada base, perlakuan PEO 325V/10 Menit, dan perlakuan PEO 325V/15 Menit indentasi akan terlihat jelas dan lebar sedangkan pada perlakuan PEO 375V/10 Menit dan 375V/15 Menit terlihat samar dan kurang jelas sehingga mengakibatkan pembacaan diagonal yang sempit, hal ini bisa terjadi karena pembentukan lapisan oksida yang tidak optimal, dimana pada waktu oksida (10 Menit), lapisan oksida yang terbentuk tidak lebih tebal dibandingkan dengan perlakuan PEO waktu oksida yang lebih tinggi (15 Menit) , hal ini mentebabkan lapisan oksida menjadi lebih renggang dan kurang padat, sehingga nilai kekerasannya menurun.

Nilai kekerasan lapisan juga bertambah pada saat meningkatnya tegangan yang diberikan selama proses PEO. Hal ini disebabkan karena pada tegangan yang lebih tinggi, terjadi transformasi fase dari  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih mungkin terjadi. Fase  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki struktur kristal yang lebih stabil dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Oleh karena itu, peningkatan voltase dapat meningkatkan proporsi  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam lapisan oksida, yang berkontribusi pada peningkatan kekerasan lapisan (Wang, dkk 2013). Maka variasi yang paling baik dan sesuai untuk aplikasi pesawat pada 375V/15 menit yaitu sebesar 276 HV (MRS Bulletin, 2015).

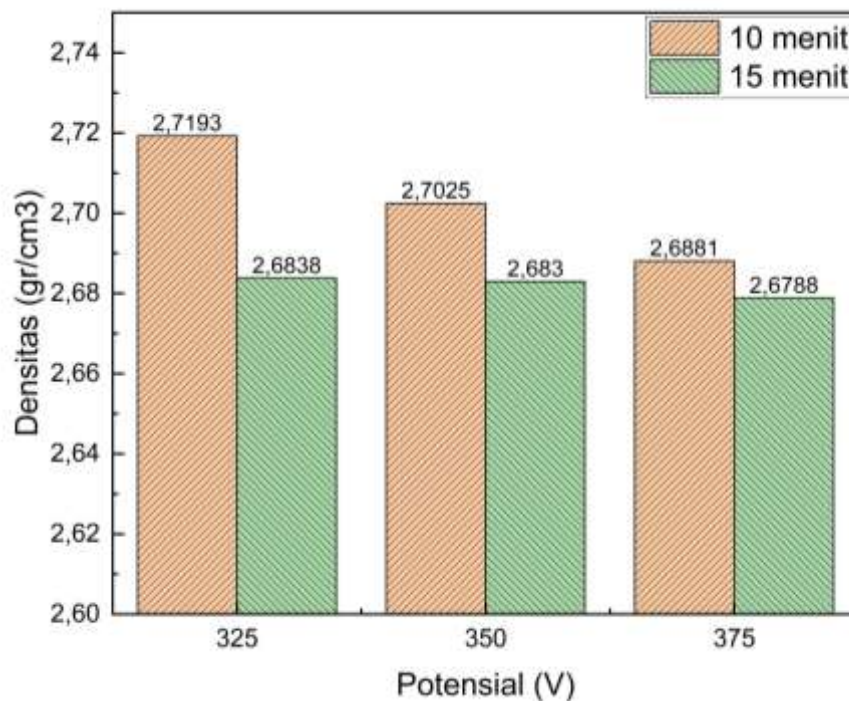
#### 4.7 Analisis Densitas

Pada **Tabel 4.5** dibawah merupakan hasil pengujian densitas dengan metode pengukuran massa jenis dengan menggunakan timbangan analitik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu oksidasi dan beda potensial pada perlakuan PEO terhadap laju kepadatan material hasil PEO dan dapat juga memberikan informasi tentang porositas, Dimana nilai densitas berbanding terbalik dengan luasan porositas, dengan kata lain semakin kecil nilai densitas, semakin besar pula nilai luasan porositasnya.

**Tabel 4.5** Hasil hasil pengujian Densitas

Sampel	Variasi		Massa Sampel (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
	Beda Potensial (V)	Waktu Oksidasi (m)			
<i>Base</i> AA7075	-	-	20,5558	7,54	2,7262
AA7075 + PEO	325	-	20,5041	7,54	2,7193
	350	10	20,3774	7,54	2,7025
	375	10	20,2685	7,54	2,6881
	325	15	20,2364	7,54	2,6838
	350	15	20,2305	7,54	2,6830
	375	15	20,1987	7,54	2,6788

Data hasil pengujian densitas pada **Tabel 4.5** diplot dalam **Gambar 4.11** Berikut:



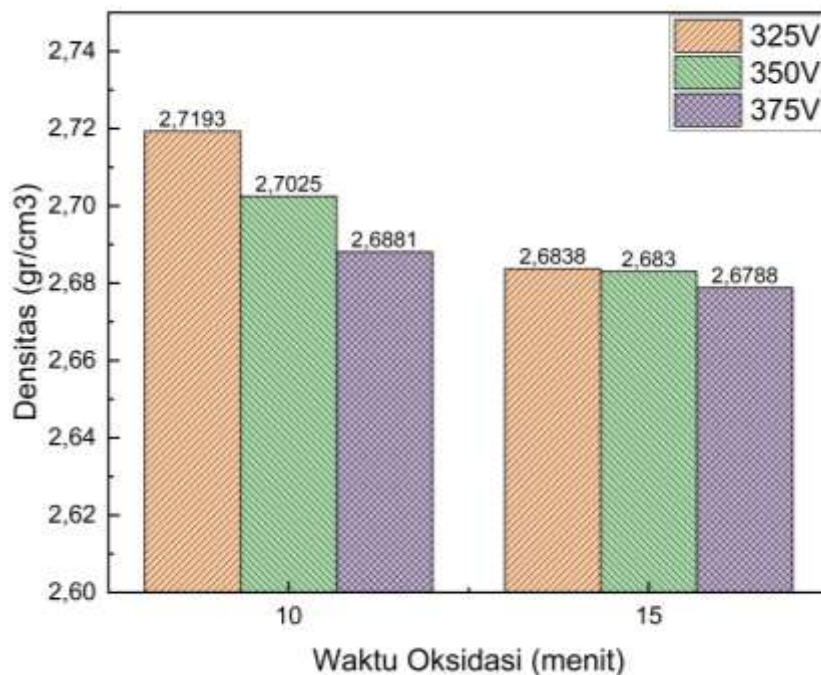
**Gambar 4.11** Grafik pengaruh beda potensial PEO terhadap nilai densitas pada AA7075

Dari **Gambar 4.11** diatas terlihat bahwa sampel *base* AA7075 menunjukkan nilai densitas yang paling besar mencapai 2,762 gr/cm<sup>3</sup>. Sebaliknya, sampel yang telah melalui proses PEO menunjukkan nilai yang lebih kecil, yaitu berkisar diantara 2,6787 gr/cm<sup>3</sup> hingga 2,7194 gr/cm<sup>3</sup> lebih tinggi dibandingkan sampel *base*. Nilai densitas pada variasi PEO 325V/10 menit, 350V/10 menit, dan 375V/10 menit berturut-turut adalah 2,7193 gr/cm<sup>3</sup>, 2,7025 gr/cm<sup>3</sup>, dan 2,6881 gr/cm<sup>3</sup>; dan pada variasi PEO 325V/15 menit, 350V/15 menit, dan 375V/15 menit berturut-turut adalah 2,6838 gr/cm<sup>3</sup>, 2,683 gr/cm<sup>3</sup>, dan 2,6788 gr/cm<sup>3</sup>; dari data ini, dapat disimpulkan bahwa nilai densitas terendah dimiliki oleh sampel dengan beda potensial 375V, sedangkan ketahanan oksidasi tertinggi dimiliki oleh sampel dengan beda potensial 325V.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Song, dkk (2017), hal ini mungkin disebabkan oleh tingginya porositas pada sampel dengan beda potensial 375V yang lebih dari 30,16%, sehingga memungkinkan oksigen mengisi ruang kosong sehingga massa material tersebar dalam volume lebih besar, sedangkan sampel dengan beda potensial 325V yang memiliki

porositas lebih rendah, yaitu masing-masing 24,13% pada variasi 10 menit dan 27,97% pada variasi 15 menit.

**Gambar 4.12** menunjukkan hasil pengujian densitas dari sampel PEO dengan variasi waktu oksidasi. Data laju korosi, pada variasi waktu oksidasi PEO 325V/10 menit, 325V/15 menit, dan 350V/10 menit, 350V/15 menit, 375V/10 menit, dan 375V/15 menit berturut-turut adalah 2,7193 gr/cm<sup>3</sup>, 2,7025 gr/cm<sup>3</sup>, 2,6881 gr/cm<sup>3</sup>, 2,6838 gr/cm<sup>3</sup>, 2,683 gr/cm<sup>3</sup>, dan 2,6788 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai densitas pada waktu oksidasi PEO 10 menit lebih tinggi dibandingkan sampel dengan waktu oksidasi PEO 15 menit. Nilai densitas yang lebih rendah pada PEO variasi 15 menit ini disebabkan oleh porositasnya yang lebih besar, yaitu melebihi 30,16%, sedangkan sampel dengan waktu oksidasi PEO 10 menit memiliki porositas masing-masing sebesar 24,129% dan 25,378%.



**Gambar 4.12** Grafik pengaruh waktu oksidasi PEO terhadap nilai densitas pada AA7075

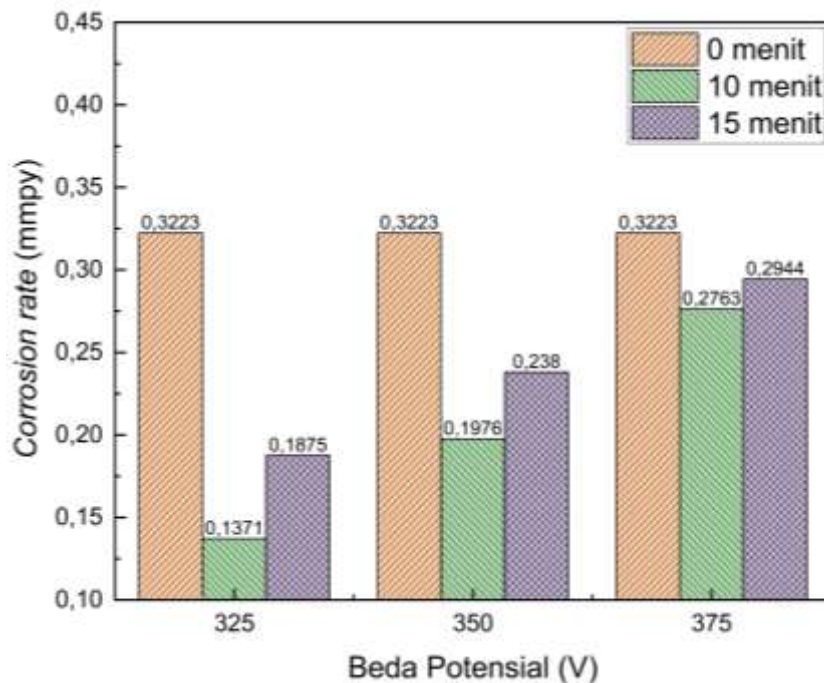
Nilai densitas terkecil ditemukan pada sampel dengan beda potensial 375V dan waktu oksidasi 15 menit, dengan nilai densitas sebesar 2,6788 gr/cm<sup>3</sup>. Dalam aplikasi pesawat variasi yang paing baik dan sesuai adalah variasi 325V/15 menit dengan nilai densitas 2,7025 (Aglawe, dkk 2023).

#### 4.8 Analisis Ketahanan Korosi

Pada **Tabel 4.6** dibawah merupakan hasil pengujian korosi dengan metode *weight loss* pada temperature ruangan, pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *salt spray* selama 7 hari penuh (168 jam). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu oksidasi dan beda potensial pada perlakuan PEO terhadap laju korosi sampel *base* AA7075 dan AA7075 yang telah di-PEO. Data hasil pengujian laju korosi diplot dalam **Gambar 4.13**.

**Tabel 4.6** Data hasil pengujian laju korosi.

Sampel	Variasi		Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih berat (gr)	Corrosion rate (mmpy)
	Beda Potensial (V)	Waktu Oksidasi (m)				
Base AA7075	-	-	4,1612	4,1442	0,017	$3,2232 \times 10^{-2}$
AA 7075 + PEO	325	10	4,7429	4,7361	0,0068	$1,3715 \times 10^{-2}$
	350		4,067	4,0572	0,0098	$1,9766 \times 10^{-2}$
	375		4,3138	4,3001	0,0137	$2,7632 \times 10^{-2}$
	325	15	4,4626	4,4533	0,0093	$1,8757 \times 10^{-2}$
	350		4,2915	4,2797	0,0118	$2,3800 \times 10^{-2}$
	375		4,328	4,3134	0,0146	$2,9447 \times 10^{-2}$



**Gambar 4.13** Grafik pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap nilai laju korosi pada AA7075

Dari **Gambar 4.13** diatas terlihat bahwa sampel *base* AA7075 menunjukkan nilai laju korosi yang paling besar mencapai  $0,3223 \text{ mmpy}$ . Sebaliknya, sampel yang telah melalui proses PEO menunjukkan nilai yang lebih kecil, yaitu berkisar diantara  $0,138 \text{ mmpy}$  hingga  $0,295 \text{ mmpy}$  lebih tinggi dibandingkan sampel *base*. Nilai korosi pada variasi PEO 325V/10 menit, 350V/10 menit, dan 375V/10 menit berturut-turut adalah  $0,1371 \text{ mmpy}$ ,  $0,1976 \text{ mmpy}$ , dan  $0,2763 \text{ mmpy}$ ; dan pada variasi PEO 325V/15 menit, 350V/15 menit, dan 375V/15 menit berturut-turut adalah  $0,1875 \text{ mmpy}$ ,  $0,238 \text{ mmpy}$ , dan  $0,2945 \text{ mmpy}$ ; dari data ini, dapat disimpulkan bahwa laju korosi tertinggi dimiliki oleh sampel dengan beda potensial 375V, sedangkan ketahanan oksidasi terendah dimiliki oleh sampel dengan beda potensial 325V. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Song et al. (2017), hal ini mungkin disebabkan oleh tingginya porositas pada sampel dengan beda potensial 375V yang lebih dari 30,16%, sehingga memungkinkan oksigen untuk berdifusi dan mengoksidasi substrat lebih tinggi

dibandingkan sampel dengan beda potensial 325V yang memiliki porositas lebih rendah, yaitu masing-masing 24,13% pada variasi 10 menit dan 27,97% pada variasi 15 menit.

**Gambar 4.13** menunjukkan hasil pengujian laju korosi dari sampel PEO dengan variasi waktu oksidasi. Data laju korosi, pada variasi waktu oksidasi PEO 325V/10 menit, 325V/15 menit, dan 350V/10 menit, 350V/15 menit, 375V/10 menit, dan 375V/15 menit berturut-turut adalah 0,1371 *mmpy*, 0,1875 *mmpy*, 0,1976 *mmpy*, 0,238 *mmpy*, 0,2763 *mmpy*, dan 0,2945 *mmpy*. Ketahanan korosi pada waktu oksidasi PEO 10 menit lebih tinggi dibandingkan sampel dengan waktu oksidasi PEO 15 menit. Adanya peningkatan laju korosi pada sampel dengan waktu oksidasi PEO 15 menit ini disebabkan oleh porositasnya yang lebih besar, yaitu melebihi 30,16%, sedangkan sampel dengan waktu oksidasi PEO 10 menit memiliki porositas masing-masing sebesar 24,129% dan 25,378%.

Ketahanan oksidasi terbaik ditemukan pada sampel dengan beda potensial 325V dan waktu oksidasi 10 menit, dengan nilai laju korosi sebesar 0,1371 *mmpy*, dengan nilai tersebut variasi 325V/10 menit menjadi yang paling baik dan sesuai untuk aplikasi sayap pesawat (Aglawe, dkk 2023).

#### 4.9 Analisis Keausan dan Koefisien Gesek

Pengujian aus pada penelitian ini menggunakan alat *pin on disc tribometer*. Hasil yang didapatkan berupa massa aus dan koefisien gesek. Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam melakukan pengujian *pin on disc tribometer*. Pada **Tabel 4.7** berikut menunjukkan parameter yang digunakan:

**Tabel 4.7** Parameter Pengujian Koefisien Gesek dan Aus.

Parameter Data Input	
RPM	327 rpm
Gaya	30 N
Waktu	10 menit
Wear Track	21 mm

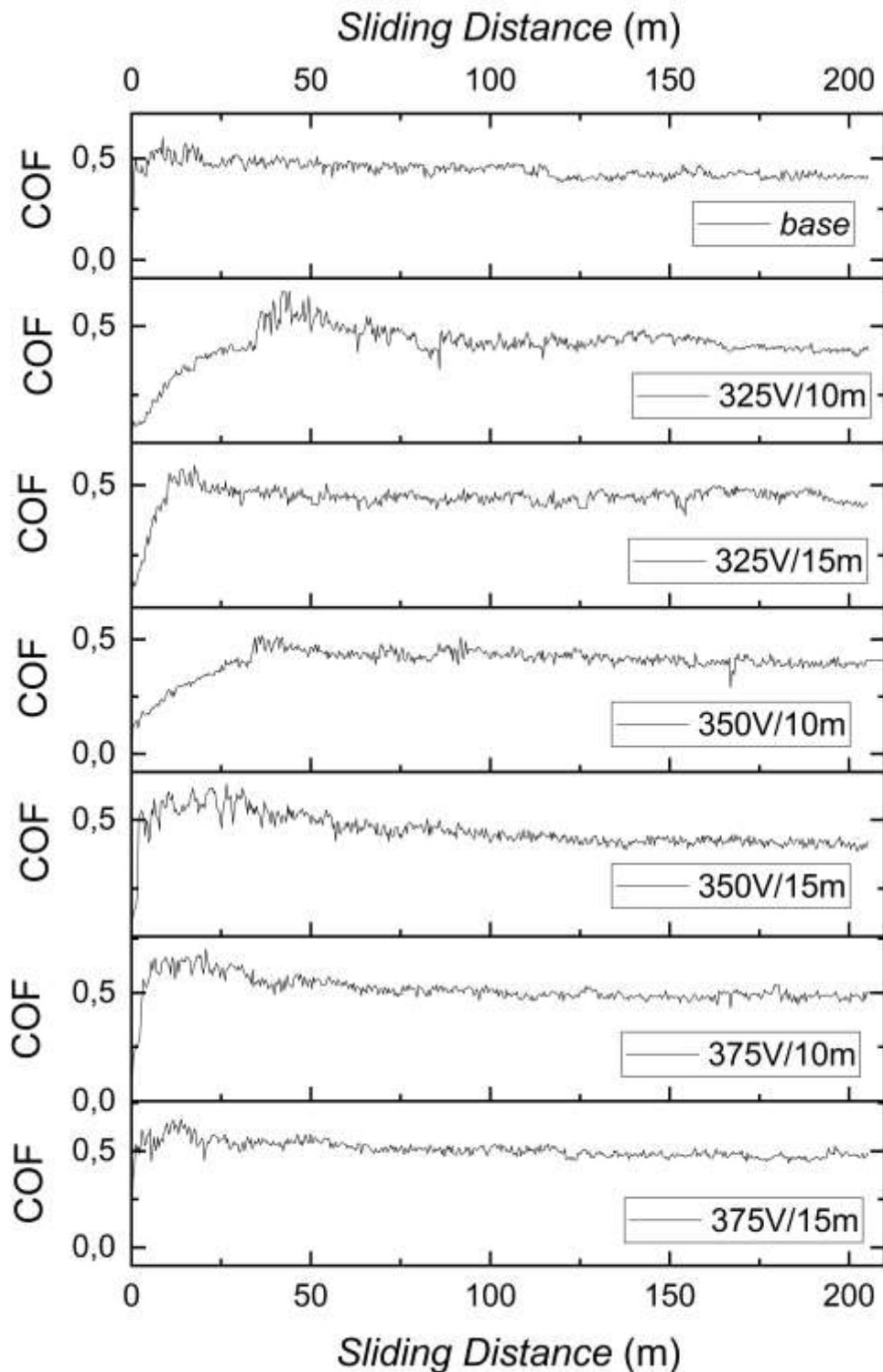
**Tabel 4.8** dibawah ini merupakan hasil pengujian aus dan koefisien gesek yang didapatkan setelah pengujian:

**Tabel 4.8** Hasil Pengujian Keausan.

Sampel	Variasi		Massa Sampel Awal (gr)	Massa Sampel Akhir (gr)	Total Massa Aus (gr)	Koefisien Gesek rata-rata
	Beda Potensial(V)	Waktu Oksidasi (menit)				
AA7075	-	-	20,932	20,917	0,019	0,402865
	325		20,201	20,186	0,018	0,439359
	350	10	20,192	20,175	0,018	0,445257
AA 7075 + PEO	375		20,26	20,242	0,0181	0,493712
	325		20,371	20,353	0,017	0,433012
	350	15	20,225	20,206	0,017	0,454598
	375		20,526	20,509	0,015	0,507575

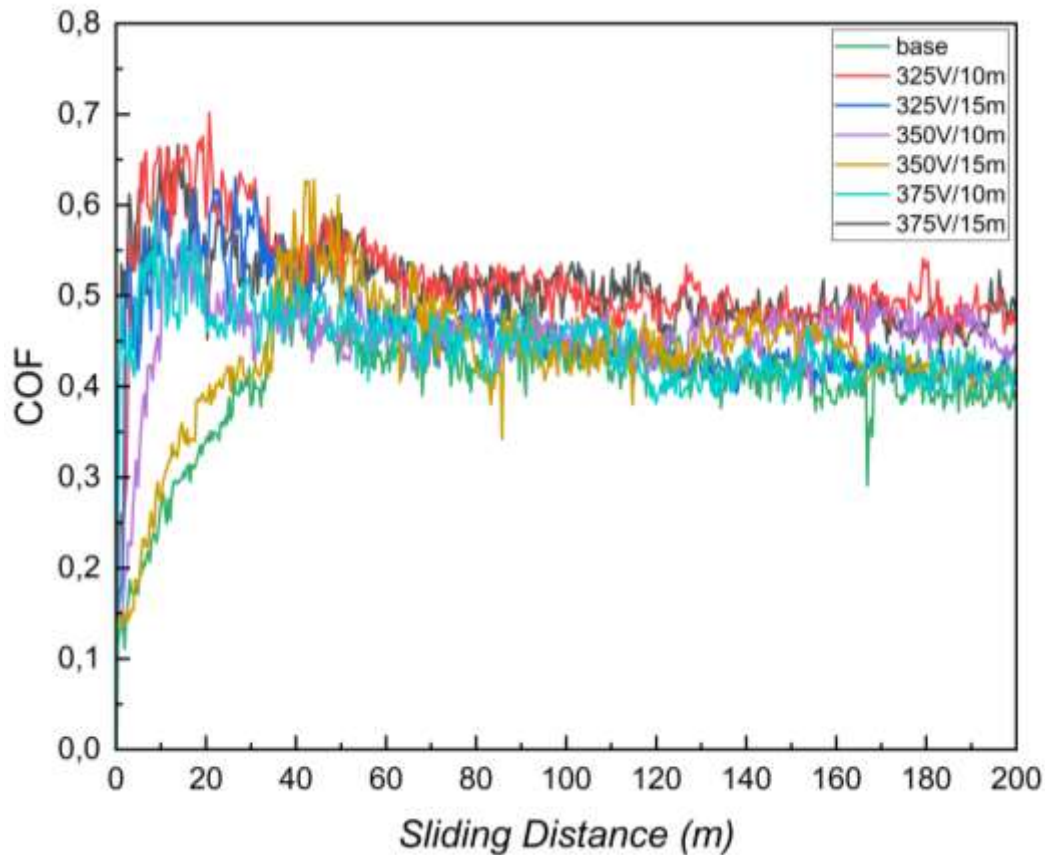
Hasil pengujian keausan pada **Tabel 4.8** diplot dalam **Gambar 4.14** berikut untuk melihat pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi PEO terhadap nilai keausan dan koefisien gesek sampel AA7075. Pada **Gambar 4.14** ditampilkan koefisien gesek pada AA7075 dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi. Parameter pengujian diperhitungkan dengan

menyesuaikan aplikasi dari penelitian yaitu pada bagian sayap pesawat secara umum. Pengujian dilakukan pada lingkungan kering dengan suhu kamar.



**Gambar 4.14** Hasil Koefisien Gesek terhadap *sliding distance*

Untuk membantu dalam perbandingan data koefisien pada setiap variasi digabungkan seperti pada **Gambar 4.16** berikut:



**Gambar 4.15** Gabungan Hasil Koefisien Gesek terhadap *sliding distance* pada setiap variasi.

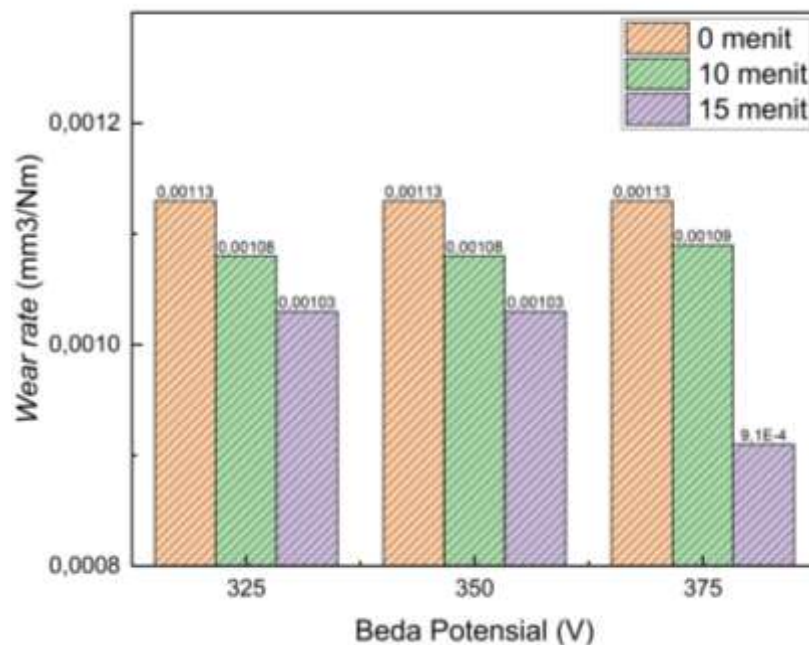
Hasil pengujian tribologi pada material AA7075 diperuntukkan untuk mengukur koefisien gesekan dengan parameter yang telah ditetapkan sebelumnya. Dari hasil yang didapatkan, *base* AA7075 tanpa pelapisan memiliki nilai COF yang cenderung lebih rendah dibanding dengan AA7075 yang diberi perlakuan PEO, hal ini menandakan bahwa *base* AA7075 memiliki kekasaran permukaan yang rendah karena tidak memiliki pelapis di permukaannya. Sedangkan nilai COF yang lebih tinggi ditemukan pada material yang diberi perlakuan PEO, dimana nilai COF tertinggi didapatkan pada variasi 375V/15 menit dengan nilai rata-rata COF mencapai 0,507575 sekitar 25% lebih tinggi jika dibandingkan dengan *base* yang hanya memiliki nilai rata-rata COF sebesar 0,402865, nilai rata-rata COF cenderung naik pada saat kenaikan beda potensial dan waktu oksidasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Egorkin, dkk (2015) kekasaran permukaan mampu meningkatkan nilai COF, permukaan yang kasar mampu meningkatkan kontak fisik antara dua permukaan yang bergesekan. Tingginya nilai COF pada saat peningkatan nilai beda potensial dan waktu oksidasi diakibatkan oleh pertumbuhan pori yang signifikan dan menyebabkan permukaan menjadi kasar, terlihat dari **Gambar 4.15** puncak pada material yang di PEO cenderung berada di atas material *base*.

Pada **Tabel 4.9** di bawah ini merupakan hasil perhitungan nilai laju keausan pada *base* 7075 dan pada AA7075 yang telah diberikan perlakuan *coating* PEO, nilai pada **Tabel 4.9** kemudian diplot pada **Gambar 4.15** untuk mempermudah mengetahui pengaruh beda potensial dan waktu oksidasi terhadap nilai laju keausan.



**Tabel 4.9** Hasil Nilai *Wear Rate*

Sampel	Variasi		Total Massa Aus (gr)	Densitas (gr/mm <sup>3</sup> )	Jarak Tempuh (m)	<i>Wear Rate</i> (mm <sup>3</sup> /Nm)
	Beda Potensial(V)	Waktu Oksidasi (menit)				
AA7075	-	-	0,019	0,0027262	205,212	0,00113
	325		0,018	0,0027193	205,323	0,00108
	350	10	0,018	0,0027025	205,17	0,00108
AA 7075 + PEO	375		0,0181	0,0026881	205,32	0,00109
	325		0,017	0,0026838	205,441	0,00103
	350	15	0,017	0,002683	205,239	0,00103
	375		0,015	0,0026788	205,211	0,00091



**Gambar 4.16** Grafik *Wear Rate*..

Hasil perhitungan laju keausan didapatkan dengan menggunakan rumus yang telah dibahas sebelumnya, dari **Gambar 4.16** terlihat bahwa *base* AA7075 memiliki nilai laju keausan yang paling besar yaitu sebesar 0,00113 mm<sup>3</sup>/Nm, nilai laju keausan semakin turun dengan meningkatnya nilai beda potensial dan waktu oksidasi pada PEO, terlihat dari gambar pada variasi waktu oksidasi 375V/10 menit nilai laju keausan sebesar 0,00109 mm<sup>3</sup>/Nm dan mengalami penurunan sebesar 0,00018 mm<sup>3</sup>/Nm pada variasi 375V/15 menit; pada variasi beda potensial 350V/15 menit nilai kelajuan sebesar 0,00103 dan mengalami penurunan pada variasi beda potensial 375/15 menit menjadi 0,00091 mm<sup>3</sup>/Nm. Jika mengacu pada rumus yang digunakan maka nilai laju keausan mengalami peningkatan pada saat massa keausan meningkat dan pada saat massa jenis (densitas) menurun sehingga dapat disimpulkan luasan porositas yang semakin tinggi akan menurunkan nilai laju keausan. Dengan nilai tersebut variasi 375V/15 menit menjadi yang paling baik dan sesuai untuk aplikasi sayap pesawat (Aglawe, dkk 2023).

Nilai semua pengujian diplot dalam **Tabel 4.10** berikut ini untuk memudahkan mengetahui pengaruh variasi beda potensial dan waktu oksidasi terhadap sifat mekanik dan tahan korois AA 7075:

**Tabel 4.10** Nilai Keseluruhan Pengujian

Sampel	Variasi		Nilai Kekerasan (HV)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Corrosion rate (mmpy)	Wear Rate (mm <sup>3</sup> /Nm)
	Beda Potensial(V)	Waktu Oksidasi (menit)				
AA7075	-	164	2,7262	$3,2232 \times 10^{-2}$	205,212	0,00113
	325	213	2,7193	$1,3715 \times 10^{-2}$	205,323	0,00108
	350	237	2,7025	$1,9766 \times 10^{-2}$	205,17	0,00108
AA 7075 + PEO	375	247	2,6881	$2,7632 \times 10^{-2}$	205,32	0,00109
	325	252 257	2,6838	$1,8757 \times 10^{-2}$	205,441	0,00103
	350		2,6830	$2,3800 \times 10^{-2}$	205,239	0,00103
	375		2,6788	$2,9447 \times 10^{-2}$	205,211	0,00091

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Analisis dan pembahasan dari data yang didapatkan dalam penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan seperti berikut:

1. Hasil Pengujian EDX menunjukkan bahwa lapisan oksida ini terdiri dari unsur Al, Si, O, Na, dan Mg. Pada peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi akan meningkatkan diameter pori-pori, luasan pori, dan juga ketebalan. Dari pengujian XRD didapatkan senyawa  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub> yang didapatkan setelah diberikan perlakuan *coating* PEO pada material. Hasil pengujian SEM menunjukkan bahwa sampel AA7075 yang di-PEO memiliki ukuran diameter pori, luasan porositas, dan ketebalan yang meningkat dengan bertambahnya beda potensial dan waktu oksidasi PEO dengan nilai tertinggi ada pada variasi 375V/15 menit dengan diameter pori, luasan porositas, dan ketebalan secara berturut-turut adalah 1,823  $\mu$ m, 30,16% luasan, dan 133,25  $\mu$ m.
2. Ketahanan korosi terbaik dimiliki oleh sampel dengan variasi 325V/10 menit dengan nilai laju korosi 0,013715 *mmpy*. Peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi akan menurunkan ketahanan korosi dari sampel AA7075, hal ini terjadi karena porositas yang semakin besar akan meningkatkan difusi oksigen kedalam substrat dan terjadinya oksidasi substrat.
3. Kekerasan terbaik dimiliki oleh sampel dengan variasi 375V/15 menit dengan nilai kekerasan sebesar 276HV. Peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi akan meningkatkan nilai kekerasan dari sampel AA7075, hal ini dapat terjadi karena pada peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi, nilai kandungan aluminium akan berkurang serta diikuti peningkatan intensitas  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang memiliki nilai kekerasan yang baik. Nilai tahan aus terbaik didapatkan dari nilai laju keausan dimana semakin besar nilai laju keausan maka semakin buruk nilai tahan ausnya, kesimpulan dari pengujian bahwa peningkatan beda potensial dan waktu oksidasi menurunkan laju keausan dengan kata lain meningkatkan tahan aus material AA7075 dimana nilai laju keausan didapatkan pada variasi 375V/10 menit dengan nilai laju keausan sebesar 0,00091

### 5.2 Saran

Analisis dan pembahasan dari data yang telah didapatkan dalam penelitian ini menghasilkan beberapa saran seperti berikut:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan metode PEO dengan nilai beda potensial yang lebih tinggi untuk mengetahui perubahan yang terjadi yang mungkin dapat meningkatkan ketahanan mekanik material.
2. Pada saat melakukan pengujian *salt spray* agar menempatkan spesimen pada posisi yang sama agar kontak dengan larutan HCl juga merata sehingga mendapatkan efek korosifitas yang merata juga.
3. Menggunakan timbangan analitis digital dengan ketelitian 0,00001 gram sehingga didapatkan data massa yang lebih akurat yang sangat diperlukan pada perhitungan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aglawe, K., Giri, S., Dhande, M., & Shelare, S. (2023). Application of aluminum alloys in aviation industry: A Review. *THE FOURTH SCIENTIFIC CONFERENCE FOR ELECTRICAL ENGINEERING TECHNIQUES RESEARCH (EETR2022)*. <https://doi.org/10.1063/5.0163002>
- Ali, S., Susanti, D., Nurdiansah, H., Refsita, L., & Husna, A. (2019). Analisis Pengaruh Durasi Iradiasi terhadap Struktur Graphene Hasil Sintesis dengan Metode Microwave-Assisted Solvothermal untuk Aplikasi Superkapasitor. *Graphene*, 6.
- Anil K. Maini, d. (2014). *Satellite Techonology*. UK: John Wiley & Sons.
- ASM. (1994). *ASM Metal Handbook Surface Engineering Vol 5*.
- ASM. (2003). *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*. ASM Metal Handbook .
- Auerkari, P. (1996). *Mechanical and Physical Properties of Engineering Alumina Ceramics*. Finland: Technical Research .
- Babak Haghghat-Shishavana, R. A.-K.-S.-S. (2019). Improving wear and corrosion properties of alumina coating on AA7075. *Applied Surface Science*.
- Boyer, R. R., Cotton, J. D., Mohaghegh, M., & Schafrik, R. E. (2015). Materials Considerations for Aerospace Applications. *MRS Bulletin*, 40(12), 1055–1066. <https://doi.org/10.1557/mrs.2015.278>
- Campbel, F. C. (2006). *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*. USA: Elsevier .
- Dudareva, N. Yu., Kolomeichenko, A. V., Deev, V. B., & Sitdikov, V. M. (2022). Porosity of oxide ceramic coatings formed by Micro-Arc oxidation on high-silicon aluminum alloys. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 16(6), 1308–1314. <https://doi.org/10.1134/s1027451022060362>
- Dynys, F. J. (1982). Alpha Alumina Formation in Alum Derived Gamma Alumina . *Journal of American Ceramic Society*, 442-448.
- Egorkin, V., Vyaliy, I., Sinebryukhov, S., & Gnedenkov, S. (2015). Duty cycle of the polarizing signal influence on morphology and properties of the PEO-coating on aluminium alloy. *Solid State Phenomena*, 245, 121–129. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.245.121>
- Erratum for the research article “Fast growth of single-crystal covalent organic frameworks for laboratory x-ray diffraction” by J. Han et al . (2024). *Science*, 384(6691). <https://doi.org/10.1126/science.adp4377>
- J, K. (1998 ). *Effect Of Shot Peening On Stress Corrosion Cracking On Austenitic Stainless Steel*. Marsaw: International Conference of Shot Peening 7th.
- J.R., D. (2001). *Handbook of Thermal Spray Technology*. Ohio: ASM International.
- Jiang, B. L. (2010). “*Plasma electrolytic oxidation treatment of aluminium and titanium alloys* . England: Woodhead Publishing.
- Jiang, Z. e. (2005). Effect of the Oxidation Time on Properties of Ceramic Coatings Produced on Ti-6Al-4V by Micro-Arc Oxidation. *Journal of Materials Science and Technology*, 281-283.
- Kaisar, I. (2017). *Studi Analisa Kegagalan pada AFT* . Surabaya: Departemen Teknik Material ITS.
- Khorasanian, M. D. (2011). *Microstructure and Wear Resistance of Oxide Coatings on Ti-6Al-4V Produced by Plasma Electrolytic Oxidation in An Inexpensive Electrolyte*. Iran: Elsevier 1499.
- Kumar, M. d. (2014). Plasma Electrolytic Oxidation in Surface Modification of Metals for electronics. *Journal of Welding and Joining* , 32, 3: 27-33.

- Lamouri, S., Hamidouche, M., Bouaouadja, N., Belhouchet, H., Garnier, V., Fantozzi, G., & Trellat, J. F. (2017). Control of the  $\gamma$ -alumina to  $\alpha$ -alumina phase transformation for an optimized alumina densification. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 56(2), 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2016.10.001>
- Li, B., Fan, L., Bai, J., He, J., Su, J., Wang, S., Deng, C., Liu, S., & Zhang, Z. (2023). Study on porosity of thermal-sprayed commercially pure aluminum coating. *Materials*, 16(19), 6612. <https://doi.org/10.3390/ma16196612>
- Li, Q. L. (2013). Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Lightweight Metals. *licensee InTech*, 76-77.
- Lugovskoy, A. d. (2013). Plasma Electrolytic Oxidation of Valve Metals.
- Maciver, D. H. (1963). Catalyst Aluminas I Surface Chemistry of Eta and Gamma Alumina. *Journal of Catalyst*, 485-497.
- Motwani, T. S. (2006). *Dielectric Properties of Starch Slurries as Influenced by Starch Concentration and Gelatinization*. USA: The Pennsylvania State University.
- Nastaran Barati, J. J. (2022). Microstructural evolution of ceramic nanocomposites coated on 7075 Al. *Surface & Coatings Technology*.
- Patel J L., S. N. (2001). Microplasmic Coating. *am ceram soc bull*, 27-29.
- Rachtanapun, P. P. (2012). Effect of Sodium Hydroxide Concentration on Properties of Carboxymethyl Rice Starch. *International Food Research Journal* 19, 923-931.
- Rahmawati, Z. S. (2010). *Pengaruh Ti Terhadap Ketahanan korosi pada paduan Aluminium*. Fakultas Teknologi Industri Universitas Indonesia.
- Rosyidin, A. (2016). *Perbaikan, Dampak Korosi pada Pesawat Udara Boeing 737*. Tangerang: Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- SAKTI, M. A. (2020). *PENGARUH VARIASI BEDA POTENSIAL DAN WAKTU OKSIDASI TERHADAP STRUKTUR, MORFOLOGI DAN KETAHANAN OKSIDASI TEMPERATUR TINGGI DARI PADUAN Ti-6Al-4V DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION UNTUK APLIKASI FAN BLADE MESIN PESAWAT*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sheasby P.G., P. R. (2001). *The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys Vol. 1 6th Ed*. UK: Finishing Publications.
- Song, B. B. (2017). Role of Oxides and Porosity on High-Temperature Oxidation of Liquid-Fueled HVOF Thermal-Sprayed Ni50Cr Coatings. *Journal Thermal Spray Technology*, 554-568.
- Suherman, W. (1999). *Ilmu Logam 2*. Surabaya: ITS Press.
- Tako, M. T. (2012). *The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation*. Japan: Kagoshima University.
- Teng, Y. e. (2016). *Influence of Voltage on Microstructure of Micro-Arc Oxide Films on TC4 Titanium Alloy*. Switzerland: Trans Tech Publication.
- U.S Patent. 2017. US 9,587,645 B2. Longueuil: Pratt & Whitney Canada Corp.
- Uhi, H. (2006). Pemanfaatan Gelatin Tepung Sagu (Metroxylon sago) sebagai Bahan Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Ilmu Ternak*, Vol 6 no 2, 108-111.
- V, H. (2002). *Anodic oxidation of aluminium and its alloys*. England: Pergamon Oress.
- Vedyagin, A. A., Volodin, A. M., Stoyanovskii, V. O., Kenzhin, R. M., Plyusnin, P. E., Shubin, Y. V., & Mishakov, I. V. (2016). Effect of alumina phase transformation on stability of low-loaded pd-rh catalysts for CO oxidation. *Topics in Catalysis*, 60(1–2), 152–161. <https://doi.org/10.1007/s11244-016-0726-4>
- Volynets V D, G. P. (1991). Electrochemical nature of the thermally stimulated currents of MOM structures. 1371-1376.

- W., F. (1990). *Material Science, Testing, and Properties for Technicians*. New Jersey: Prentice Hall Career & Technology.
- Wang, Y. L., Wang, M., Zhou, M., Li, B. J., Amoako, G., & Jiang, Z. H. (2013). Microstructure characterisation of alumina coating on steel by PEO. *Surface Engineering*, 29(4), 271–275. <https://doi.org/10.1179/1743294412y.0000000084>
- Wibowo, A. T. (2014). *Pengaruh Heat Treatment T6 pada Aluminium Alloy 6061-O dan Pengelasan Transversal Tungsten Inert Gas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Yerokhin, d. (2005). Alumina- zirconia coatings produced by Plasma Electrolytic Oxidation on Al alloy for corrosion resistance improvement. *Journal of Alloys and Compound*.
- Zhu, L. (2016). *A mechanism for the growth of a plasma electrolytic oxide coating on Al*. *Electrochimica Acta*.
- Zolotarjovs, A., Piksens, R., Smits, K., Vitola, V., Tunens, G., Einbergs, E., Zarins, A., & Kizane, G. (2022). Chromium luminescence in plasma electrolytic oxidation coatings on aluminum surface. *Coatings*, 12(11), 1733. <https://doi.org/10.3390/coatings12111733>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*




## LAMPIRAN

### A. Komposisi Unsur AA7075

PRODUCT QUALITY CERTIFICATE										
NO.GY19070501										
产品名称 Product	Aluminium Sheet			合金状态 Alloy&Temper			A7075&T651			
技术标准 Technique Standard	ASTM B209			化学成分标准 Chemical Composition Standard			ASTM B209			
化学成分 (%) Chemical Composition										
批号 Lot No	元素 规格 size	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	/Al
3190852	6X1220X2440	0.07	0.18	1.49	0.06	2.58	0.20	5.64	0.02	余量 Remainder
3190853	10X1220X2440	0.07	0.18	1.49	0.06	2.58	0.20	5.64	0.02	余量 Remainder
3190854	20X1220X2440	0.07	0.18	1.5	0.06	2.64	0.22	5.65	0.02	余量 Remainder
3190855	60X1220X2440	0.07	0.18	1.5	0.06	2.64	0.22	5.65	0.02	余量 Remainder
机械性能 Mechanical Properties										
批号 Lot No	抗拉强度(Mpa) Tensile Strength	屈服强度(Mpa) Yield Strength	延伸率(%) Elongtion	杯突值 (mm) Erichsen Number						
GY186877	560	488	12.5	/						
GY186878	577	510	13							
GY186879	568	500	11.5							
GY186880	576	502	11	/						
备注 Notes	Quality, Enviroment and Occupational Health & Safety Management System have Ceried as per GB/T 19000-2000, GB/T24001-2004 and GB/T28001-2004.									

Inspector: 

Date: 2019-07-05



## B. Data ICDD

### 1. Al

#### Name and formula

Reference code: 03-065-2869  
 Compound name: Aluminum  
 PDF index name: Aluminum  
 Empirical formula: Al  
 Chemical formula: Al

#### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
 Space group: Fm-3m  
 Space group number: 225  
 a (Å): 4,0497  
 b (Å): 4,0497  
 c (Å): 4,0497  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 90,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,70  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 66,42  
 Z: 4,00  
 RIR: 4,30

#### Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or ~~intermetallic~~  
 Inorganic  
 NIST Pattern  
 Quality: Calculated (C)

#### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 N AL3279 208. Temperature Factor: IB=Al  
 Additional Patterns: See PDF 85-1327.

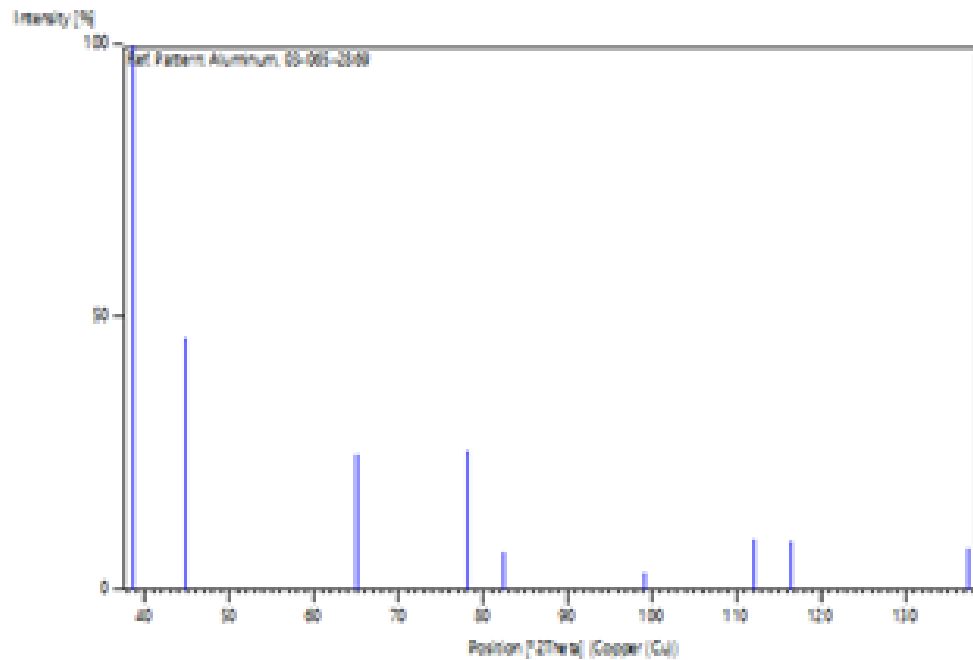
#### References

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*  
 Structure: ~~M.E. Straumanis, J. Appl. Phys., 20, 726, (1949)~~

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2,33810	38,471	100,0
2	2	0	0	2,02485	44,720	46,1
3	2	2	0	1,43178	65,095	24,7
4	3	1	1	1,22103	78,227	25,6
5	2	2	2	1,16905	82,434	7,1
6	4	0	0	1,01242	99,078	3,1
7	3	3	1	0,92906	112,015	9,3
8	4	2	0	0,90554	116,565	8,8
9	4	2	2	0,82664	137,448	7,4

### Stick Pattern



## 2. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Name and formula

Reference code: 00-001-1304  
 Compound name: Aluminum Oxide  
 PDF index name: Aluminum Oxide  
 Empirical formula: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 Chemical formula: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 3,30  
 RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
 Inorganic  
 Quality: Low precision (O)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
 Modification Date: 01/01/1970  
 Deleted Or Rejected By: Delete: see Berry comments August 31, 1956. Reference reports hexagonal. Optical Data: A=1.65, B=1.68, Sign=-. Aluminum Research Lab.

### References

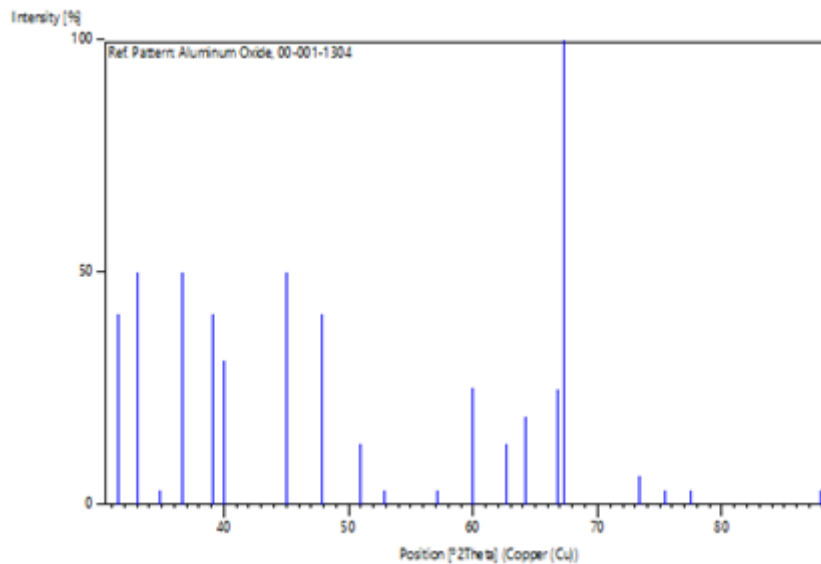
Primary reference: Alumnum Co. of America, New Kensington, PA, USA., *Private Communication*

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				2,84000	31,475	41,0
2				2,71000	33,027	50,0
3				2,57000	34,882	3,0
4				2,45000	36,650	50,0
5				2,30000	39,135	41,0
6				2,25000	40,041	31,0

7	2,01000	45,068	50,0
8	1,90000	47,835	41,0
9	1,79000	50,978	13,0
10	1,73000	52,880	3,0
11	1,61000	57,168	3,0
12	1,54000	60,026	25,0
13	1,48000	62,728	13,0
14	1,45000	64,179	19,0
15	1,40000	66,763	25,0
16	1,39000	67,307	100,0
17	1,29000	73,330	6,0
18	1,26000	75,374	3,0
19	1,23000	77,549	3,0
20	1,11000	87,889	3,0

### Stick Pattern



### 3. Si

#### Name and formula

Reference code: 00-047-1186  
Compound name: Silicon  
PDF index name: Silicon  
Empirical formula: Si  
Chemical formula: Si

#### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P6/mmm E  
Space group number: 191  
a (Å): 2,4630  
b (Å): 2,4630  
c (Å): 2,3260  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 12,22  
Z: 1,00  
RIR: -

#### Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient pressure  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Quality: Blank (B)

#### Comments

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Sample Preparation: Silicon powder was ground from high-purity ingots and loaded into a diamond anvil cell. Intensities read by editor. Primitive hexagonal phase, 36 GPa pressure. High degree of texture. D-values obtained by energy dispersive diffraction.

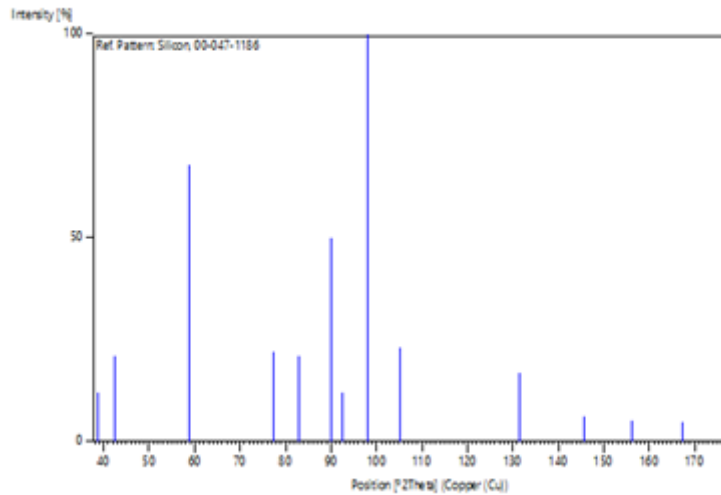
#### References

Primary reference: Duclos, S., Vohra, Y., Ruoff, A., *Phys. Rev. B: Condens. Matter*, **41**, 12021, (1990)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	2,32000	38,784	12,0
2	1	0	0	2,12900	42,423	21,0
3	1	0	1	1,57200	58,683	68,0
4	1	1	0	1,23200	77,400	22,0
5	0	0	2	1,16300	82,957	21,0
6	1	1	1	1,08800	90,144	50,0
7	2	0	0	1,06600	92,540	12,0
8	1	0	2	1,02100	97,956	100,0
9	2	0	1	0,96900	105,300	23,0
10	1	1	2	0,84500	131,454	17,0
11	2	1	0	0,80600	145,767	6,0
12				0,78700	156,351	5,0
13	0	0	3	0,77500	167,373	5,0
14	2	1	1	0,76200		9,0
15	1	0	3	0,72900		12,0
16	3	0	0	0,71100		1,0

**Stick Pattern**



#### 4. SiO<sub>2</sub>

##### Name and formula

Reference code:	01-079-1914
Mineral name:	Quartz
Compound name:	Silicon Oxide
Common name:	Silicon oxide - alpha
ICSD name:	Silicon Oxide
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Si
Chemical formula:	SiO <sub>2</sub>

##### Crystallographic parameters

Crystal system:	Hexagonal
Space group:	P3121
Space group number:	152
a (Å):	4,5940
b (Å):	4,5940
c (Å):	5,2000
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	120,0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	3,15
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	95,04
Z:	3,00
RIR:	2,76

##### Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient pressure
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern Inorganic Mineral Pharmaceutical
Quality:	Calculated (C)

##### Comments

ICSD collection code:	067125	
Creation Date:	01/01/1970	
Modification Date:	01/01/1970	
ICSD Collection Code:	067125	
Calculated Pattern Original Remarks:	REM	K Isotropic temperature factors obtained from room press



Calculated Pattern Original Remarks: REM refinement. Refinement was constrained to have a twin fr  
Calculated Pattern Original Remarks: REM of .035+3., REM PRE 9500 MPa  
Temperature Factor: ITF. High-pressure crystal chemistry and amorphization of alpha quartz. c a (P3121). AX2.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)  
Structure: Hazen, R.M., Finger, L.W., Hemley, R.J., Mao, H.K., *Solid State Commun.*, **72**, 507, (1989)

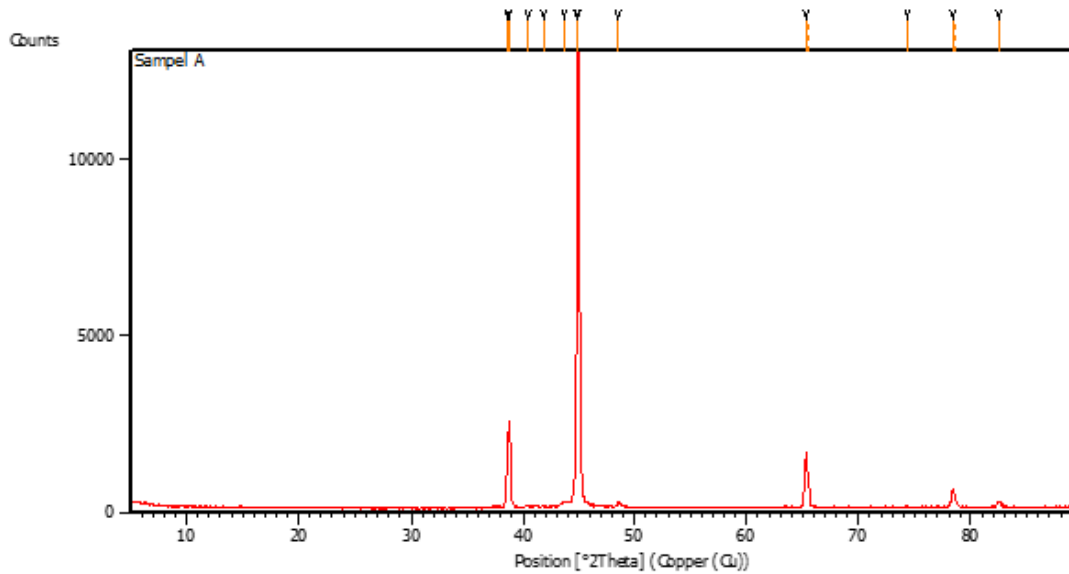
### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	3,97852	22,328	18,2
2	1	0	1	3,15977	28,220	100,0
3	1	1	0	2,29700	39,188	15,7
4	0	1	2	2,17646	41,455	16,8
5	1	1	1	2,10114	43,013	4,9
6	2	0	0	1,98926	45,564	7,8
7	2	0	1	1,85795	48,988	1,0
8	0	0	3	1,73333	52,771	1,9
9	1	1	2	1,72143	53,164	7,1
10	1	0	3	1,58907	57,992	1,8
11	0	2	2	1,57988	58,362	7,0
12	2	1	0	1,50374	61,628	0,6
13	1	2	1	1,44455	64,450	9,6
14	1	1	3	1,38360	67,661	2,4
15	3	0	0	1,32617	71,020	0,2
16	0	2	3	1,30683	72,235	4,9
17	2	1	2	1,30171	72,564	7,3
18	3	0	1	1,28504	73,659	5,9
19	0	1	4	1,23571	77,125	4,1
20	0	3	2	1,18137	81,391	2,6
21	2	2	0	1,14850	84,242	0,4
22	1	2	3	1,13587	85,400	2,5
23	1	1	4	1,13137	85,821	1,3
24	2	2	1	1,12147	86,765	1,6
25	3	1	0	1,10344	88,548	2,9

### Stick Pattern

### C. Hasil Pengujian XRD

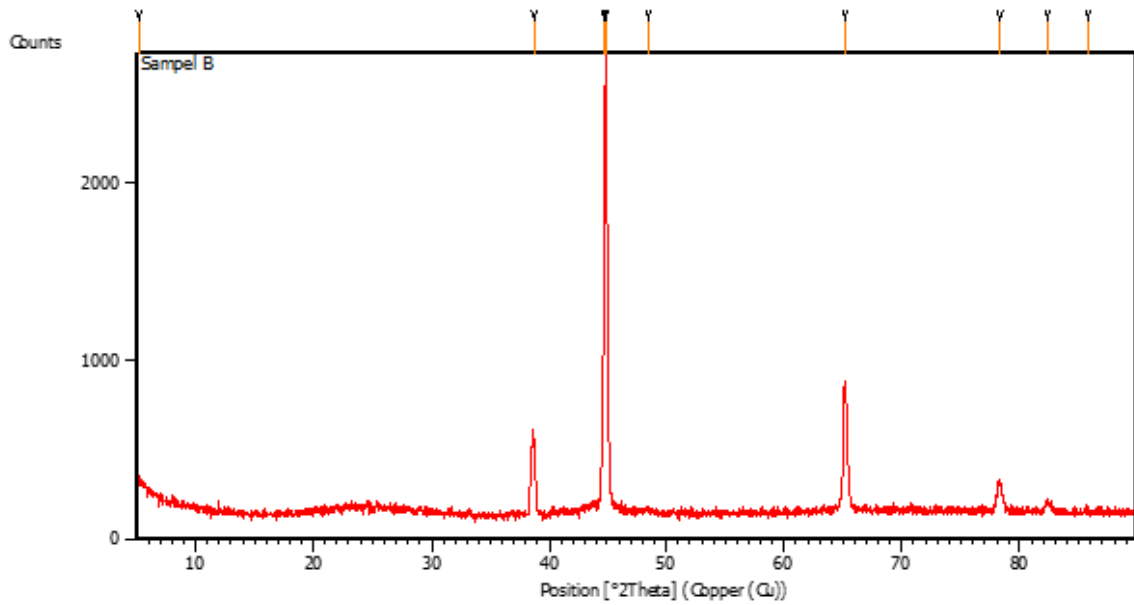
#### 1. base AA7075



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
38.6340	1810.66	0.1224	2.32864	14.12
38.7519	2401.76	0.1338	2.32374	18.74
40.4323	42.29	0.2007	2.23096	0.33
41.7714	38.91	0.2676	2.16249	0.30
43.7491	146.86	0.1004	2.06921	1.15
44.8094	4737.19	0.0612	2.02101	36.95
45.0035	12818.92	0.1840	2.01441	100.00
48.5912	146.62	0.1673	1.87373	1.14
65.2978	1499.81	0.1836	1.42783	11.70
65.5002	792.68	0.1020	1.42744	6.18
74.3474	15.31	0.6528	1.27484	0.12
78.4007	485.16	0.2448	1.21876	3.78
78.6352	282.57	0.1428	1.21873	2.20
82.4823	167.03	0.2448	1.16848	1.30

## 2. 325V/10menit



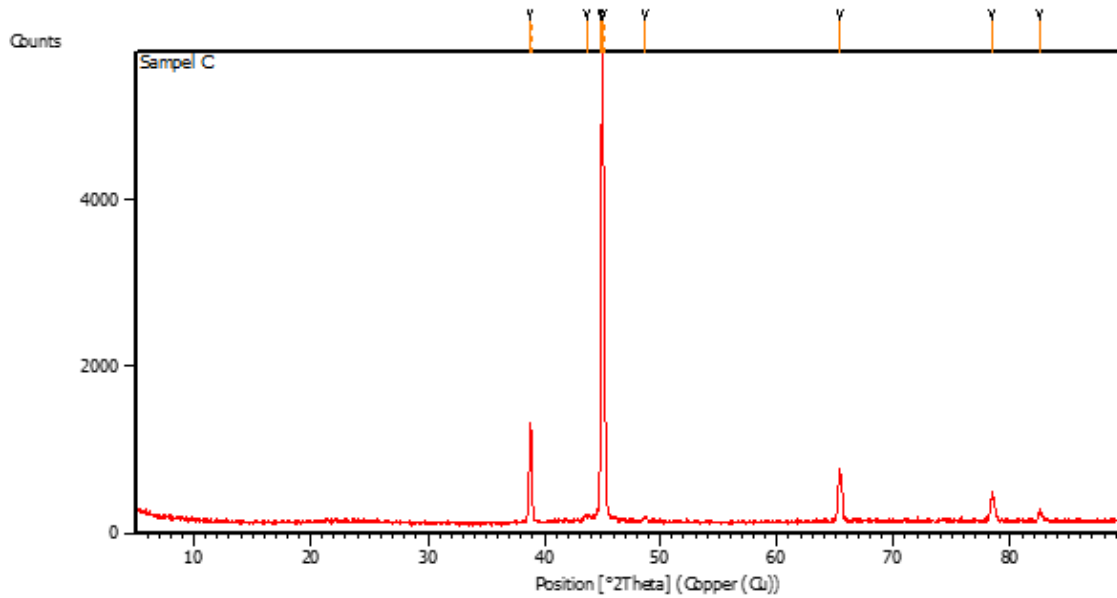
### Peak List: (Bookmark 3)



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.1856	84.31	0.4015	17.04196	3.32
38.7481	392.52	0.1171	2.32397	15.46
44.7742	2247.97	0.1020	2.02251	88.55
44.8706	2538.67	0.1506	2.02006	100.00
48.4860	17.39	0.8029	1.87755	0.68
65.1859	705.19	0.4015	1.43119	27.78
78.3296	166.36	0.1673	1.22070	6.55
82.3345	52.16	0.2007	1.17118	2.05
85.7756	12.86	0.4015	1.13279	0.51



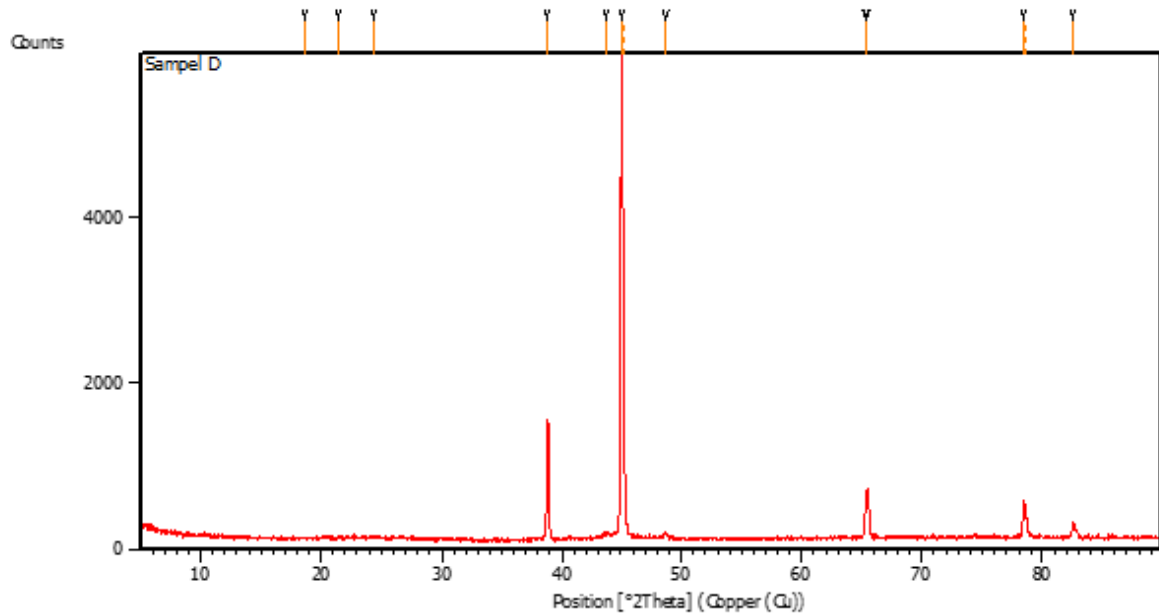
### 3. 325V/15menit



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
38.7558	1164.41	0.1224	2.32160	20.77
38.8770	940.61	0.1020	2.32039	16.78
43.6798	48.32	0.4896	2.07062	0.86
44.9219	2939.13	0.1020	2.01621	52.44
45.0858	5605.08	0.2244	2.00926	100.00
45.2218	2653.90	0.0816	2.00851	47.35
48.7181	57.67	0.3264	1.86760	1.03
65.3622	605.48	0.1836	1.42658	10.80
78.4224	352.39	0.0816	1.21848	6.29
82.5059	96.67	0.1632	1.16821	1.72

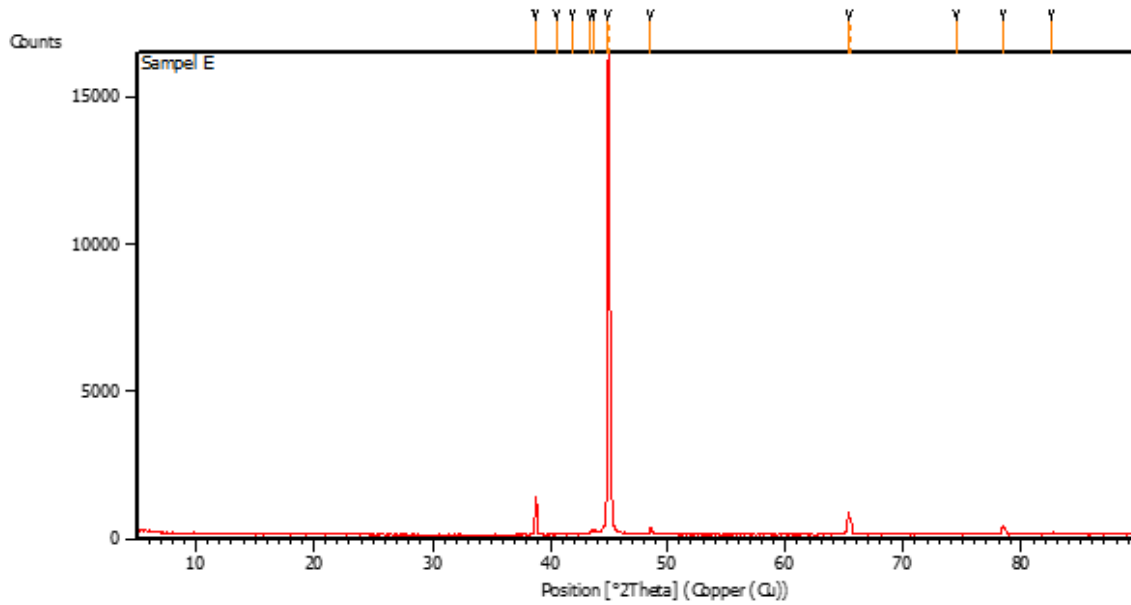
#### 4. 350V/10menit



#### Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
18.6994	9.27	0.2342	4.74541	0.16
21.3705	23.17	0.1171	4.15793	0.40
24.3190	12.99	0.4684	3.66008	0.22
38.8025	1377.48	0.1338	2.32083	23.60
43.7379	46.34	0.4015	2.06971	0.79
45.0460	5837.14	0.2244	2.01094	100.00
45.2060	2773.11	0.0612	2.00917	47.51
48.7101	48.87	0.2448	1.86789	0.84
65.3209	495.50	0.1020	1.42738	8.49
65.4144	580.02	0.0816	1.42557	9.94
78.4663	429.51	0.1428	1.21791	7.36
78.7047	251.56	0.1224	1.21783	4.31
82.5612	160.24	0.1632	1.16757	2.75

### 5. 350V/15menit



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
38.7104	819.13	0.0612	2.32422	5.19
38.8023	1251.89	0.1338	2.32084	7.94
40.5141	56.65	0.1338	2.22664	0.36
41.8702	20.45	0.3346	2.15761	0.13
43.4345	87.79	0.1338	2.08346	0.56
43.7351	143.15	0.1004	2.06984	0.91
44.9932	15775.52	0.2244	2.01318	100.00
45.1334	9241.06	0.0612	2.01223	58.58
48.5655	166.17	0.1224	1.87311	1.05
65.3493	776.56	0.1836	1.42683	4.92
65.5567	387.16	0.1224	1.42635	2.45
74.4384	22.76	0.4896	1.27350	0.14
78.4298	294.68	0.1224	1.21838	1.87
82.5287	67.13	0.2040	1.16794	0.43

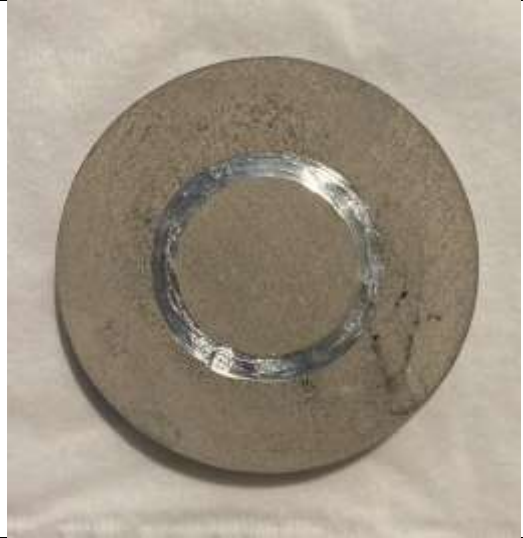
**D. Hasil Pengujian Tribologi**

Sampel	Visual
<p><i>Base AA7075</i></p>	
<p><b>325V/10 menit</b></p>	
<p><b>325V/15 menit</b></p>	






<p><b>350V/10 menit</b></p>	
<p><b>350V/15 menit</b></p>	
<p><b>375V/10 menit</b></p>	





**375V/15 menit**

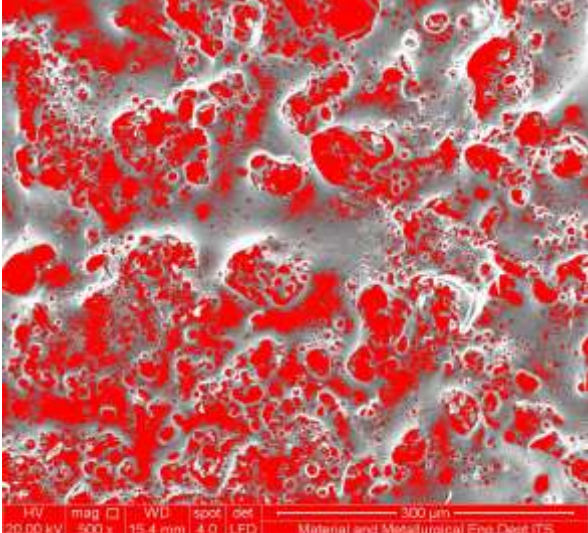
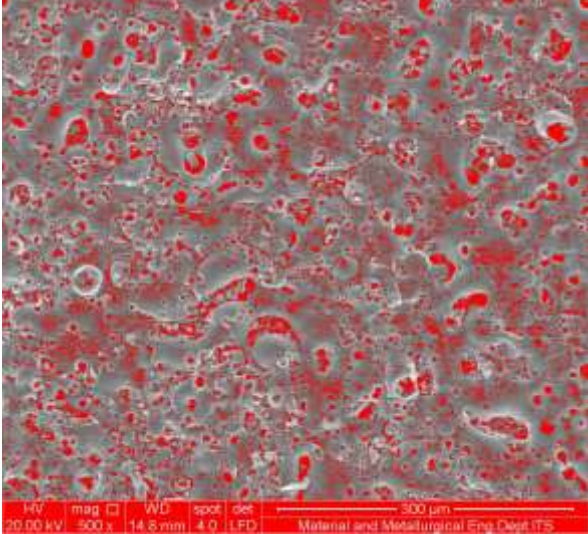
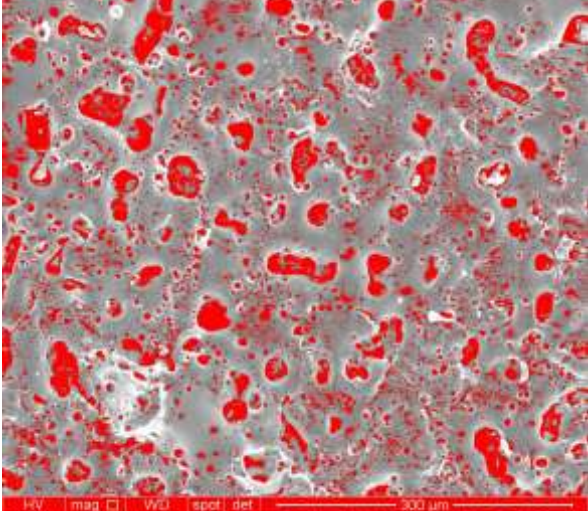


**E. Hasil Pengujian Salt Spray**

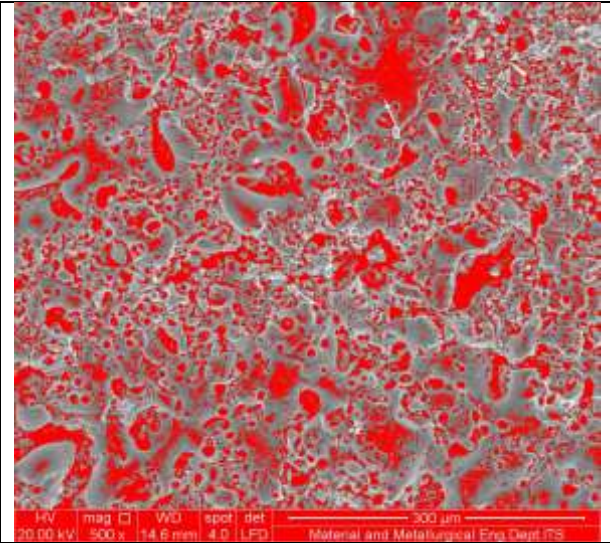
Sampel	Visual
<i>Base AA7075</i>	
325V/10 menit	
325V/15 menit	
350V/10 menit	
350V/15 menit	

<p><b>375V/10 menit</b></p>			
<p><b>375V/15 menit</b></p>			

**F. Perhitungan Jumlah Mikropori dan Luasan Pori Menggunakan Aplikasi Image J**

Sampel	Visual
<p style="text-align: center;"><b>325V/10 Menit</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>325V/15 Menit</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>350V/10 Menit</b></p>	

**350V/15 Menit**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah ikut berperan serta terhadap penelitian Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Bapak Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Prof. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku dosen yang memberikan pemikiran juga topik tugas akhir ini dan telah membiayai tugas akhir ini sampai selesai.
4. Mamah, Clinton, Winda, Naomi dan segenap keluarga yang selalu mendukung, baik secara materiil maupun non-materiil melalui doa, motivasi, dan semangat yang tak ternilai harganya dalam serangkaian pelaksanaan penelitian.
4. Umar yang selalu menemani, membantu, memotivasi selama perjalanan tugas akhir yang penuh tantangan dan kejutan hingga waktu yang tak terhingga.
5. Sigit yang membantu dan mengingatkan tentang apa yang harus dikerjakan selama proses tugas akhir.
6. Chanifa, Asti, Alex, Andrew, Hasna, Rora, Zaldi, Fitriyah, Norma, dan teman teman lainnya yang telah sabar mendengarkan cerita saya yang sangat banyak .
7. Markus, Daniel, Wahyu dan teman-teman kontrakan yang menjadi tempat untuk bercerita ditengah pusingnya proses penyelesaian tugas akhir .
8. Tenaga pendidik yang telah membantu pengerjaan secara teknis dan non-teknis dalam proses penelitian.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Romario Simanjuntak lahir di Balige dari orang tua yang bernama Bapak Paian Simanjuntak dan Ibu Riana Simangunsong. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai di SDN 173522 Balige pada tahun 2007-2013 dan SMP Negeri 3 Tulungagung pada tahun 2013-2016. Kemudian, dilanjutkan di SMA Negeri 1 Kedungwaru pada tahun 2016-2019. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem di Insitut Teknologi Sepuluh Nopember mulai dari tahun 2020. Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti pelatihan manajerial, kewirausahaan, organisasi, dan ilmiah seperti LKMM PRA TD dan PKTI TD. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan perlombaan seperti PKM pada tahun 2023. Salah satu kegiatan aktif yang berhubungan dengan ilmu material dan metalurgi yang pernah diikuti oleh penulis adalah menjadi Grader Laboratorium Material Inovasi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS 2024 dalam mata kuliah Material Polimer. Penulis memiliki pengalaman keprofesian melalui kegiatan Kerja Praktik di PT KPJB Tanjung Jati Jebara selama 1 bulan mulai dari Juli 2023-Agustus 2023. Untuk menyelesaikan pendidikan S-1, penulis melakukan penelitian dalam bidang studi Metalurgi Manufaktur dengan tugas akhir berjudul “Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Oksidasi Terhadap Sifat Mekanik dan Korosi AA 7075 Menggunakan Metode Pelapisan PEO Untuk Industri Pesawat”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: romariosimanjuntak02@gmail.com dan nomor handphone: 082160901952.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*