

TUGAS AKHIR – TL234839

PENGARUH KONSENTRASI TAPIOKA DAN BEDA POTENSIAL TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075 MENGGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK INDUSTRI PESAWAT

MOCHAMMAD SIGIT WICAKSONO
NRP 5011201063

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 KONSENTRASI TAPIOKA DAN BEDA
POTENSIAL TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA
7075 MENGGUNAKAN METODE PELAPISAN PEO UNTUK
INDUSTRI PESAWAT**

**MOCHAMMAD SIGIT WICAKSONO
NRP 5011201063**

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 TAPIOCA CONCENTRATION AND VOLTAGE
ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION AA
7075 USING PEO COATING METHOD FOR AIRCRAFT
INDUSTRY**

MOCHAMMAD SIGIT WICAKSONO
NRP 5011201063

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 KONSENTRASI TAPIOKA DAN BEDA POTENSIAL 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 : **MOCHAMMAD SIGIT WICAKSONO**
NRP. 5011201063

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
3. Yusuf Pradesar, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D.
4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.


Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

EFFECT OF TAPIOCA CONCENTRATION AND VOLTAGE ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION 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 Material Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **MOCHAMMAD SIGIT WICAKSONO**
NRP. 5011201063

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
3. Yusuf Pradesar, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D.
4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.



Advisor



Co-Advisor



Examiner



Examiner



(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Mochammad Sigit Wicaksono / 5011201063
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS
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 KONSENTRASI TAPIOKA DAN BEDA POTENSIAL 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.

Surabaya, 15 Juli 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa



(Mochammad Sigit Wicaksono)
NRP. 5011201063

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

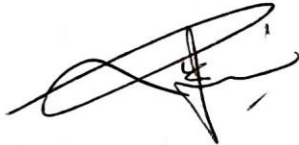
Name of student/NRP : Mochammad Sigit Wicaksono / 5011201063
Departement : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS
Advisor/NIP : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. / 197701162003122007
Co-advisor/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. / 199007262015041002

Hereby declare that the Final Project with the title of "EFFECT OF TAPIOCA CONCENTRATION AND VOLTAGE ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION 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 15th 2024

Acknowledged
Advisor



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

Student



(Mochammad Sigit Wicaksono)
NRP. 5011201063

(This page is intentionally blank)

**PENGARUH KONSENTRASI TAPIOKA DAN BEDA POTENSIAL TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN KOROSI AA 7075 MENGGUNAKAN METODE
PELAPISAN PEO UNTUK INDUSTRI PESAWAT**

Nama Mahasiswa / NRP : Mochammad Sigit Wicaksono / 5011201063
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Ko-Pembimbing : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstrak

Penggunaan logam ringan seperti aluminium dan magnesium banyak digunakan dalam industri pesawat terbang karena memiliki perbandingan kekuatan dan berat yang tinggi serta memiliki densitas yang rendah. Paduan aluminium pada seri 7075 merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam pembuatan pesawat terbang sebagai material penyusun *fuselage bulkheads*, *wing upper skins*, *wing upper panels*, dan *vertical tails*. Aluminium sering kali dilapisi dengan lapisan aluminium oksida yang tahan terhadap goresan dan korosi untuk meningkatkan sifat mekanik. Untuk meningkatkan sifat kekerasan dan ketahanan aus dari paduan aluminium ini dilakukan teknologi pelapisan yaitu *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap sifat mekanik dan korosi AA 7075 untuk industri pesawat. Metode PEO ini akan menggunakan sistem elektrolisis dimana akan ada *power supply*, katoda, anoda, dan elektrolit. *Power supply* yang digunakan adalah jenis *direct current* (DC). Penelitian ini menggunakan larutan elektrolit yang dicampurkan didalam gelas *beaker* dengan komposisi Na_2SiO_3 (12 g/l), NaOH (5 g/l), dan tepung tapioka. Pada penelitian ini variasi konsentrasi tepung tapioka yang digunakan yaitu 0 g/l, 0,5 g/l, dan 1 g/l. Selain itu juga pada penelitian ini beda potensial yaitu pada 235 V dan 250 V dengan waktu oksidasi selama 15 menit. Setelah itu hasil pelapisan akan dilakukan beberapa pengujian antara lain yaitu XRD, SEM-EDX, Pengujian Kekerasan *Vickers*, Pengujian Densitas, Pengujian Tribologi, dan Pengujian Ketahanan Korosi. Dari hasil pengujian XRD sampel PEO menunjukkan terbentuknya fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan SiO_2 . Dari hasil pengujian SEM menunjukkan bahwa konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial mempengaruhi morfologi dan ketebalan lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida tertinggi didapatkan pada sampel dengan variasi tepung tapioka 0 g/L dan 250 V yaitu sebesar 75,19 μm . Dari pengujian sifat mekanik didapatkan nilai kekerasan material yang paling baik yaitu pada variasi penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V yaitu sebesar 252 HV. Sedangkan nilai densitas material yang paling baik yaitu pada variasi penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 235 V yaitu sebesar 2,7053 gr/cm^3 . Untuk nilai ketahanan aus yang paling baik yaitu pada variasi penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V dengan nilai koefisien gesek sebesar 0,3529 dan nilai *wear rate* sebesar 0,0005 mm^3/Nm . Dari hasil pengujian ketahanan korosi didapatkan ketahanan korosi material yang paling baik yaitu pada variasi penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 235 V yaitu sebesar 0,0702 mmy.

Kata Kunci: AA 7075, *Beda Potensial*, *Konsentrasi Tapioka*, *Pelapisan*, *Plasma Electrolytic Oxidation*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EFFECT OF TAPIOCA CONCENTRATION AND VOLTAGE ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION AA 7075 USING PEO COATING METHOD FOR AIRCRAFT INDUSTRY

Student Name / NRP : Mochammad Sigit Wicaksono / 5011201063
Departement : Material and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS
Advisor : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Co-Advisor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstract

Light metals such as aluminum and magnesium are widely used in the aircraft industry because they have a high strength to weight ratio and low density. Aluminum alloy in the 7075 series is the metal most widely used in aircraft manufacturing as a material for fuselage bulkheads, wing upper skins, wing upper panels and vertical tails. Aluminum is often coated with a layer of aluminum oxide that is resistant to scratches and corrosion to improve mechanical properties. To increase the hardness and wear resistance of this aluminum alloy, a coating technology namely Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) is used. This research aims to analyze the effect of starch concentration and voltage on the mechanical and corrosion properties of AA 7075 for the aircraft industry. This PEO method will use an electrolysis system where there will be a power supply, cathode, anode and electrolyte. The power supply used is the direct current (DC) type. This research uses an electrolyte solution mixed in a beaker glass with the composition Na_2SiO_3 (12 g/l), NaOH (5 g/l), and starch. In this study, variations in starch concentration used were 0 g/l, 0.5 g/l, and 1 g/l. Apart from that, in this research the voltage is at 235 V and 250 V with an oxidation time of 15 minutes. After that, several tests will be carried out on the coating results, including XRD, SEM-EDX, Vickers Hardness Testing, Density Testing, Tribology Testing, and Corrosion Resistance Testing. The XRD test results of the PEO sample indicate the formation of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, and SiO_2 phases. The SEM test results show that the concentration of starch and the voltage affect the morphology and thickness of the oxide layer. The highest oxide layer thickness was obtained in the sample with 0 g/L starch and 250 V, which was 75.19 μm . From the mechanical properties test, the best material hardness value was obtained with the addition of 1 g/L starch and a voltage of 250 V, which was 252 HV. The best material density value was obtained with the addition of 1 g/L starch and a voltage of 235 V, which was 2.7053 g/cm^3 . The best wear resistance value was obtained with the addition of 1 g/L starch and a voltage of 250 V, with a friction coefficient of 0.3529 and a wear rate of 0.0005 mm^3/Nm . The best corrosion resistance was obtained with the addition of 1 g/L starch and a voltage of 235 V, which was 0.0702 mmy.

Keywords: AA 7075, Coating, Plasma Electrolytic Oxidation, Tapioca Concentration, Voltage

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi Tapioka dan Beda Potensial Terhadap Sifat Mekanik dan Korosi AA 7075 Menggunakan Metode Pelapisan PEO Untuk Industri Pesawat” dengan lancar tanpa halangan dan hambatan. Tugas akhir ini diambil oleh penulis untuk memenuhi persyaratan studi mahasiswa Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Dengan selesainya penulisan Laporan Tugas Akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir diantaranya:

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
2. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu kepada penulis serta membimbing penulis selama proses penelitian Tugas Akhir.
3. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta memberikan ilmu penulis selama proses penelitian Tugas Akhir.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc selaku dosen wali yang membantu penulis dalam menjalani masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis sangat terbuka akan adanya kritik dan saran yang disampaikan oleh pembaca. Semoga laporan ini memberikan manfaat dalam bidang teknologi pelapisan ke depannya.

Surabaya, 15 Juli 2024
Penulis

Mochammad Sigit Wicaksono

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
APPROVAL SHEET	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS	ix
STATEMENT OF ORIGINALITY	xi
Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aluminium.....	5
2.1.1 Aluminium 7075.....	6
2.1.2 Aplikasi Aluminium 7075 Dalam Industri Pesawat.....	6
2.2 Rekayasa Permukaan (<i>Surface Engineering</i>).....	8
2.2.1 <i>Anodizing</i>	8
2.2.2 <i>Plasma Electrolytic Oxidation (PEO)</i>	9
2.2.3 Perbedaan <i>Anodizing</i> dan <i>Plasma Electrolytic Oxidation (PEO)</i>	12
2.3 Tepung Tapioka.....	13
2.4 Alumina (Al_2O_3).....	15
2.5 Ketahanan Korosi.....	16
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	16
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2 Alat Penelitian.....	28
3.3 Bahan Penelitian.....	29
3.4 Metode Penelitian.....	29
3.5 Proses Preparasi dan Pelapisan.....	30
3.5.1 Preparasi Sampel dan Larutan Elektrolit.....	30
3.5.2 Proses Pelapisan Menggunakan Metode PEO.....	30
3.6 Proses Pengujian.....	31
3.6.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	31
3.6.2 <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	32
3.6.3 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	32
3.6.4 Pengujian Densitas.....	33
3.6.5 Pengujian Tribologi.....	33
3.6.6 Pengujian <i>Salt Spray</i>	34
3.7 Rancangan Penelitian.....	35

3.8	Jadwal Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Analisis Pengamatan Visual.....	37
4.2	Analisis Fasa Hasil Pengujian XRD	37
4.3	Analisis Komposisi Hasil EDX.....	39
4.4	Analisis Morfologi	41
4.5	Analisis Ketebalan Lapisan <i>Coating</i>	43
4.6	Analisis Kekerasan.....	44
4.7	Analisis Densitas.....	46
4.8	Analisis Keausan.....	47
4.9	Analisis Ketahanan Korosi.....	50
4.10	Tabulasi Hasil Pengujian	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN.....		59
UCAPAN TERIMA KASIH		77
BIODATA PENULIS.....		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kebutuhan aluminium untuk penerbangan (% massa).....	7
Gambar 2.2 Material komponen penyusun pesawat	8
Gambar 2.3 Skema proses PEO	10
Gambar 2.4 Tahap pembentukan lapisan oksida PEO a) <i>Passivation</i> , b) Terbentuknya lapisan oksida dan gelembung O ₂ , c) <i>Micro arc discharge</i> , d) <i>Powerful arc discharge</i> , e) Pembentukan lapisan oksida baru, f) Bertambahnya <i>discharge channel</i> , g) Potensial berfluktuatif, h) Terbentuknya lapisan keramik oksida.....	11
Gambar 2.5 Lapisan oksida yang terbentuk pada proses PEO	12
Gambar 2.6 Struktur (a) Amilosa (b) Amilopektin.....	13
Gambar 2.7 Mekanisme pelapisan tanpa pati dan dengan tambahan pati	14
Gambar 2.8 Hasil Pengujian XRD dengan proses PEO dan PEO/ ZrO ₂	17
Gambar 2.9 Morfologi dari proses MAO dan MAO/ZrO ₂ , (a) MAO-0Zr; (b) MAO-2Zr; (c) MAO-4Zr and (d) MAO-6Zr	17
Gambar 2.10 Pengaruh beda potensial, siklus kerja, dan frekuensi terhadap ketebalan lapisan.....	18
Gambar 2.11 Pengaruh beda potensial, siklus kerja, dan frekuensi terhadap kekerasan lapisan.....	18
Gambar 2.12 Hasil SEM Perbesaran 250X (a) <i>Base Metal</i> (b) Substrat <i>Treatment</i> PEO	19
Gambar 2.13 Hasil EDX Pada (a) <i>Base Metal</i> (b) Substrat Hasil <i>Treatment</i> PEO	19
Gambar 2.14 Hasil Uji XRD.....	20
Gambar 2.15 Hasil Pengujian SEM sampel (a) PEOws dan (b) PEOst.....	21
Gambar 2.16 Hasil pengujian XRD sampel PEOws dan PEOst.....	21
Gambar 2.17 Pengaruh beda potensial terhadap fasa lapisan oksida hasil PEO.....	22
Gambar 2.18 Pengaruh waktu oksidasi terhadap fasa lapisan oksida hasil PEO.....	22
Gambar 2.19 Komposisi Sampel Ti-6Al-4V. A) Tanpa PEO, B) PEO 200V-8 Menit	23
Gambar 2.20 Morfologi permukaan sampel, A) Tanpa PEO, B) PEO	23
Gambar 2.21 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	24
Gambar 2.22 Ketebalan lapisan oksida hasil PEO perbesaran 500X. A)150V-8 Menit, B)200V-4 Menit, C) 200V-8 Menit, D)200V-12 Menit, E)250V-8 Menit	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Rangkaian Alat Proses PEO.....	30
Gambar 3.3 Alat Pengujian XRD	31
Gambar 3.4 Alat Pengujian SEM-EDX	32
Gambar 3.5 Skema Pengujian Kekerasan	33
Gambar 3.6 Alat Pengujian Densitas A) Neraca Analitik, B) Gelas Ukur	33
Gambar 3.7 Alat Pengujian Tribologi.....	34
Gambar 3.8 Alat Pengujian <i>Salt Spray</i>	35
Gambar 4.1 Pengamatan visual spesimen A) sebelum proses PEO, B) sesudah proses PEO.....	37
Gambar 4.2 Hasil Perbandingan Pengujian XRD <i>Base Material</i> dan Spesimen Setelah Proses PEO	38
Gambar 4.3 Hasil EDX A) <i>Base Material</i> , B) PEO 0 g/L & 235 V, C) PEO 1 g/L & 235 V, D) PEO 0 g/L & 250 V, E) PEO 1 g/L & 250 V	40

Gambar 4.4 Morfologi permukaan spesimen A) Tanpa PEO, B) Dengan PEO (250x perbesaran).....	41
Gambar 4.5 Hasil SEM morfologi permukaan spesimen A) PEO 0 g/L & 235 V, B) PEO 1 g/L & 235 V, C) PEO 0 g/L & 250 V, D) PEO 1 g/L & 250 V (500x perbesaran).....	42
Gambar 4.6 Hasil SEM penampang melintang spesimen A) PEO 0 g/L & 235 V, B) PEO 1 g/L & 235 V, C) PEO 0 g/L & 250 V, D) PEO 1 g/L & 250 V (500x perbesaran).....	44
Gambar 4.7 Diagram Nilai Kekerasan <i>Base</i> Material dan Spesimen Setelah Proses PEO	45
Gambar 4.8 Diagram Nilai Densitas <i>Base</i> Material dan Spesimen Setelah Proses PEO.....	47
Gambar 4.9 Diagram Nilai Koefisien Gesek <i>Base</i> Material dan Spesimen Setelah Proses PEO	48
Gambar 4.10 Diagram Nilai Laju Keausan <i>Base</i> Material dan Spesimen Setelah Proses PEO	49
Gambar 4.11 Diagram Nilai Laju Korosi <i>Base</i> Material dan Spesimen Setelah Proses PEO	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia aluminium 7075.....	6
Tabel 2.2 Sifat aluminium 7075	6
Tabel 2.3 Proses <i>Anodizing</i> Aluminium dan Paduannya.....	9
Tabel 2.4 Perbandingan <i>anodizing</i> dan PEO	13
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Tepung Tapioka.....	14
Tabel 2.6 Sifat Fisik dan Mekanik Alumina.....	15
Tabel 2.7 Hasil Uji Kekerasan	20
Tabel 2.8 Penelitian Sebelumnya.....	26
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian.....	35
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian	35
Tabel 4.1 Hasil EDX Komposisi Unsur.....	41
Tabel 4.2 Ketebalan Lapisan Oksida	44
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan	45
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Densitas	46
Tabel 4.5 Hasil Nilai Koefisien Gesek	48
Tabel 4.6 Hasil Nilai <i>Wear Rate</i>	49
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Salt Spray</i>	50
Tabel 4.8 Tabulasi Perbandingan Seluruh Hasil Pengujian.....	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat pada saat ini mampu mendorong segala aktivitas manusia menjadi lebih mudah dan cepat. Salah satu teknologi yang mampu mendorong segala aktivitas manusia yaitu teknologi transportasi udara. Transportasi udara menjadi salah satu aspek penting sebagai akibat dari luasnya Negara Kesatuan Republik Indonesia yang dipisahkan oleh lautan serta terdiri dari 17.000 lebih pulau. Transportasi udara menjadi salah satu alternatif untuk berpergian dari suatu pulau menuju pulau lain dengan waktu yang lebih cepat serta efisien. Transportasi udara yang paling cepat serta efisien untuk membantu perjalanan dari suatu pulau ke pulau lain adalah pesawat terbang. Menurut data statistik transportasi udara pada tahun 2021, kedatangan pesawat terbang dengan penerbangan dalam negeri menyentuh angka 485,3 ribu unit dengan jumlah penumpang menyentuh angka 34 juta orang/tahun. Dengan data statistik tahun 2021 tersebut menunjukkan bahwa pesawat terbang merupakan salah satu transportasi yang penting bagi Indonesia.

Pesawat terbang merupakan transportasi udara yang memanfaatkan gaya dorong. Secara fisis, pesawat terbang dapat ditinjau sebagai sistem aerodinamika, dimana pesawat sebagai objek memiliki interaksi dengan udara (Dewadi et al., 2023). Dengan memanfaatkan gaya dorong serta menerapkan sistem aerodinamika maka logam ringan menjadi pilihan untuk membentuk struktur pesawat terbang. Penggunaan logam ringan seperti aluminium banyak digunakan dalam industri pesawat terbang karena memiliki perbandingan kekuatan dan berat yang tinggi serta memiliki densitas yang rendah (Walsh et al., 2009). Aluminium dan paduannya telah menjadi bahan pilihan utama dalam industri dirgantara sejak akhir tahun 1920-an. Misalnya, pesawat terbang seperti Airbus A340/A330 dan Boeing 757 memiliki komponen utama dan struktur penahan beban yang terbuat dari paduan aluminium. Meskipun komposit polimer telah muncul sebagai bahan kompetitif dalam pembuatan pesawat terbang, aluminium dan paduannya tetap menjadi bahan yang paling banyak digunakan dalam industri pesawat terbang (Famiyeh & Huang, 2019). Selain itu juga penggunaan paduan aluminium berkekuatan tinggi dalam industri pesawat diharapkan dapat mengurangi berat material secara maksimal dengan tetap menjaga stabilitas mekanik dan ketahanan korosi untuk keseluruhan struktur pesawat terbang sehingga dapat menggantikan material lainnya seperti baja (Zhou et al., 2021).

Paduan aluminium pada seri 7075 merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam pembuatan pesawat terbang. Secara umum, paduan aluminium 7XXX memiliki kekuatan tarik tertinggi (~520-620MPa) dibandingkan dengan paduan berbahan dasar aluminium lainnya. Kekuatan tinggi dari paduan 7XXX khususnya 7075 merupakan persyaratan penting karena penggunaannya yang luas untuk struktur penahan beban di pesawat terbang (Famiyeh & Huang, 2019). Paduan aluminium 7075 digunakan sebagai material penyusun *fuselage bulkheads*, *wing upper skins*, *wing upper panels*, dan *vertical tails*. Aluminium sering kali dilapisi dengan lapisan aluminium oksida yang tahan terhadap goresan dan korosi untuk meningkatkan sifat mekanik yang telah dimiliki oleh aluminium (Sharma et al., 2014). Maka dari itu untuk meningkatkan sifat dari paduan aluminium ini dilakukan teknologi pelapisan yang digunakan saat ini yaitu *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). Metode PEO banyak dipilih karena merupakan teknologi baru untuk menghasilkan lapisan oksida. Selain itu metode PEO juga memerlukan biaya yang relatif terjangkau dengan rangkaian yang sederhana

Plasma electrolytic oxidation (PEO) merupakan salah satu metode rekayasa permukaan yang digunakan secara luas dan memungkinkan untuk memproduksi lapisan oksida yang keras, tebal, dan melekat pada logam ringan dan pada paduannya (Hakimizad et al., 2018). *Plasma electrolytic oxidation* (PEO) dapat meningkatkan sifat ketahanan korosi, kekerasan dan

ketahanan aus, serta dapat juga memberi sifat fungsional lainnya seperti anti friksi, perlindungan thermal, optik dan dielektrik. Pembentukan lapisan PEO adalah proses yang kompleks karena melibatkan tiga reaksi antara lain yaitu reaksi elektrokimia, reaksi kimia plasma, dan reaksi difusi oksigen termal. Pelapis yang diperoleh dari reaksi ini biasanya terdiri dari struktur tiga lapis dengan lapisan luar berpori, lapisan tengah padat, dan lapisan padat bagian dalam yang tipis (Sikdar et al., 2021). Metode PEO dipilih karena merupakan teknologi baru untuk menghasilkan lapisan oksida keramik pada logam (aluminium). Selain itu PEO juga memerlukan biaya yang relatif murah dan rangkaian yang sederhana. Banyak faktor yang mempengaruhi sifat dari lapisan oksida yang terbentuk dari metode PEO antara lain yaitu komposisi larutan elektrolit dan beda potensial.

Salah satu alternatif yang digunakan pada komposisi larutan elektrolit adalah dengan menggunakan elektrolit berbasis silikat dengan penambahan zat aditif organik berupa tepung tapioka. Tepung tapioka banyak digunakan sebagai *thickening agents* karena sifat pelarutannya pada temperatur gelatinisasi. Gelatinisasi merupakan suatu proses pemecahan bentuk kristalin butiran tepung tapioka, sehingga setiap lapisan permukaan molekulnya dapat menyerap air atau larut serta dapat bereaksi dengan bahan lain (Uhi, 2006). Dengan demikian, peningkatan viskositas larutan elektrolit dapat mengurangi kemungkinan elektrolit menguap dan terpercik keluar akibat plasma yang dihasilkan dari proses PEO (Khorasanian et al., 2011). Fang et al., (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh tepung tapioka terhadap paduan magnesium AZ31B. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa permukaan substrat tanpa penambahan tepung tapioka menghasilkan permukaan yang kasar serta memiliki banyak mikropori dengan diameter 5~10 μm dan beberapa retakan pada permukaan lapisan. Ketebalan rata-rata hasil pelapisan dengan variasi penambahan tepung tapioka dan tanpa penambahan tepung tapioka masing-masing adalah 15,8 μm dan 14,7 μm . Selain itu juga beda potensial yang digunakan dalam proses PEO mempengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk selama proses pelapisan (Chai et al., 2023). Beberapa hal yang mempengaruhi kualitas pelapisan PEO adalah komposisi elektrolit dan beda potensial yang dapat menentukan sifat akhir dari lapisan oksida yang terbentuk seperti morfologi, komposisi, kekerasan, keausan maupun ketahanan korosi paduan aluminium.

Hingga saat ini masih dipelajari hubungan antara komposisi elektrolit dan beda potensial dengan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). Pada penelitian terdahulu mengenai proses pelapisan dengan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) dengan substrat AA 7075 belum pernah diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial terhadap sifat mekanik dan korosi AA 7075. Sehingga pada penelitian ini akan membahas lebih lanjut tentang pengaruh konsentrasi tepung tapioka 0 g/l, 0,5 g/l, dan 1 g/l dan beda potensial pada 235 V dan 250 V dalam pelapisan dengan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) terhadap sifat mekanik dan korosi dari AA 7075 yang digunakan untuk industri pesawat.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap struktur & morfologi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO AA 7075?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap kekerasan, densitas, dan ketahanan aus lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO AA 7075?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap ketahanan korosi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO AA 7075?

1.3 Batasan Masalah

Agar hasil yang dicapai sesuai dengan yang diharapkan dan tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau dalam penelitian ini, maka perlu adanya suatu batasan masalah. Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Komposisi material substrat dianggap sama atau homogen
2. Kekasaran permukaan setelah dilakukannya proses pengamplasan dianggap sama dan merata
3. Temperatur substrat dianggap stabil dalam proses
4. Larutan elektrolit dianggap homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap struktur dan morfologi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO AA 7075
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap kekerasan, densitas, dan ketahanan aus lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO AA 7075
3. Menganalisis pengaruh konsentrasi tapioka dan beda potensial terhadap ketahanan korosi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO AA 7075

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi untuk metode pelapisan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) pada AA 7075 untuk pembentukan lapisan oksida sebagai aplikasi dalam industri pesawat terbang. Selain itu juga, penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk metode pelapisan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) dengan variasi konsentrasi tepung tapioka ke dalam larutan elektrolit dan variasi beda potensial.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium merupakan unsur ketiga yang paling melimpah di bumi. Selama 50 tahun terakhir, logam ini menduduki peringkat kedua setelah besi dalam hal produksinya dalam dunia industri (Lumley, 2018). Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8.07% hingga 8.23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi. Aluminium merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang memiliki warna putih keperakan dengan sifat mekanik yang sangat baik serta memiliki keuletan yang baik, kekuatan yang tinggi, ketangguhan, dan ketahanan yang baik pada *fatigue*. Aluminium merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifat mekaniknya yang baik. Salah satu contoh penggunaan aluminium yang sangat besar yaitu dalam industri pesawat terbang dimana dengan sifat mekaniknya yang baik sehingga aluminium cocok digunakan dalam industri pesawat terbang. Aluminium merupakan unsur yang memiliki simbol Al dengan nomor atom 13 dalam tabel periodik unsur. Aluminium dalam kondisi alamnya akan membentuk suatu ikatan dengan banyak unsur lain untuk membentuk suatu mineral. Susunan kristal dari logam aluminium yaitu kristal FCC atau *Face Centered Cubic* dengan radius sepanjang 143 pm.

Aluminium merupakan logam yang memiliki titik lebur sebesar 660.3°C serta titik didih sebesar 2467°C sehingga aluminium merupakan salah satu konduktor panas dan konduktor listrik yang baik. Aluminium merupakan salah satu logam identik yang memiliki besar massa jenis 2,7 g/cm³, dimana massa jenis aluminium yaitu sepertiga massa jenis baja (7,83 g/cm³), tembaga (8,93 g/cm³), atau kuningan (8,53 g/cm³). Massa jenis aluminium yang cukup rendah menunjukkan bahwa aluminium memiliki ketahanan korosi yang sangat baik di sebagian besar lingkungan, termasuk atmosfer, air, petrokimia, dan sistem kimia (ASM Handbook, 1990). Sifat ketahanan korosi yang dimiliki oleh logam aluminium dikarenakan lapisan oksida aluminium akan terbentuk ketika aluminium bereaksi dengan udara. Ketahanan korosi yang dimiliki oleh logam aluminium ini disebabkan oleh sifat inert dan protektif dari lapisan aluminium oksida yang terbentuk pada permukaan logam dan cepat berubah bentuk jika rusak. Oleh karena itu, di sebagian besar lingkungan, laju korosi aluminium menurun dengan cepat seiring waktu (Birbilis & Hinton, 2011).

Sistem penamaan *cast alloy* dan *wrought alloy* telah dikembangkan. Sistem identifikasi paduannya menggunakan nomenklatur yang berbeda untuk *cast alloy* dan *wrought alloy*. Sistem penamaan *wrought alloy* menggunakan system empat digit angka untuk menghasilkan daftar kelompok komposisi seperti berikut:

- 1xxx Komposisi murni yang terkontrol
- 2xxx Paduan dengan tembaga sebagai unsur paduan utamanya, meskipun terdapat unsur-unsur lainnya seperti magnesium
- 3xxx Paduan dengan mangan sebagai unsur paduan utamanya
- 4xxx Paduan dengan silikon sebagai unsur paduan utamanya
- 5xxx Paduan dengan magnesium sebagai unsur paduan utamanya
- 6xxx Paduan dengan magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utamanya
- 7xxx Paduan dengan seng sebagai unsur paduan utamanya, namun terdapat juga unsur lain seperti tembaga, magnesium, kromium, dan zirkonium
- 8xxx Paduan termasuk timah dan beberapa komposisi litium
- 9xxx Dicadangkan untuk penggunaan di masa mendatang

(ASM Handbook, 1990)

2.1.1 Aluminium 7075

Aluminium 7075 adalah suatu *alloy* yang memiliki sifat mekanik yang sangat baik dan memiliki keuletan yang baik, kekuatan yang tinggi, ketangguhan, dan ketahanan yang baik pada *fatigue*. Selain itu juga, aluminium 7075 memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap *embrittlement* daripada paduan aluminium lainnya, namun memiliki ketahanan korosi yang cukup baik (ASM Handbook, 1990). Secara umum, paduan aluminium 7xxx memiliki kekuatan tarik tertinggi (520-620 MPa) dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya (Rambabu et al., 2016). Kekuatan tinggi dari paduan 7XXX khususnya 7075 dan 7150 merupakan persyaratan penting karena penggunaannya yang luas untuk struktur penahan beban di pesawat terbang (L. et al., 2012). Paduan 7xxx memperoleh kekuatan tinggi dari pengendapan fase η ($MgZn_2$) dan bentuk prekursornya (Salamci, 2002). Pada **Tabel 2.1** disajikan komposisi kimia dari aluminium 7075. Sifat fisik dari aluminium 7075 dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.1 Komposisi kimia aluminium 7075 (ASTM B209-96)

Unsur	Komposisi (%)
Si	0,40
Fe	0,50
Cu	1,2–2,0
Mn	0,30
Mg	2,1-2,9
Cr	0,18-0,28
Zn	5,1-6,1
Ti	0,20
Others	0,20
Al	Balance

Tabel 2.2 Sifat aluminium 7075 (ASM Handbook, 1990)

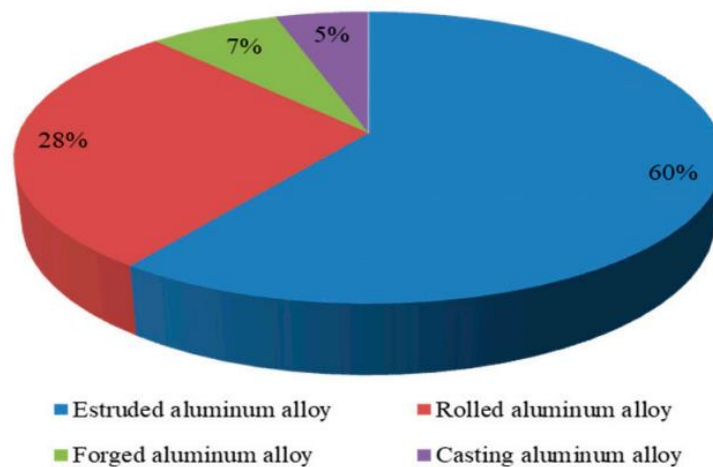
Sifat	Satuan	Nilai
Konduktivitas Termal pada 25°C	W/m°C	130
Densitas	g/cm ³	2,81
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	MPa	570
<i>Tensile Yield Strength</i>	MPa	505
<i>Modulus of Elasticity</i>	GPa	72
<i>Elongation</i>	%	11
Kekerasan	HB/HV	150/175

2.1.2 Aplikasi Aluminium 7075 Dalam Industri Pesawat

Paduan aluminium berkekuatan tinggi banyak digunakan sebagai bahan struktural untuk aplikasi dalam industri pesawat untuk mengurangi berat strukturalnya. Dengan mengurangi berat struktural akan terjadi peningkatan kemampuan muatan pesawat dan massa bahan bakar yang lebih tinggi, sehingga umur pesawat lebih lama. Meskipun sifat mekanik yang diinginkan dicapai dengan penambahan elemen paduan yang sesuai, paduan aluminium (seri 2XXX dan 7XXX) sangat rentan terhadap korosi lokal karena adanya partikel fase sekunder (intermetalik) dalam struktur mikronya (Arunnellaippan et al., 2016). Paduan aluminium memiliki beberapa sifat menarik seperti *formability* yang baik, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, serta

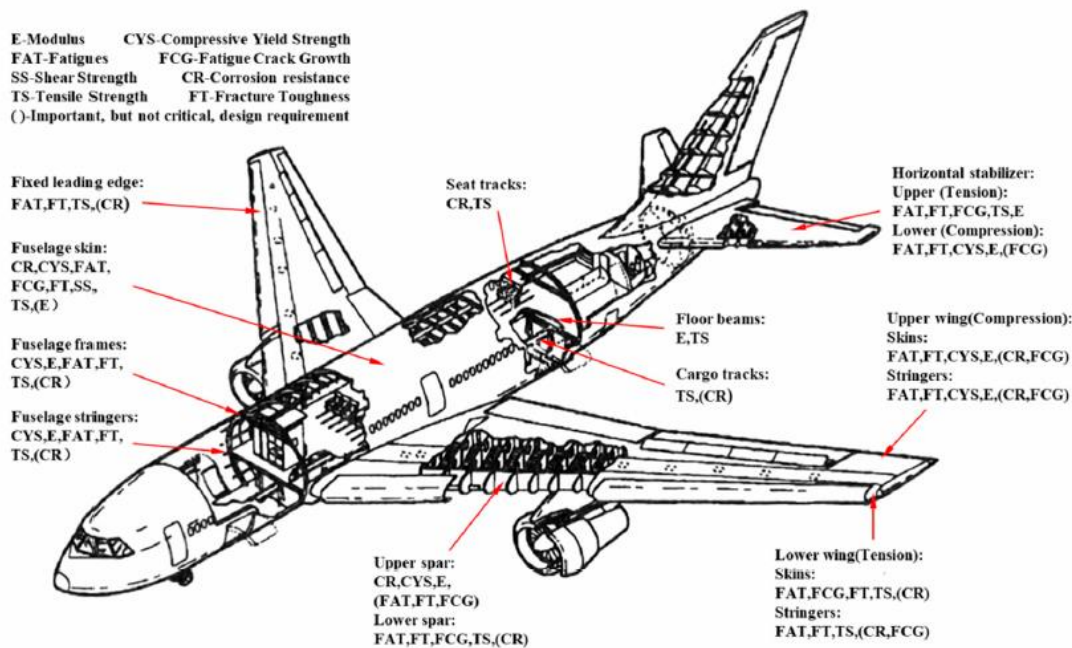
konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, serta dapat digunakan secara luas dalam industri pesawat terbang (Barati et al., 2022).

Aluminium seri 2XXX dan material paduan aluminium 7XXX sangat terpengaruh, namun tetap menunjukkan vitalitas yang kuat dengan performa superiornya. Menurut statistik, seri 2XXX berperforma tinggi dan paduan aluminium seri 7XXX masih banyak digunakan di lebih dari 70% material struktur pesawat (Zhou et al., 2021). Menurut klasifikasi aplikasinya, aluminium dalam industri pesawat dapat dibagi menjadi *casting aluminum alloy*, *extruded aluminum alloy*, *rolled aluminum alloy*, *forged aluminum alloy*, dll. Kebutuhan aluminium untuk industri pesawat ditunjukkan pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Kebutuhan aluminium untuk penerbangan (% massa) (Zhou et al., 2021)

Paduan aluminium pada seri 7075 merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam pembuatan pesawat terbang. Secara umum, paduan aluminium 7XXX memiliki kekuatan tarik tertinggi (~520-620MPa) dibandingkan dengan paduan berbahan dasar aluminium lainnya. Kekuatan tinggi dari paduan 7XXX khususnya 7075 merupakan persyaratan penting karena penggunaannya yang luas untuk struktur penahan beban di pesawat terbang (Famiyeh & Huang, 2019). Sebagai bagian utama dari paduan aluminium berkekuatan tinggi dan ketangguhan tinggi, paduan aluminium 7XXX memiliki kekuatan spesifik yang tinggi, kekakuan spesifik yang tinggi, ketangguhan tinggi, kinerja pemrosesan dan pengelasan yang sangat baik. Paduan aluminium 7XXX banyak diterapkan dalam pembuatan rangka pesawat, *spar*, dan *stringer* sebagai komponen penahan beban, dan telah menjadi salah satu material struktural terpenting di industri pesawat (Warren, 2004). Pada **Gambar 2.2** dapat dilihat bahwa paduan aluminium 7075 digunakan sebagai material penyusun *fuselage bulkheads*, *wing upper skins*, *wing upper panels*, dan *vertical tails*.



Gambar 2.2 Material komponen penyusun pesawat (Zhou et al., 2021)

2.2 Rekayasa Permukaan (*Surface Engineering*)

Rekayasa permukaan merupakan kegiatan multidisiplin yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas permukaan komponen teknik guna meningkatkan fungsi dan kemampuan penerapannya (ASM Handbook, 1994). Rekayasa permukaan dapat dilakukan dengan berbagai prinsip, yaitu mengubah sifat metalurgi permukaan, mengubah struktur kimia permukaan, dan dengan menambahkan lapisan pada permukaan (*coating*). Teknologi pelapisan atau *coating technology* adalah suatu proses di mana suatu substansi diterapkan pada permukaan material substrat sehingga akan mengubah sifat permukaan substrat seperti warna, ketahanan terhadap kerusakan, ketahanan terhadap reaksi kimia, dan permeabilitas tanpa adanya perubahan sifat substrat secara keseluruhan. Pembuatan lapisan dari setiap metode pelapisan harus didasari kepada 2 faktor, yaitu: adhesi antara film dan substrat dan kohesi antara zat pembentuk film.

Teknologi rekayasa permukaan yang dilakukan pada suatu komponen material memiliki beberapa tujuan antara lain:

1. Meningkatkan ketahanan korosi
2. Meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi atau sulfidasi
3. Meningkatkan ketahanan aus material
4. Mengurangi kerugian kehilangan energi akibat terjadinya gesekan
5. Meningkatkan sifat mekanik
6. Meningkatkan sifat elektronik atau listrik
7. Meningkatkan isolasi termal

2.2.1 Anodizing

Secara umum *anodizing* dapat diartikan sebagai metode pelapisan konversi dari logam aluminium dan paduan aluminium menjadi aluminium oksida berpori. *Anodizing* adalah proses elektrolitik untuk menghasilkan lapisan oksida tebal, biasanya pada aluminium dan paduannya. Meskipun *anodizing* biasanya dikaitkan dengan substrat aluminium, *anodizing* juga dapat dilakukan pada substrat lain seperti zink, magnesium, dan titanium. Lapisan oksida biasanya memiliki ketebalan 5 hingga 25 mm dan digunakan untuk meningkatkan ketahanan permukaan

terhadap keausan dan korosi, atau sebagai lapisan dekoratif. Selama proses tersebut, komponen yang akan diolah dibuat anoda dalam larutan asam biasanya pada tegangan DC. Oksidasi terjadi pada permukaan komponen, menghasilkan pembentukan film oksida koheren yang melekat pada substrat logam di bawahnya (Shrestha & Dunn, 2010). Logam ringan, seperti aluminium dan paduannya memiliki kemampuan untuk menahan korosi oleh atmosfer karena lapisan pelindungnya dalam bentuk oksida Al_2O_3 yang segera terbentuk setelah logam terekspos udara. **Tabel 2.3** memberikan spesifikasi umum kebutuhan anodizing dengan berbagai macam jenis larutan, temperatur, waktu, densitas arus, serta tegangan yang digunakan pada saat proses *anodizing*

Tabel 2.3 Proses *Anodizing* Aluminium dan Paduannya (ASM Handbook, 2003)

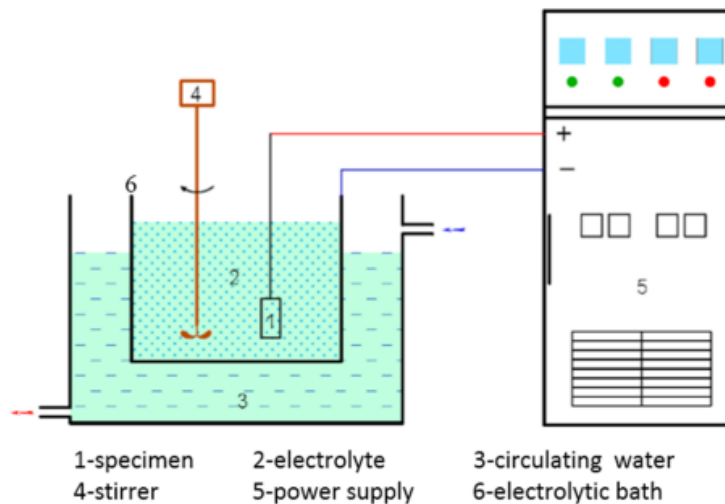
Komposisi Larutan	Konsentrasi (%wt)	Temperatur (°C)	Waktu (Menit)	Densitas Arus (A/dm^2)	Tegangan (V DC)
CrO_3	10	37 ± 5	40 - 60	0,15 - 0,30	40
H_2SO_4	15	21 ± 1	30 - 60	1 - 2	15 - 22
Hard Anodizing					
H_2SO_4	22 - 24	0 ± 1	20 - 120	2,5 - 4	Konstan

Alasan penggunaan metode *anodizing* sebagai salah satu teknologi pelapisan material adalah sebagai berikut:

- Mampu meningkatkan ketahanan korosi
- Mampu menambah estetika
- Mampu meningkatkan adhesi dari cat

2.2.2 Plasma Electrolytic Oxidation (PEO)

Plasma electrolytic oxidation (PEO) merupakan salah satu metode rekayasa permukaan yang dianalisis secara luas dan memungkinkan untuk memproduksi lapisan oksida yang keras, tebal, dan melekat pada logam ringan (misalnya Al dan Mg) dan pada paduannya (Hakimizad et al., 2018). *Plasma electrolytic oxidation* (PEO) merupakan perpanjangan dari proses *anodizing* yang menghasilkan lapisan aluminium oksida pada permukaan aluminium dengan menempatkan logam yang akan dilapisi sebagai pengganti anoda (Sharma et al., 2014). Teknologi rekayasa permukaan dengan metode *plasma electrolytic oxidation* (PEO) membutuhkan tegangan tinggi yang menyebabkan *dielectric breakdown* film oksida disertai percikan plasma (Han et al., 2018). Pada dasarnya, proses PEO menggabungkan oksidasi elektrokimia dan reaksi kimia plasma dengan medan listrik tinggi. Proses PEO terdiri dari tiga tahap utama yaitu pembentukan lapisan oksida, pelarutan, dan reaksi percikan intensif (Haghighat-Shishavan et al., 2019). *Plasma electrolytic oxidation* (PEO) digunakan untuk membuat lapisan oksida tebal dengan kekerasan lebih tinggi, ketahanan aus, dan ketahanan korosi yang baik (Arunnelliappan et al., 2016). Skema dari proses PEO dapat dilihat dari **Gambar 2.3**

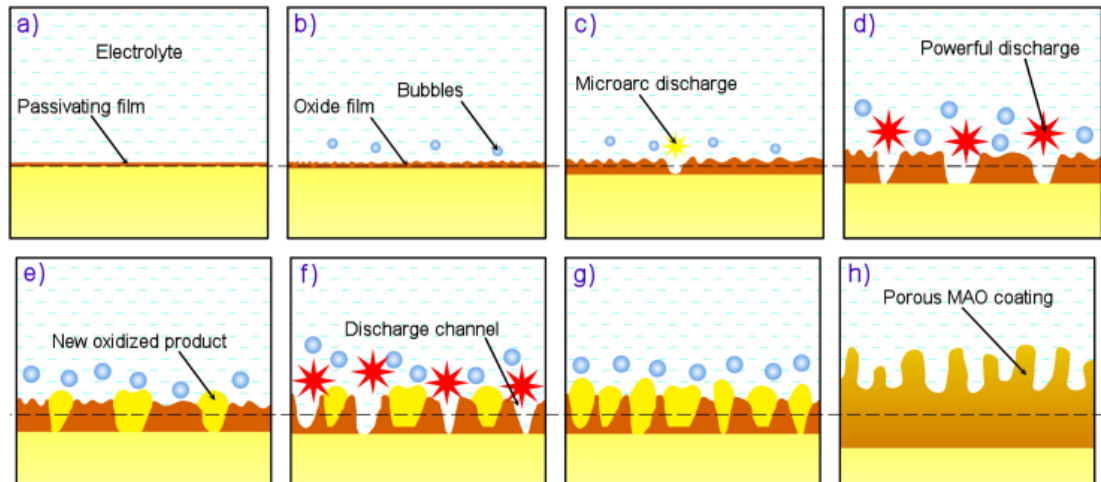


Gambar 2.3 Skema proses PEO (He et al., 2017)

Menurut He et al., 2017 ada beberapa tahapan dalam pembentukan lapisan oksida pada proses PEO. Pada **Gambar 2.4** menunjukkan tahapan-tahapan pembentukan lapisan oksida yaitu:

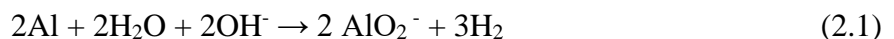
1. *Passivation*
Terjadinya kenaikan beda potensial yang sangat cepat ketika material substrat di masukkan ke dalam elektrolit akan menciptakan lapisan pelindung anodik pada permukaan material substrat.
2. Terbentuknya lapisan oksida dan gelembung O₂
Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan material substrat serta terbentuknya gelembung gas oksigen di sekitar material substrat terjadi karena peningkatan beda potensial yang diterima oleh material substrat.
3. *Micro arc discharge*
Terbentuknya *micro arc discharge* terjadi karena adanya *dielectric breakdown* yang disebabkan oleh beda potensial yang diberikan melebihi kemampuan dari lapisan oksida isolator.
4. *Powerful arc discharge*
Aliran arus hanya terkonsentrasi pada daerah penguraian, dan elektrolit serta unsur-unsur lain dari spesimen masuk ke daerah penguraian melalui difusi dan elektroforesis pada suhu tinggi lokal yang intens, sehingga menghasilkan pembentukan dan penebalan dari pori-pori lapisan oksida struktur. Percikan api perlahan akan bertambah besar, dan *micro arc discharge* diubah menjadi *powerful arc discharge*.
5. Pembentukan lapisan oksida baru
Ketika lapisan oksida baru yang dihasilkan mampu menahan aliran arus maka *electric breakdown* akan berpindah ke lapisan oksida lain yang memiliki hambatan listrik lebih kecil sehingga terjadilah *electric breakdown* baru di permukaan sampel. Sementara itu, lapisan oksida struktur berpori baru juga mungkin terbentuk dan menebal akibat emisi gas akibat temperatur yang tinggi.
6. Bertambahnya *discharge channel*
Dengan bertambahnya waktu oksidasi menyebabkan pembentukan pori-pori yang lebih besar, bahkan struktur mikro yang saling berhubungan seperti spons.
7. Potensial fluktuatif
Pembentukan dan penguraian lapisan oksida secara terus menerus menyebabkan potensi berfluktuasi

8. Terbentuknya lapisan keramik oksida
Peleburan dari material substrat dan juga pembentukan gas dari larutan elektrolit memungkinkan adanya pembentukan lapisan oksida keramik berpori.

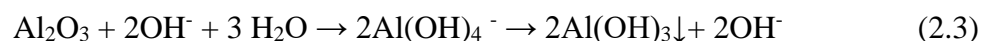


Gambar 2.4 Tahap pembentukan lapisan oksida PEO a) *Passivation*, b) Terbentuknya lapisan oksida dan gelembung O_2 , c) *Micro arc discharge*, d) *Powerful arc discharge*, e) Pembentukan lapisan oksida baru, f) Bertambahnya *discharge channel*, g) Potensial berfluktuatif, h) Terbentuknya lapisan keramik oksida (He et al., 2017)

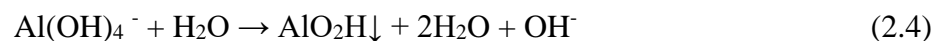
Reaksi yang terjadi pada proses PEO melibatkan reaksi kimia dan elektrokimia. Dimulai dengan saat tidak ada arus pada larutan, reaksi kimia akan mengoksidasi aluminium dan melepaskan ion AlO_2^- dan $Al(OH)_4^-$ ke dalam elektrolit melalui reaksi berikut:



Ketebalan alumina dapat berkurang akibat pelarutan kimia



Sehingga *boehmite* mungkin terbentuk



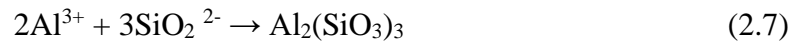
Aluminium hidroksida dapat terlarut oleh OH^-



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

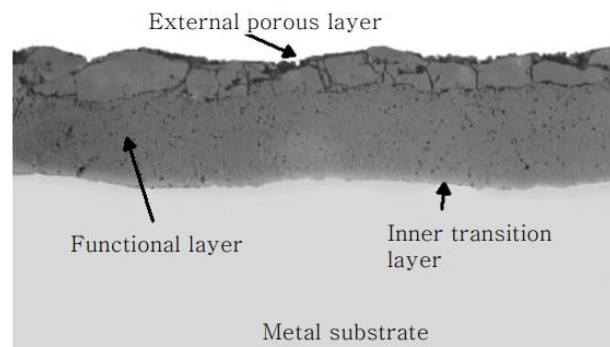


Kation aluminium (Al^{3+}) bereaksi dengan elektrolit membentuk *mullite*



(Dehnavi, 2014)

Metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) menghasilkan lapisan oksida terdiri dari tiga bagian, yaitu *outer porous oxide film*, *intermediate dense oxide layer* dan *inner thin transition oxide layer*. Gambar lapisan aluminium oksida yang terbentuk melalui proses PEO disajikan pada **Gambar 2.5** Tiga lapisan yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5** dapat dilihat melalui *Scanning Electron Microscope* (SEM). *Functional layer* merupakan lapisan yang keras dan padat dengan ketebalan yang sesuai. *External layer* secara morfologi berbeda (porositas tinggi, *amorf*) dari *functional layer* dan *transition layer* yang serupa (alumina kristalin sangat padat). Keuntungan utama dari proses PEO adalah kekasaran lapisan yang dihasilkan oleh proses PEO jauh lebih kecil dibandingkan dengan metode lain seperti PVD, CVD, dan *thermal spray*. Selain itu, daya rekat *film* jauh lebih baik daripada yang diperoleh dengan metode yang lain (Sharma et al., 2014).



Gambar 2.5 Lapisan oksida yang terbentuk pada proses PEO (Sharma et al., 2014)

2.2.3 Perbedaan *Anodizing* dan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO)

Aluminium banyak dicari sebagai logam pilihan dalam industri dan dengan cepat menggantikan material struktural seperti baja dalam banyak aplikasi. Aluminium sering kali dilapisi dengan lapisan aluminium oksida yang tahan terhadap goresan dan korosi untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Metode *anodizing* merupakan salah satu metode yang telah digunakan untuk membuat lapisan oksida. Namun, karena lapisan ini tumbuh di permukaan, maka umur dan kekuatan lapisan oksida yang menempel pada substrat cukup terbatas. *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) merupakan proses yang relatif lebih baru dimana metode PEO memberikan sifat permukaan yang lebih baik dengan mengoksidasi permukaan logam dengan lapisan oksida yang seragam (Sharma et al., 2014).

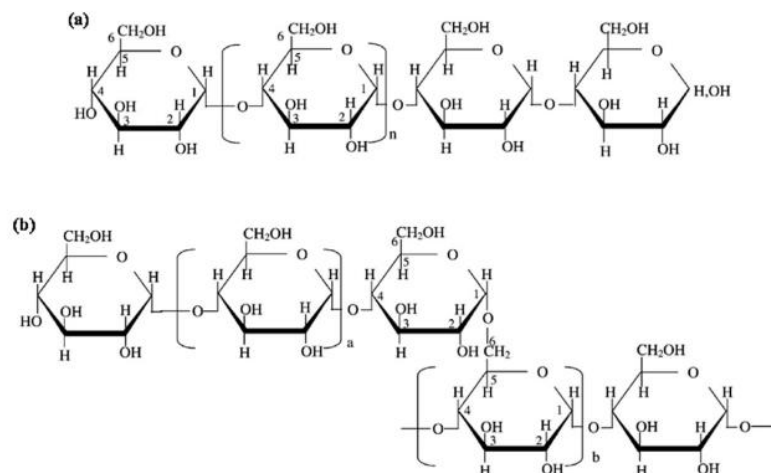
Pada **Tabel 2.4** memperlihatkan perbandingan antara pelapisan dengan metode *Anodizing* dan PEO. Proses PEO merupakan kombinasi proses *anodizing* (oksidasi elektrolitik) dan proses pelepasan plasma. Persamaan utama antara proses *anodizing* dan PEO adalah keduanya melibatkan oksidasi substrat menggunakan larutan elektrolit serta tahap pertama dari proses PEO adalah proses *anodizing* (Hussein & Northwood, 2014). Kemampuan proses PEO untuk membentuk lapisan yang mampu berperan sebagai pelindung pada permukaan aluminium akan memungkinkan metode PEO digunakan dalam berbagai aplikasi di mana penggunaan logam sebelumnya terbatas karena kekerasannya yang rendah dan ketahanan terhadap korosi yang rendah (Sharma et al., 2014).

Tabel 2.4 Perbandingan *anodizing* dan PEO (Sharma et al., 2014)

Sifat	<i>Anodizing</i>	PEO
Tegangan Sel (V)	20 – 80	100 – 400
Densitas Arus (A/dm ²)	10	20
Elektrolit	Asam dan berbahaya	Alkalin dan ramah lingkungan
Ketebalan Lapisan Oksida (µm)	≤ 10	≥100
Sifat Lapisan	Kekerasan sedang, Dielektrik rendah	Kekerasan tinggi, Padat (<i>dense</i>)
Sifat Lapisan Oksida	<i>Amorphous</i> , Kasar, Berpori	Kristalin tinggi, Halus, Berpori pada permukaan, Padat dibawah permukaan
Kontrol Temperatur	Ketat	Cukup didinginkan dengan <i>chiller</i>
Biaya	Tinggi	Relatif rendah

2.3 Tepung Tapioka

Tepung Tapioka merupakan hasil ekstrak dari tanaman singkong yang menghasilkan pati. Dalam memperoleh pati dari tanaman singkong perlu mempertimbangkan beberapa faktor seperti usia atau kematangan dari tanaman singkong (Kurniawan et al., 2022). Tepung merupakan salah satu polisakarida yang paling penting serta menjadi komponen utama dari berbagai tanaman pangan seperti gandum, beras, jagung, kentang, ubi jalar dan singkong. Tepung tapioka banyak dimanfaatkan dalam makanan, kosmetik, kertas, tekstil, serta industri tertentu sebagai bahan perekat, pengental, penstabil, pengeras, dan pembentuk gel. Pati terdiri dari molekul amilosa dan amilopektin bercabang dengan perbandingan molar masing-masing 15% - 25% dan 85% - 75% (Tako et al., 2014). Pada **Gambar 2.6** menunjukkan struktur molekul amilosa dan amilopektin dari tepung tapioka. Amilosa memiliki ukuran yang lebih kecil dengan struktur tidak bercabang. Sementara amilopektin merupakan molekul berukuran besar dengan struktur bercabang banyak dan membentuk *double helix* (Imanningsih, 2012). Pada **Tabel 2.5** menunjukkan komposisi kimia dari tepung tapioka.

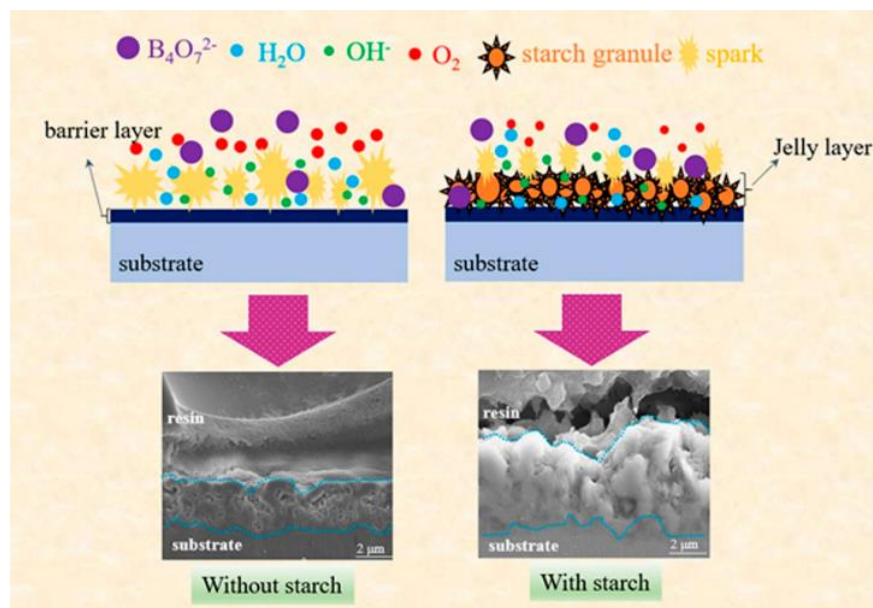


Gambar 2.6 Struktur (a) Amilosa (b) Amilopektin (Amagliani et al., 2016)

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Tepung Tapioka (Kurniawan et al., 2022)

Komposisi	Nilai
Serat (%)	0,5
Air (%)	15
Karbohidrat (%)	85
Protein (%)	0,5-0,7
Lemak (%)	0,2
Energi (kal/100gr)	307

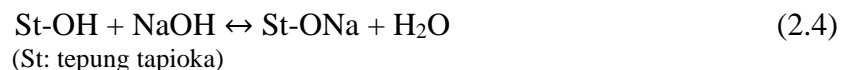
Dalam pemilihan utama komposisi elektrolit yang digunakan dalam proses PEO, tujuan penambahan tepung tapioka ke dalam larutan elektrolit adalah untuk membuat elektrolit yang lebih stabil dan kental (Khorasanian et al., 2011). Tepung tapioka mengalami fenomena gelatinisasi pada proses PEO. Jumlah fraksi amilosa-amilopektin sangat berpengaruh pada profil gelatinisasi pati. Sifat *thickening* atau mengentalkan dan *gelling* atau pembentuk gel dari tepung tapioka merupakan sifat yang penting dan dapat memberikan karakteristik produk yang lebih baik (Imanningsih, 2012). Gelatinisasi merupakan suatu proses pemecahan bentuk kristalin butiran tepung tapioka, sehingga setiap lapisan permukaan molekulnya dapat menyerap air atau larut serta dapat bereaksi dengan bahan lain (Uhi, 2006). Dengan demikian, peningkatan viskositas larutan elektrolit dapat mengurangi kemungkinan elektrolit menguap dan terpercik keluar akibat plasma yang dihasilkan dari proses PEO (Khorasanian et al., 2011). Penggunaan pati di dalam larutan elektrolit karena pati mengandung banyak gugus fungsi $-OH$ sehingga menyebabkan penurunan porositas lapisan dengan mengubah karakteristik pelepasan plasma. Mekanisme pembentukan lapisan yang diperoleh dalam elektrolit tanpa dan dengan pati ditunjukkan pada **Gambar 2.7**. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.7**, adsorpsi molekul pati pada permukaan substrat menyebabkan pengendapan lapisan gel yang tebal di bagian atas substrat selama proses PEO. Selama proses pelapisan, pembentukan lapisan gel akan mengurangi intensitas pelepasan plasma menjadi lebih lemah dan seragam, sehingga menghasilkan pembentukan lapisan dengan cacat struktural yang lebih sedikit (Kaseem & Dikici, 2021).



Gambar 2.7 Mekanisme pelapisan tanpa pati dan dengan tambahan pati (Kaseem & Dikici, 2021)

Peran tepung tapioka tidak hanya untuk menstabilkan elektrolit tetapi juga mempengaruhi struktur mikro dan ketahanan aus lapisan oksida yang terbentuk. Lapisan gel yang terbentuk dalam proses gelatinisasi tepung tapioka memiliki sifat termal yang baik, sehingga ketika temperatur meningkat maka konsentrasi tepung tapioka yang mengalami proses gelatinisasi akan meningkat serta menyebabkan lapisan gel yang terbentuk semakin tebal. Selain itu juga plasma yang terbentuk di sekitar anoda akan lebih stabil dan lebih seragam serta akan membentuk film oksida yang tebal, padat, dan seragam (Khorasanian et al., 2011).

Proses PEO yang menggunakan larutan elektrolit yang mengandung tepung tapioka dan NaOH akan menyebabkan sebagian NaOH bereaksi dengan tepung tapioka sehingga mengurangi jumlah ion OH⁻ dalam larutan seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:



(Lawal et al., 2008)

Dengan berkurangnya jumlah OH⁻ yang tersedia dalam larutan, intensitas plasma yang terbentuk akan menurun sehingga mengakibatkan lapisan oksida yang terbentuk menjadi lebih padat.

2.4 Alumina (Al₂O₃)

Alumina (Al₂O₃) atau aluminium oksida merupakan oksida yang terbentuk oleh logam aluminium dalam bentuk mineral *korundum* (Al₂O₃), *diaspore* (Al₂O₃.H₂O), *gibbsite* (Al₂O₃.3H₂O) serta yang paling umum sebagai bauksit (bentuk tidak murni dari *gibbsite*). Terdapat dua jenis alumina yaitu α -alumina yang mempunyai permukaan luar kecil serta γ -alumina merupakan alumina berpori tinggi (Maciver, 1963). γ -alumina adalah fasa metastabil yang pertama terbentuk dari proses kalsinasi sulfat, hidroksida, dan garam-garam lain sebelum membentuk fasa stabil α -alumina. Perubahan ke α -alumina berupa proses *coarsening* dan ditandai dengan menurunnya luas permukaan alumina (Dynys & Halloran, 1982).

Alumina merupakan salah satu keramik yang digunakan untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Sebagai salah satu keramik yang paling banyak digunakan dalam industri, keramik alumina memiliki beberapa keunggulan seperti kekerasan temperatur tinggi, ketahanan aus yang sangat baik, serta memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik (Zhang et al., 2022). Selain itu juga alumina memiliki sifat struktur yang keras, abrasif dan inert (Karaoglanli et al., 2011). Sifat fisik dan mekanik alumina ditunjukkan oleh **Tabel 2.6**

Tabel 2.6 Sifat Fisik dan Mekanik Alumina (Auerkari, 1996)

Sifat	Satuan	Nilai
Temperatur Leleh	°C	2040
Densitas pada 20 °C	g/cm ³	3,95
Konduktivitas Panas	W/mK	30
Modulus Elastisitas	GPa	398
<i>Hardness</i>	HV	1500

Berdasarkan sifat fisik dan mekanik dari alumina yang telah disajikan pada **Tabel 2.6** dapat diketahui bahwa alumina memiliki sifat mekanik yang sangat baik seperti kekerasan yang sangat tinggi, modulus elastisitas yang tinggi serta memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Saat ini komponen yang terbuat dari Al₂O₃ semakin banyak digunakan dalam aplikasi dirgantara, alat biomedis, elektronik dan lainnya. Persyaratan utama komponen alumina di

sebagian besar penerapannya adalah bertindak sebagai pelindung temperatur tinggi, isolator listrik, dan komponen pelindung keausan (Azarmi & Sevostianov, 2019).

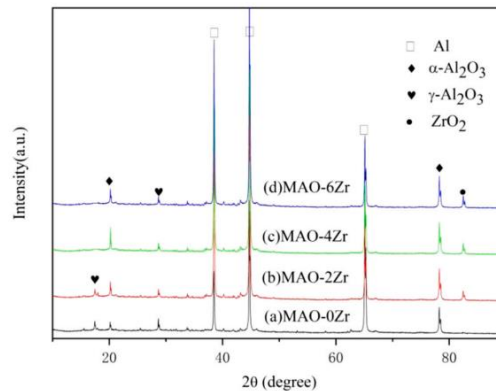
2.5 Ketahanan Korosi

Korosi merupakan proses penurunan kualitas material akibat reaksi kimia dengan lingkungan. Korosi dapat dikatakan sebagai kerusakan material karena tidak murni bersifat mekanis. Terlihat bahwa logam yang dibiarkan di udara terbuka dapat menimbulkan korosi akibat reaksi antara logam tersebut dengan lingkungannya. Metode pelapisan permukaan adalah metode yang paling umum digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan memperpanjang umur paduan aluminium. Secara umum, *ceramic coatings*, *polymeric coating*, *selfhealing coatings* digunakan sebagai bahan pelindung untuk mencegah korosi pada paduan. Pada *ceramic coatings*, keramik yang memainkan peran penting dalam meningkatkan ketahanan terhadap korosi dengan menghalangi kemungkinan infiltrasi ion bermuatan negatif (Xiao & Wang, 2021). Morfologi permukaan dan struktur mikro hasil proses pelapisan terbukti memainkan peran penting dalam menentukan ketahanan korosi dengan mempengaruhi jumlah dan ukuran cacat pelapis seperti porositas dan retakan mikro.

Paduan aluminium 7075 dengan seng sebagai unsur paduan utamanya adalah paduan logam ringan yang kuat dengan kekuatan sebanding dengan baja. Paduan aluminium 7075 memiliki sifat *fatigue strength* serta *machinability* yang bagus, namun paduan aluminium 7075 memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap korosi dibandingkan banyak paduan aluminium lainnya (Pankade et al., 2018). Meskipun paduan aluminium 7075 memiliki kekuatan spesifik dan ketangguhan yang tinggi, kerentanannya terhadap berbagai jenis korosi lokal seperti korosi *pitting* dan *intergranular* merupakan tantangan besar dalam industri pesawat terbang (Hashemzadeh et al., 2021). Korosi aluminium adalah proses elektrokimia yang melibatkan pelarutan atom logam. Aluminium bersifat amfoter, lapisan oksidanya stabil dalam kondisi netral, namun larut dalam lingkungan asam dan basa (Birbilis & Hinton, 2011). Aluminium bersifat reaktif terhadap lingkungan, sehingga aluminium memiliki lapisan pasif yang dapat berperan sebagai pelindung dari fenomena korosi berupa lapisan Aluminium Oksida (Al_2O_3).

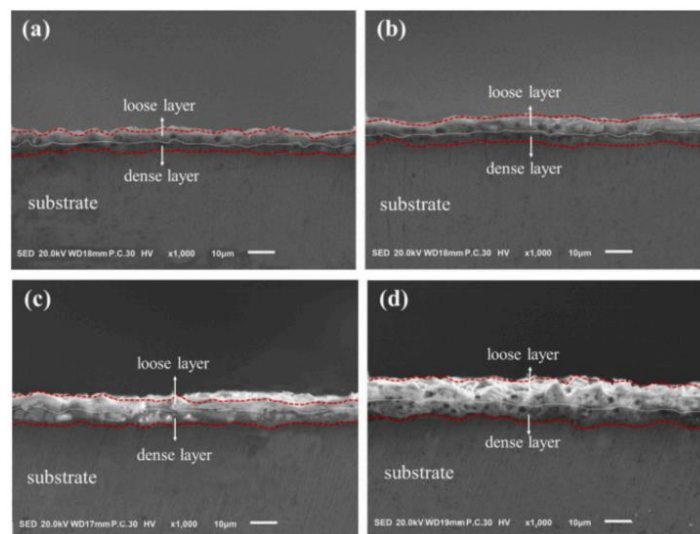
2.6 Penelitian Sebelumnya

Qi et al., (2023) telah melakukan penelitian *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) terhadap paduan aluminium 7075 menggunakan *current density* sebesar 1 A/cm^2 dengan frekuensi sebesar 500 Hz dan *duty cycle* sebesar 20% serta menggunakan elektrolit alkalin yang mengandung Na_2SiO_3 (10 g/L), NaOH (5 g/L), NaF (1 g/L), serta tambahan ZrO_2 dengan variasi (2 g/L, 4 g/L dan 6 g/L). Penelitian ini menganalisis efek dari penambahan ZrO_2 yang digunakan terhadap *wear resistance* dan *corrosion behaviour* dari lapisan oksida yang terbentuk. Hasil pengujian XRD pada sampel dengan lapisan PEO dan PEO/ ZrO_2 disajikan pada **Gambar 2.8** Pada penelitian ini diketahui bahwa puncak aluminium terdeteksi ketika lapisan tersebut ditembus oleh sinar-X. Nanopartikel ZrO_2 diidentifikasi terdapat pada lapisan ketika partikel ZrO_2 dimasukkan ke dalam elektrolit. Hal menunjukkan bahwa nanopartikel ZrO_2 berpartisipasi dalam proses reaksi selama proses PEO, terlepas dari konsentrasinya. Pada pengujian XRD terdapat fase kristal $\alpha-Al_2O_3$ yang terdeteksi pada seluruh lapisan, sedangkan fase $\gamma-Al_2O_3$ hanya ditemukan pada lapisan MAO-0Zr dan MAO-2Zr. Fasa $\alpha-Al_2O_3$ yang metastabil memiliki kekerasan dan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan fasa $\gamma-Al_2O_3$.



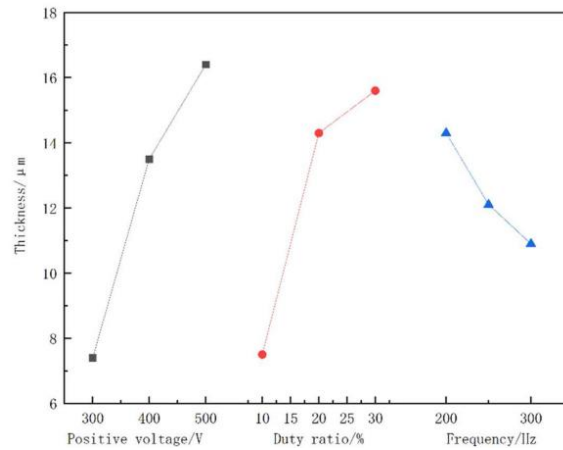
Gambar 2.8 Hasil Pengujian XRD dengan proses PEO dan PEO/ ZrO₂ (Qi et al., 2023)

Ketebalan lapisan yang terbentuk selama proses PEO pada penelitian Qi et al., (2023) dengan MAO-0Zr, MAO-2Zr, MAO-4Zr dan MAO-6Zr masing-masing adalah 15,28; 17,34; 20,96 dan 24,21 μm . Pada **Gambar 2.9** menunjukkan morfologi dari proses yang telah dilakukan. Ketebalan yang dihasilkan pada penelitian tersebut meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ZrO₂. Selain itu juga lapisan yang dihasilkan oleh variasi MAO-4Zr memiliki kehilangan berat terendah sebesar 0,12 mg setelah keausan dan laju keausan paling lambat sebesar $1,76 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/(\text{N mm})$. Selain itu juga pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa perilaku *self-sealing* partikel ZrO₂ mengakibatkan ketahanan terhadap retak korosi tegangan meningkat secara signifikan untuk sampel dengan lapisan MAO/ ZrO₂ dibandingkan dengan substrat dan sampel berlapis MAO.



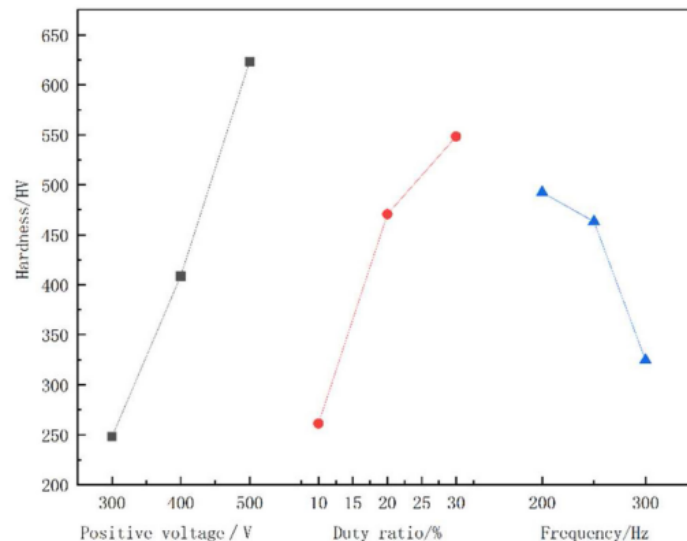
Gambar 2.9 Morfologi dari proses MAO dan MAO/ZrO₂, (a) MAO-0Zr; (b) MAO-2Zr; (c) MAO-4Zr and (d) MAO-6Zr (Qi et al., 2023)

Penelitian PEO pada paduan aluminium 7075 juga pernah dilakukan oleh Chai et al., (2023) menggunakan larutan elektrolit silikat yang mengandung NaOH (5 g/L), Na₂SiO₃ (12 g/L), dan NaF (3 g/L). Pada **Gambar 2.10** menunjukkan bahwa ketebalan lapisan meningkat secara *linier* dengan meningkatnya tegangan. Selain itu juga bertambahnya *duty cycle*, ketebalan lapisan juga meningkat secara *linier*, namun laju pertumbuhan ketebalan film pada tahap selanjutnya jauh lebih lambat dibandingkan tahap sebelumnya.



Gambar 2.10 Pengaruh beda potensial, siklus kerja, dan frekuensi terhadap ketebalan lapisan (Chai et al., 2023)

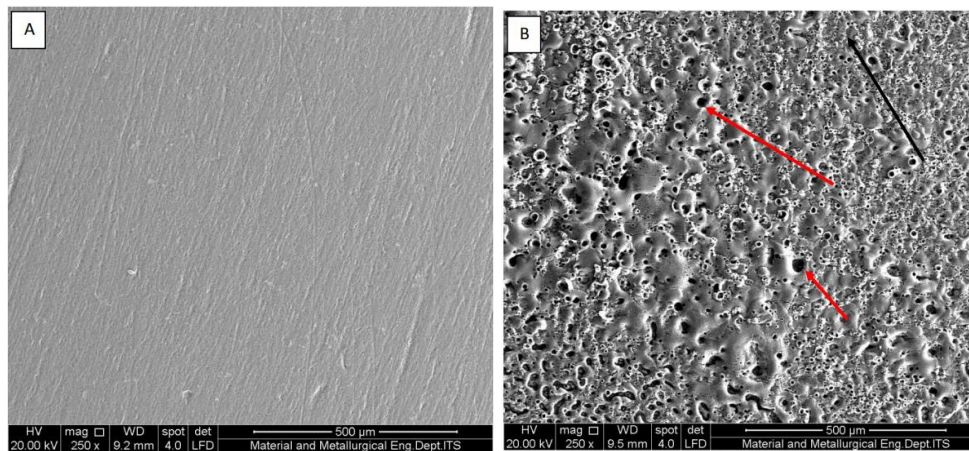
Pada **Gambar 2.11** menunjukkan bahwa perubahan kekerasan lapisan pada setiap parameter kelistrikan *linear* dengan ketebalan lapisan yang dihasilkan selama proses PEO. Kekerasan lapisan meningkat secara *linear* dengan meningkatnya tegangan karena ketika tegangan meningkat maka menyebabkan pelepasan energi yang tinggi dalam reaksi dan lebih banyak pelepasan panas per satuan waktu plasma yang dibentuk oleh suhu yang lebih tinggi. Pada temperatur yang lebih tinggi, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ diubah menjadi $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Selain itu juga dengan bertambahnya *duty cycle*, kekerasan lapisan yang terbentuk juga meningkat secara *linier*. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *duty cycle*, maka temperatur juga semakin tinggi sehingga mengakibatkan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang terbentuk semakin meningkat.



Gambar 2.11 Pengaruh beda potensial, siklus kerja, dan frekuensi terhadap kekerasan lapisan (Chai et al., 2023)

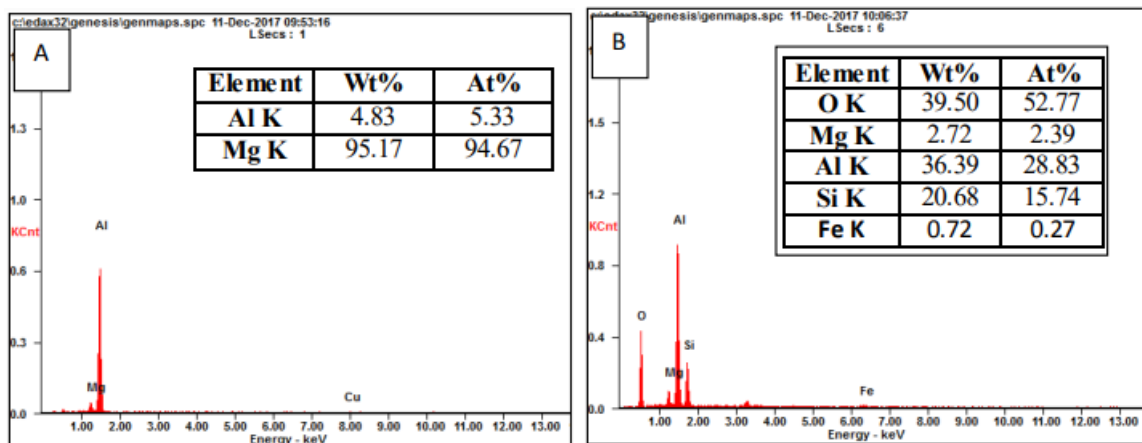
Renaldi & Purniawan (2018) melakukan penelitian mengenai proses PEO paduan aluminium 2024 menggunakan *power supply* DC dengan tegangan maksimum 260 V serta arus 0 – 8 A didapat densitas arus 151 – 303 mA/cm^2 . Pada penelitian ini menggunakan larutan elektrolit yang mengandung 5g/L KOH dan 3g/L Na_2SiO_3 . Pada **Gambar 2.12** menunjukkan morfologi dari substrat tanpa perlakuan PEO dan substrat dengan perlakuan PEO. Pada substrat Al 2024 tanpa PEO menunjukkan pola halus dengan sedikit goresan, pada substrat hasil PEO

menunjukkan pola yang kasar seperti lubang – lubang di permukaan berwarna gelap yang ditunjukkan oleh anak panah warna merah. Selain itu juga anak panah warna hitam menunjukkan struktur *nodular* berwarna abu – abu yang kasar.



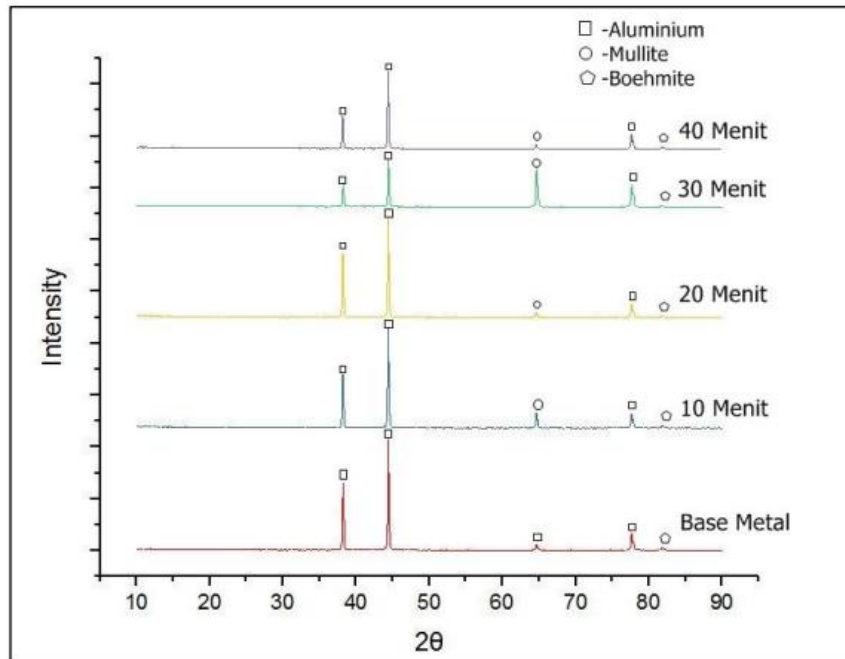
Gambar 2.12 Hasil SEM Perbesaran 250X (a) *Base Metal* (b) Substrat *Treatment* PEO (Renaldi & Purniawan, 2018)

Pada **Gambar 2.13** menunjukkan hasil pengujian EDX yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan komposisi kimia antara *base metal* dengan substrat yang diberi perlakuan PEO. Perubahan komposisi kimia yang terjadi antara *base metal* dengan substrat hasil perlakuan PEO menunjukkan pada proses PEO mengalami reaksi kimia dan elektrokimia yang ditunjukkan pada hasil EDX dan juga dengan perlakuan PEO terjadi perubahan struktur yang terjadi pada morfologi hasil pengamatan SEM.



Gambar 2.13 Hasil EDX Pada (a) *Base Metal* (b) Substrat Hasil *Treatment* PEO (Renaldi & Purniawan, 2018)

Pada **Gambar 2.14** menunjukkan fasa yang terbentuk selama proses PEO pada paduan Al 2024. Berdasarkan pola difraksi sinar – X pada **Gambar 2.14** menunjukkan substrat yang terdiri dari fasa aluminium dan spesimen hasil PEO yang terdiri dari aluminium, Al_2O_3 , *boehmite* dan *mullite*. Hal ini membuktikan proses PEO menghasilkan alumina dan dengan kandungan silikat pada elektrolit menghasilkan fasa *mullite*.



Gambar 2.14 Hasil Uji XRD (Renaldi & Purniawan, 2018)

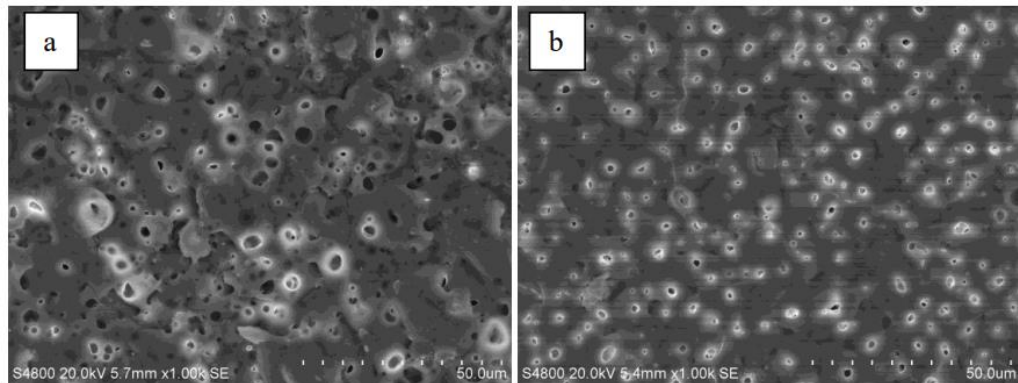
Selain itu juga dilakukan analisa kekerasan menggunakan uji kekerasan *microhardness vickers*. Pada **Tabel 2.7** menunjukkan menunjukkan hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada spesimen tanpa perlakuan dan spesimen dengan perlakuan PEO.

Tabel 2.7 Hasil Uji Kekerasan (Renaldi & Purniawan, 2018)

Material	Diagonal Indentasi (μm)		Kekerasan (HV)
	d_1	d_2	
Base metal	80,09	76,94	90,2
PEO 10 menit	63,70	67,88	128,5
PEO 20 menit	67,93	60,58	134,7
PEO 30 menit	33,51	32,67	508,1
PEO 40 menit	27,96	21,87	896,2

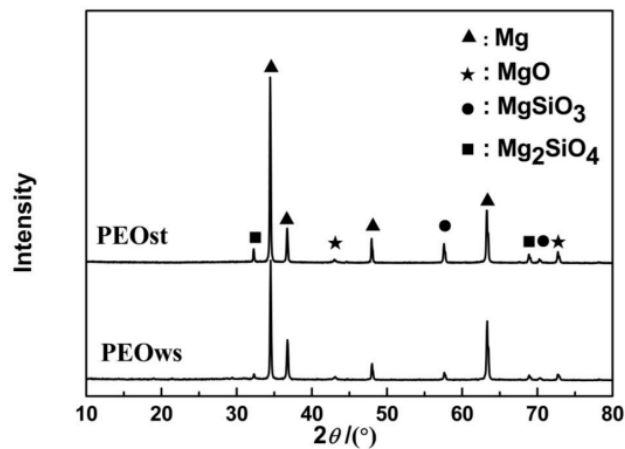
Dari data yang telah disajikan terlihat bahwa terjadi peningkatan kekerasan pada substrat dengan perlakuan PEO dimulai dari kekerasan *base metal* aluminium sebesar 90,2 HV yang sesuai dengan hasil kekerasan aluminium pada umumnya yang dilanjut dengan kekerasan aluminium yang meningkat setelah di treatment dengan proses PEO. Terlihat bahwa dengan meningkatnya waktu PEO menghasilkan kekerasan yang semakin meningkat. Kekerasan pada material ditentukan oleh fasa yang terbentuk pada lapisan, pada fasa yang terdapat banyak kandungan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ kekerasan akan menunjukkan kekerasan yang tinggi.

Fang et al., (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh tepung tapioka terhadap paduan magnesium AZ31B yang dilapisi dengan metode PEO. Pada penelitian tersebut menggunakan *power supply* arus DC dengan parameter frekuensi 200 Hz, *duty cycle* 10% serta *current density* sebesar 1 A/dm² serta waktu oksidasi selama 15 menit. Larutan elektrolit yang digunakan yaitu larutan alkali yang mengandung 45 g/L NaOH, 70 g/L Na₂SiO₃, dan 90 g/L Na₂B₄O₇ tanpa penambahan (PEOws) dengan variasi penambahan (PEOst) 10 g/L tepung tapioka.



Gambar 2.15 Hasil Pengujian SEM sampel (a) PEOws dan (b) PEOst (Fang et al., 2017)

Morfologi permukaan lapisan yang terbentuk dalam elektrolit alkali tanpa tambahan tepung tapioka dan variasi penambahan tepung tapioka dapat dilihat pada **Gambar 2.15**. Pada **Gambar 2.15(a)** menunjukkan bahwa permukaan substrat tanpa penambahan tepung tapioka menghasilkan permukaan yang kasar serta memiliki banyak mikropori dengan diameter 5~10 μm dan beberapa retakan pada permukaan lapisan. Sedangkan pengujian dengan variasi penambahan tepung tapioka ditunjukkan pada **Gambar 2.15(b)** dimana permukaan lapisan substrat menjadi seragam dan pori-pori mikro menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, penambahan tepung tapioka pada elektrolit dapat menurunkan porositas morfologi permukaan secara signifikan.

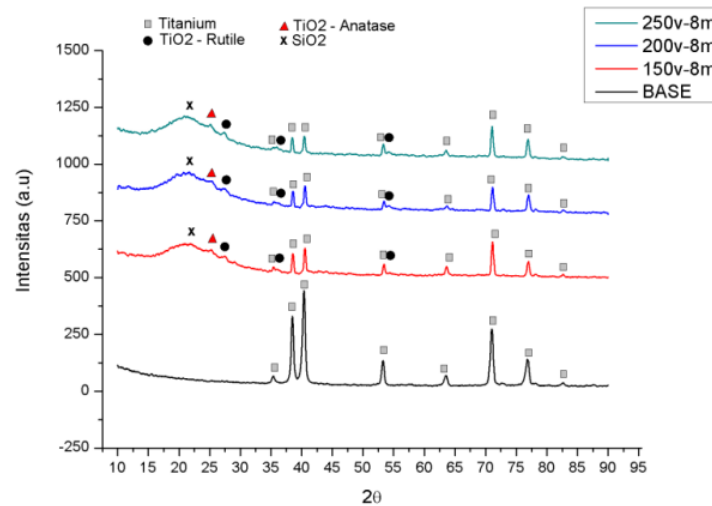


Gambar 2.16 Hasil pengujian XRD sampel PEOws dan PEOst (Fang et al., 2017)

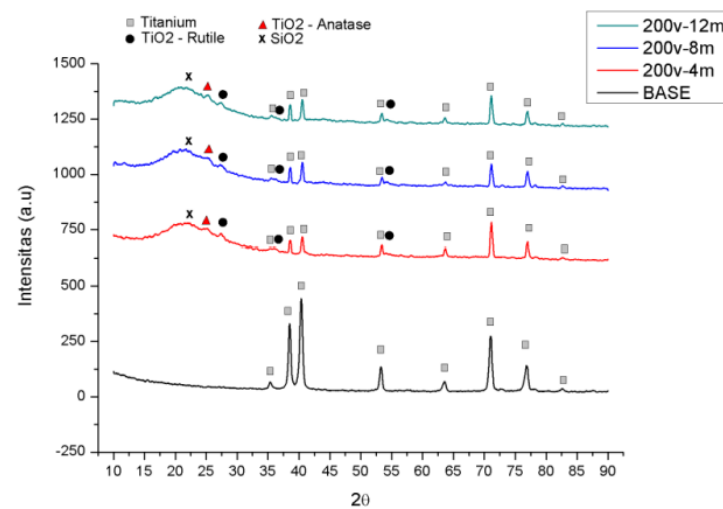
Gambar 2.16 menunjukkan hasil XRD metode PEO yang terbentuk pada variasi tanpa penambahan tepung tapioka dan dengan penambahan tepung tapioka. Komposisi lapisan oksida yang terbentuk pada variasi tersebut hampir sama satu dengan yang lain seperti MgO , MgSiO_3 , dan Mg_2SiO_4 . Ketebalan rata-rata hasil pelapisan dengan variasi PEOst dan PEOws masing-masing adalah $15,8\mu\text{m}$ dan $14,7\mu\text{m}$. Selain itu, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.15**, permukaan berpori dengan mikropori dan retakan mikro tidak dapat dihindari sepenuhnya. Oleh karena itu, sinar-X dapat dengan mudah menembus lapisan PEO yang berpori.

Sakti & Purniawan (2020) juga melakukan penelitian mengenai metode pelapisan PEO dengan substrat Ti-6Al-4V untuk aplikasi *fan blade* mesin pesawat. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki komposisi Na_2SiO_3 (70 g/l), NaOH (10 g/l), dan tepung tapioka (10 g/l). Pada penelitian tersebut diteliti mengenai pengaruh beda potensial serta waktu oksidasi yang digunakan. Dalam melakukan pelapisan substrat di penelitian ini

menggunakan variasi potensial yaitu 150V, 200V, dan 250V dengan waktu oksidasi PEO berbeda yaitu 4 menit, 8 menit, dan 12 menit. Pada **Gambar 2.17** dan **Gambar 2.18** menunjukkan hasil pengujian fasa menggunakan XRD dengan variasi beda potensial dan waktu oksidasi. Kedua gambar memperlihatkan adanya beberapa peak yang berbeda pada sampel dengan PEO dibandingkan dengan sampel base (Ti-6Al-4V tanpa PEO), peak tersebut menunjukkan adanya 3 fasa baru yang terbentuk berupa amorphous SiO₂.

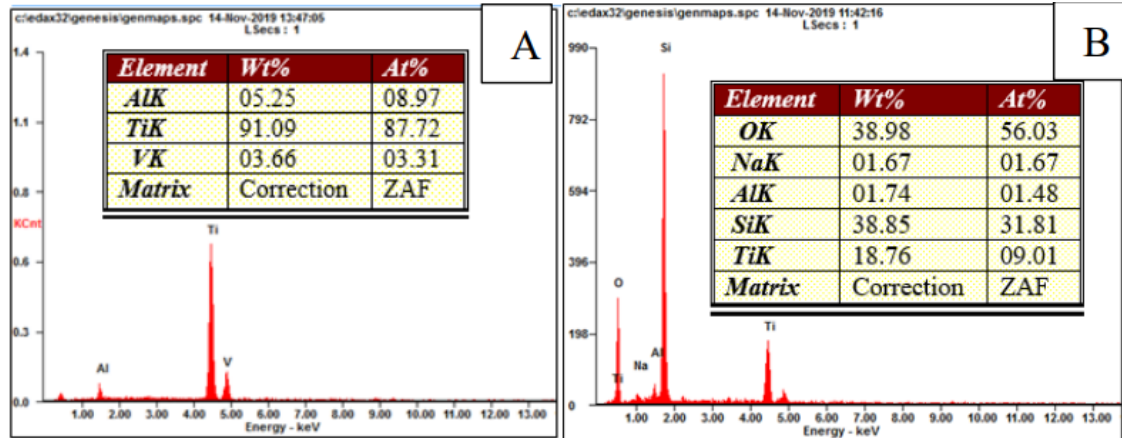


Gambar 2.17 Pengaruh beda potensial terhadap fasa lapisan oksida hasil PEO (Sakti & Purniawan, 2020)



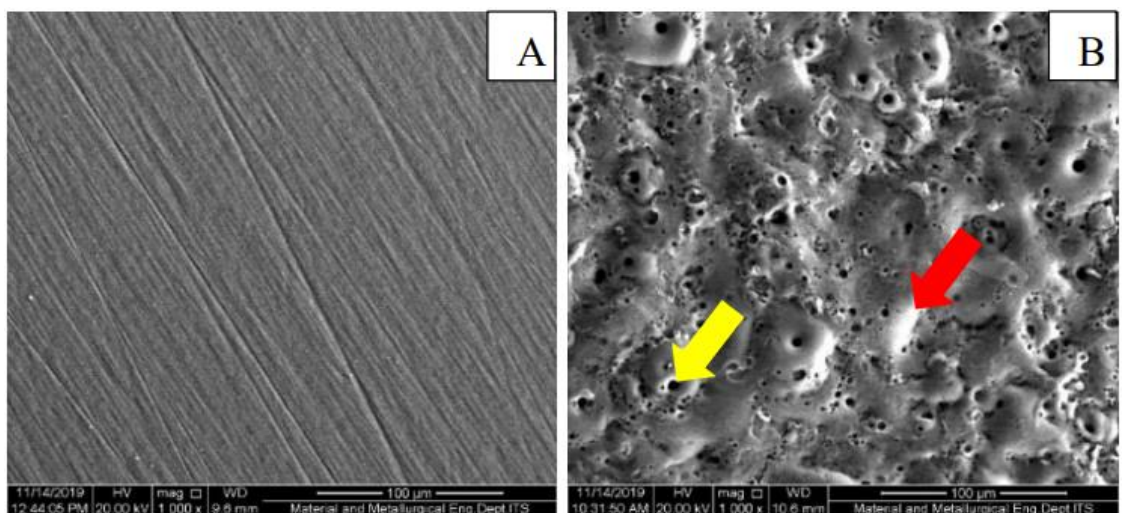
Gambar 2.18 Pengaruh waktu oksidasi terhadap fasa lapisan oksida hasil PEO (Sakti & Purniawan, 2020)

Pada **Gambar 2.19** menunjukkan bahwa sampel tanpa PEO pada **Gambar 2.19** bagian A memiliki unsur penyusun berupa Ti, Al, dan V sedangkan lapisan oksida yang terbentuk pada **Gambar 2.19** bagian B didominasi oleh unsur Ti, Si, dan O, selain itu terdapat juga unsur minor seperti Al yang berasal dari substrat Ti-6Al-4V dan Na berasal dari elektrolit. Adanya unsur Al pada permukaan mungkin membentuk Al₂O₃ akibat bereaksi dengan oksigen.



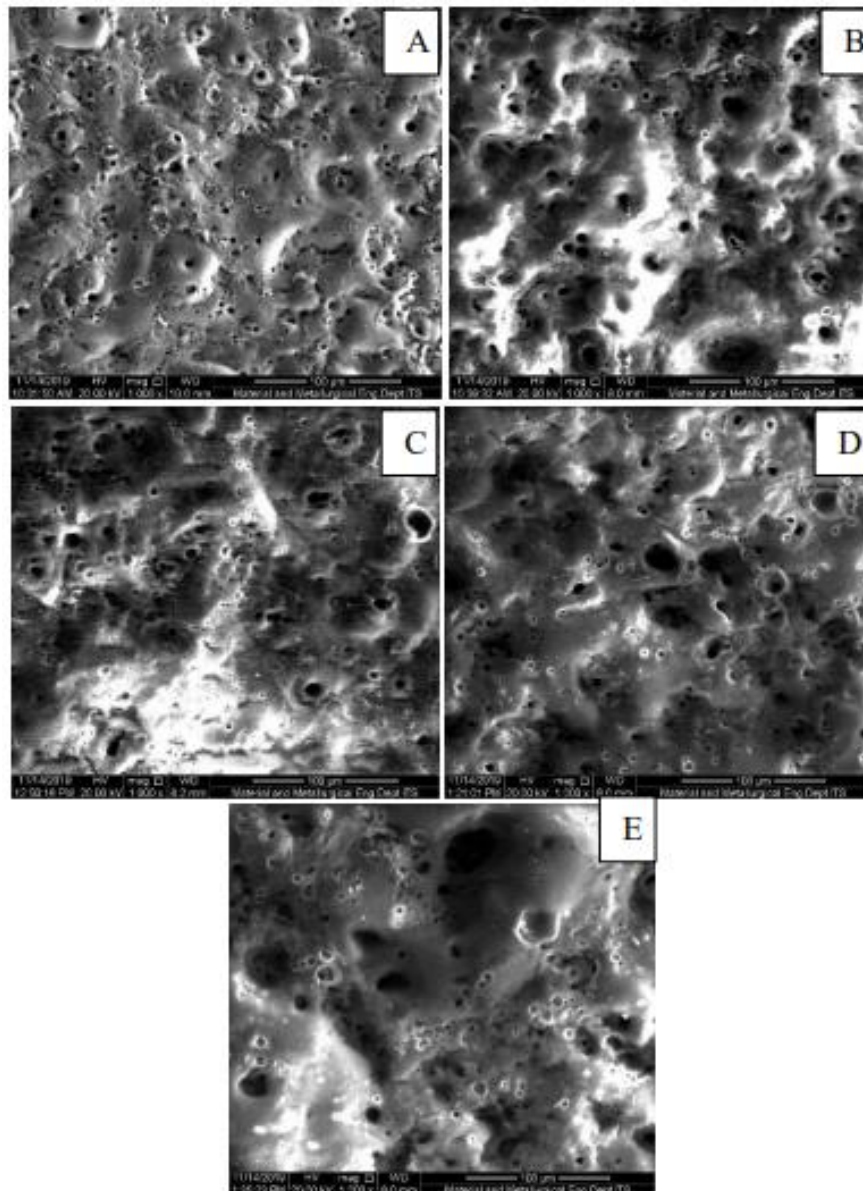
Gambar 2.19 Komposisi Sampel Ti-6Al-4V. A) Tanpa PEO, B) PEO 200V-8 Menit (Sakti & Purniawan, 2020)

Pada **Gambar 2.20** bagian A merupakan morfologi sampel Ti6Al-4V *base* (tanpa perlakuan PEO) yang terlihat bahwa terdapat goresan yang searah akibat proses pengamplasan pada permukaan sampel. Sedangkan pada **Gambar 2.20** 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.



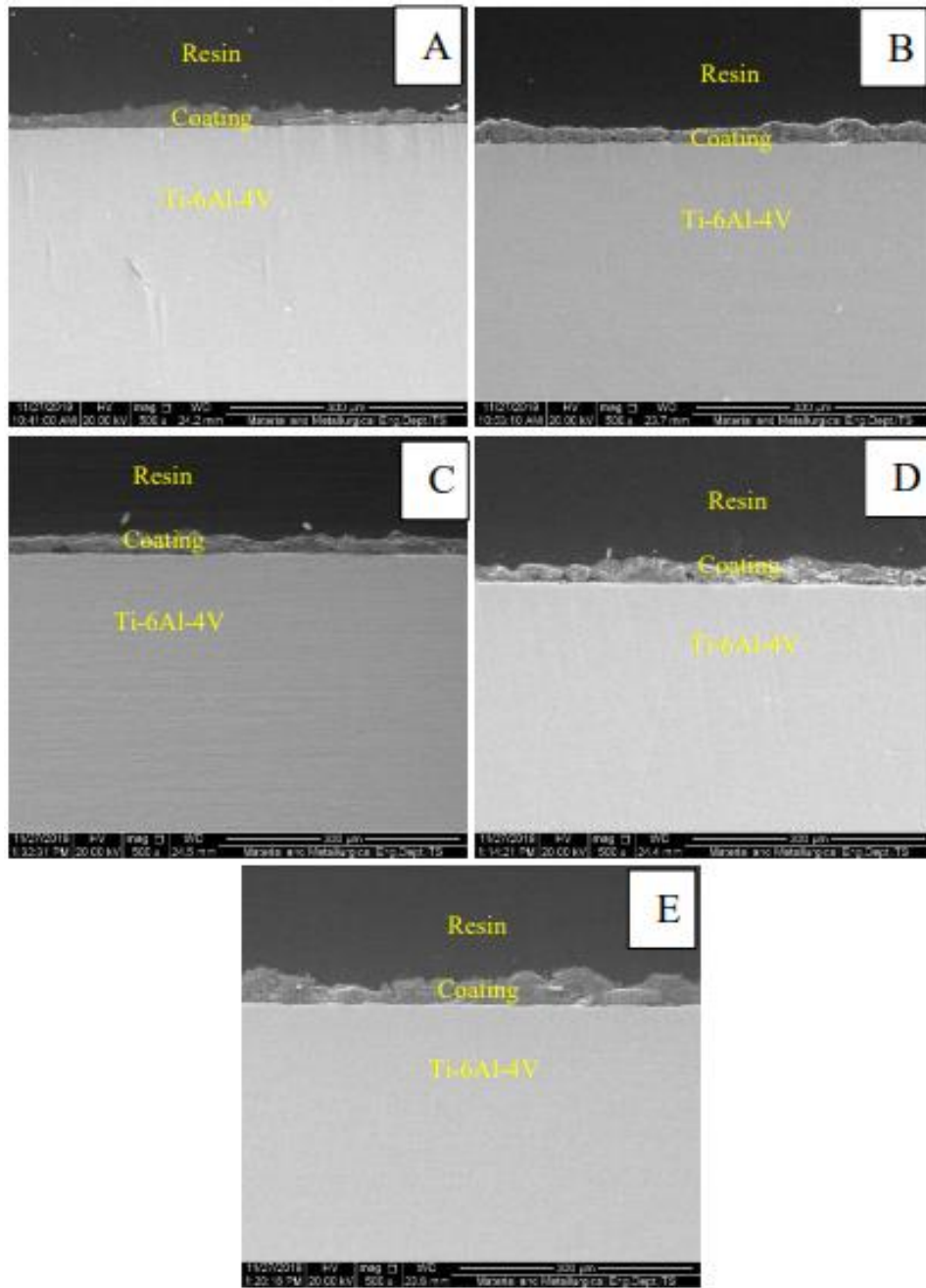
Gambar 2.20 Morfologi permukaan sampel, A) Tanpa PEO, B) PEO (Sakti & Purniawan, 2020)

Pada **Gambar 2.21** menunjukkan bahwa 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.



Gambar 2.21 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 & Purniawan, 2020)

Pada **Gambar 2.22** menunjukkan penampang melintang dari sampel Ti-6Al-4V hasil PEO dengan pengaplikasian beda potensial dan waktu oksidasi yang berbeda. Lapisan oksida yang dibentuk dengan metode PEO memiliki ketebalan yang tidak terlalu rata yang disebabkan karena titik pembentukan *discharge channel* atau titik percikan plasma yang terjadi secara acak. Semakin besar beda potensial yang digunakan akan mempertebal lapisan oksida yang terbentuk. Ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan juga meningkat seiring dengan peningkatan waktu oksidasi PEO dengan maksimal ketebalan sebesar 33,80 μm pada pengaplikasian waktu oksidasi tertinggi yaitu 12 menit.



Gambar 2.22 Ketebalan lapisan oksida hasil PEO perbesaran 500X. A)150V-8 Menit, B)200V-4 Menit, C) 200V-8 Menit, D)200V-12 Menit, E)250V-8 Menit (Sakti & Purniawan, 2020)

Adapun hasil penelitian terdahulu disajikan pada **Tabel 2.8** sebagai kajian untuk keberlangsungan penelitian ini.

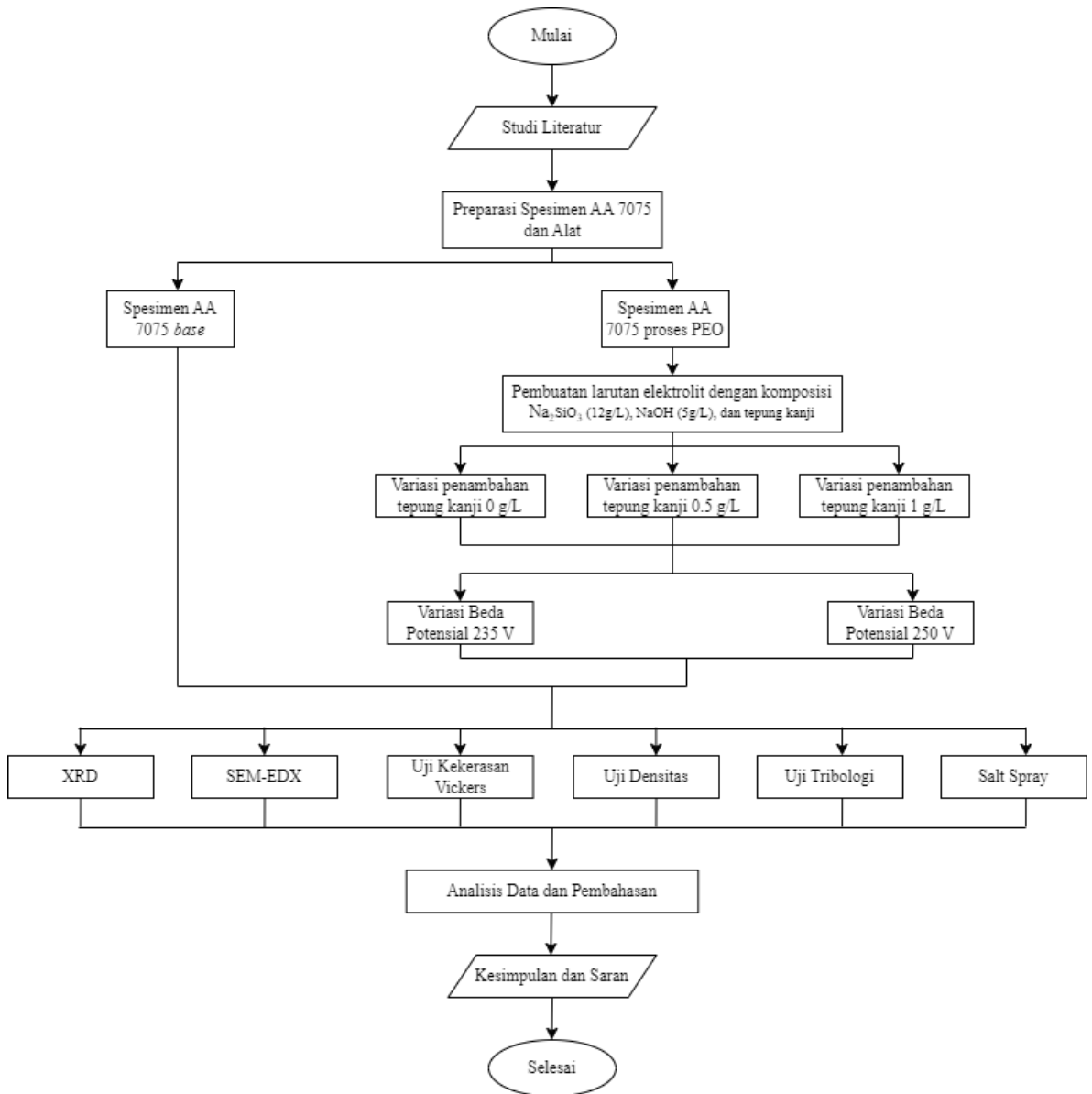
Tabel 2.8 Penelitian Sebelumnya

Referensi	Substrat	Metode	Elektrolit	Beda Potensial (V)	Hasil
(Qie et al., 2023)	AA 7075	PEO	Na ₂ SiO ₃ , NaOH, NaF, ZrO ₂	-	Ketebalan yang dihasilkan pada penelitian tersebut meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ZrO ₂ . Perilaku <i>self-sealing</i> partikel ZrO ₂ mengakibatkan ketahanan terhadap <i>stress corrosion cracking</i> meningkat.
(Chai et al., 2023)	AA 7075	PEO	Na ₂ SiO ₃ , NaOH, NaF	300, 400, 500	Ketebalan lapisan meningkat secara <i>linier</i> dengan meningkatnya tegangan.
(Renaldi & Purniawan, 2018)	AA 2024	PEO	Na ₂ SiO ₃ , KOH	260	AA 2024 tanpa PEO menunjukkan pola halus dengan sedikit goresan, pada substrat hasil PEO menunjukkan pola yang kasar seperti lubang – lubang di permukaan berwarna gelap. Semakin lama waktu PEO maka semakin tebal lapisan
(Fang et al., 2017)	AZ31B	PEO	Na ₂ SiO ₃ , NaOH, Na ₂ B ₄ O ₇ , Tepung Tapioka	-	Permukaan substrat tanpa penambahan tepung tapioka menghasilkan permukaan yang kasar serta memiliki banyak mikropori. Permukaan lapisan substrat dengan tambahan tepung tapioka menjadi seragam dan pori-pori mikro menjadi lebih kecil
(Sakti & Purniawan, 2020)	Ti-6Al-4V	PEO	Na ₂ SiO ₃ , NaOH, Tepung Tapioka	150, 200, 250	Peningkatan beda potensial dapat memperbesar diameter pori-pori dengan cukup signifikan, diameter pori-pori terbesar didapatkan ketika menggunakan beda potensial 250V.

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Berikut ini merupakan diagram alir yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang dibutuhkan dalam 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 Electrolytic Oxidation* (PEO).
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.
3. Wadah Elektrolit *Stainless Steel*
Wadah ini digunakan untuk wadah tempat elektrolit selama proses berlangsung. Selain itu wadah *stainless steel* ini juga berfungsi sebagai katoda.
4. Wadah Pendingin
Wadah pendingin digunakan untuk menjaga temperatur elektrolit di rentang temperatur $\pm 30^\circ\text{C}$
5. Gelas *Beaker*
Gelas *beaker* berfungsi sebagai tempat persiapan elektrolit dari Na_2SiO_3 , NaOH, tepung tapioka, dan akuades
6. Neraca Analitik
Neraca analitik digunakan untuk menghitung massa dari spesimen uji dan menghitung massa dari komposisi elektrolit yang akan digunakan
7. *Ultrasonic Cleaner*
Alat ini digunakan untuk membersihkan dan mempersiapkan permukaan paduan aluminium sebelum dilakukannya proses PEO
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 tipe FEI INSPECT S50 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 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-bahan yang dibutuhkan dalam 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 (Na_2SiO_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 Tapioka
Tepung tapioka digunakan sebagai zat aditif pada elektrolit dari proses pelapisan ini. Nantinya tepung tapioka 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 untuk membersihkan spesimen dari *oil*, *gram*, dan debu
8. Kertas Amplas
Kertas amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan dari paduan aluminium 7075 hingga sesuai dengan kehalusan yang diharapkan.

3.4 Metode Penelitian

Metode Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur
Metode yang akan dilakukan mengacu pada buku-buku dan jurnal, informasi dan penelitian dari situs yang mempelajari mengenai material AA 7075, metode pelapisan dengan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO), pengaruh tepung tapioka pada larutan elektrolit dan pengaruh beda potensial terhadap lapisan *coating* AA 7075 dengan metode PEO.
2. Diskusi
Pada tahapan ini dilakukan diskusi untuk menambah wawasan agar lebih memahami permasalahan dan solusi pada penelitian yang akan dilakukan. Diskusi ini dilakukan dengan pihak - pihak terkait dengan penelitian yang akan dilakukan.
3. Eksperimental
Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada, yaitu metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO), pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), pengujian *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), pengujian kekerasan, pengujian densitas, pengujian tribologi, dan pengujian ketahanan korosi dengan metode *salt spray*.

3.5 Proses Preparasi dan Pelapisan

Adapun proses penelitian ini diawali dengan preparasi sampel paduan aluminium seri Al 7075 dan larutan elektrolit. Kemudian dilanjutkan dengan proses pelapisan menggunakan metode PEO.

3.5.1 Preparasi Sampel dan Larutan Elektrolit

Dalam penelitian ini digunakan material berupa paduan aluminium seri 7075. Paduan ini dipilih karena merupakan material yang sering digunakan dalam struktur pesawat. Sebelum dilakukan proses pelapisan, material yang berbentuk pelat harus dipotong menggunakan *wirecut* menjadi spesimen berukuran 25 x 10 x 6 mm sebanyak 28 buah. Kemudian permukaan spesimen diampas dengan menggunakan kertas amplas hingga *grade* 1200 untuk memperoleh kekasaran permukaan yang merata dan homogen. Tahap terakhir yaitu sampel dibilas menggunakan *aquades* serta dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* di dalam larutan etanol selama 10-15 menit untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor (*oil*, *gram*, dan debu).

Larutan elektrolit yang digunakan pada proses PEO dengan substrat AA 7075 adalah larutan alkali. Larutan elektrolit yang digunakan memiliki komposisi Na_2SiO_3 (12 g/l), NaOH (5 g/l), dan tepung tapioka. Pada penelitian ini variasi konsentrasi tepung tapioka yang digunakan yaitu 0 g/l, 0,5 g/l, dan 1 g/l. Larutan elektrolit dicampurkan didalam gelas *beaker*.

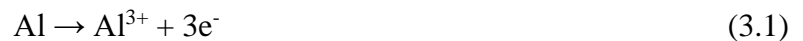
3.5.2 Proses Pelapisan Menggunakan Metode PEO

Setelah preparasi sampel dan larutan elektrolit selesai dilakukan, proses pelapisan dilakukan dengan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). Metode PEO ini akan menggunakan sistem elektrolisis dimana akan ada *power supply*, katoda, anoda, dan elektrolit. *Power supply* yang digunakan adalah jenis *direct current* (DC) dan akan menjadi sumber tegangan dengan tegangan maksimum sebesar 800 V dan arus maksimum sebesar 3 A. Katoda yang digunakan adalah *stainless steel* yang berupa wadah elektrolit, sedangkan anoda adalah sampel AA 7075. Selain itu untuk menjaga agar elektrolit tidak menguap dikarenakan oleh tingginya temperatur elektrolit maka temperatur elektrolit akan dijaga di rentang temperatur ± 30 °C dengan memberikan pendingin di sekitar wadah *stainless steel*. Hal ini dilakukan untuk Proses ini akan menghasilkan lapisan Al_2O_3 di permukaan katoda yang akan menjadi lapisan pelapis. Pada penelitian ini, akan digunakan variasi beda potensial yang berupa beda potensial yaitu pada 235 V dan 250 V dengan waktu pelapisan selama 15 menit. Pada **Gambar 3.2** menunjukkan rangkaian alat proses PEO



Gambar 3.2 Rangkaian Alat Proses PEO

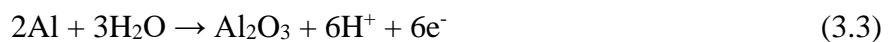
Reaksi elektrokimia yang diharapkan terbentuk yaitu:
Anoda (Substrat aluminium):



Diikuti dengan reaksi antara kation logam dengan ion oksigen:



Reaksi total dari oksidasi anodik aluminium:



Katoda (Wadah *stainless steel*):



3.6 Proses Pengujian

Proses pengujian bertujuan untuk menganalisis morfologi, kekerasan, keausan, dan ketahanan korosi dari sampel AA 7075 *base* (tanpa PEO) dan juga setelah PEO, pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.6.1 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk pada sampel tanpa perlakuan dan hasil PEO dengan pengaplikasian penambahan tepung tapioka dan beda potensial yang berbeda. Alat yang digunakan bertipe *PAN Analytical XRD* yang merupakan milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi. Apabila dalam analisis ini pola difraksi unsur diketahui, maka unsur tersebut dapat ditentukan. XRD memanfaatkan radiasi *x-ray* yang ditembakkan oleh *x-ray source* ke arah sampel yang kemudian terpantul ke *x-ray detector* dan direkam dalam bentuk grafik hubungan intensitas terhadap 2θ . Data XRD ini digunakan untuk perhitungan komposisi fasa serta derajat kristalinitas dari alumina yang terbentuk.



Gambar 3.3 Alat Pengujian XRD

3.6.2 *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

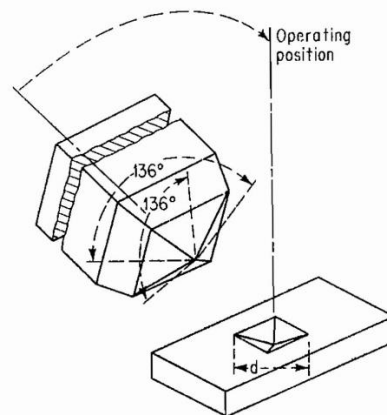
Scanning Electron Microscope (SEM) dapat dianalogikan dengan mikroskop optik metalurgi dimana, prinsip kerjanya menggunakan prinsip refleksi, dalam arti permukaan spesimen memantulkan berkas media. Alat yang digunakan merupakan tipe FEI INSPECT S50 milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi. Pengujian SEM pada hakikatnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* bertujuan untuk mendapatkan morfologi permukaan dan penampang melintang dari sampel tanpa perlakuan dan hasil PEO dengan pengaplikasian penambahan tepung tapioka dan beda potensial yang berbeda. Sedangkan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)* merupakan salah satu metode pengujian yang ada pada alat SEM yang berfungsi untuk mengetahui komposisi unsur secara kuantitatif dari permukaan sampel. Cara kerja mesin SEM adalah menembakkan elektron dengan energi tinggi ke sampel, pantulan dari elektron yang ditembakkan akan memberikan informasi visual dari morfologi permukaan sampel.



Gambar 3.4 Alat Pengujian SEM-EDX

3.6.3 *Pengujian Kekerasan Vickers*

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari lapisan substrat hasil proses PEO. Substrat hasil PEO dengan variasi penambahan tepung tapioka dan beda potensial akan diuji kekerasan permukaannya serta dibandingkan dengan kekerasan substrat tanpa perlakuan PEO menggunakan ASTM E92 dengan alat uji kekerasan milik Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi. Pengujian kekerasan dilakukan dengan indentasi menggunakan indenter berbentuk piramida segiempat yang memiliki sudut 136° dan memberikan beban sebesar 30 kgf pada permukaan sampel selama 10 detik sehingga akan terlihat diagonal hasil indentasi beban. Dengan perhitungan dan bantuan *software* dapat dihitung besarnya nilai kekerasan dari lapisan permukaan substrat yang selanjutnya dapat di analisa pengaruh penambahan tepung tapioka dan beda potensial proses PEO yang paling optimal agar bisa mendapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi, sebagai tujuan utama dari penelitian ini untuk mendapatkan paduan aluminium dengan sifat mekanik terutama kekerasan yang baik agar dapat digunakan sebagai aplikasi dalam industri pesawat.



Gambar 3.5 Skema Pengujian Kekerasan

Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode *Vickers* yaitu sebagai berikut:

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{d^2} \quad (3.5)$$

Dimana,

F = Gaya tekan atau beban yang digunakan (kgf)
d² = Panjang diagonal rata-rata (mm)

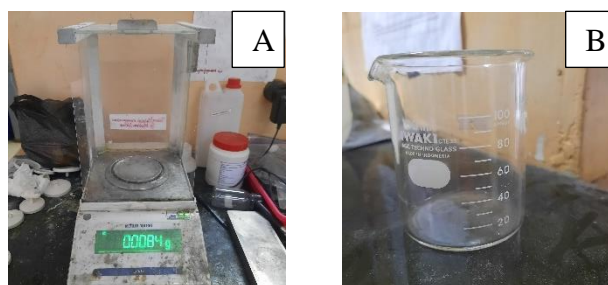
3.6.4 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan cara mengukur massa sampel dan mengukur volume sampel. Untuk menghitung nilai densitas menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_m = \frac{m_s}{V} \quad (3.6)$$

dimana,

ρ_m = Densitas aktual (g/cm³)
 m_s = Massa sampel (g)
V = Volume sampel (cm³)



Gambar 3.6 Alat Pengujian Densitas A) Neraca Analitik, B) Gelas Ukur

3.6.5 Pengujian Tribologi

Pengujian tribologi yaitu pengujian yang bertujuan untuk mengukur kemampuan dari hasil pelapisan terhadap ketahanan abrasi. Pengujian ini menggunakan standar dari ASTM G99 yaitu dengan metode *pin-on disk*. Spesimen dipreparasi sedemikian rupa membentuk *disk* (piringan). Prinsip kerja pengujian tribologi yaitu dengan meletakkan spesimen pada apparatus uji dengan permukaan menghadap ke atas. Lalu *pin* yang sudah terpasang bola kecil dengan kekerasan yang lebih tinggi dikenai pada permukaan sampel dan diberikan pembebanan sebesar 30N. Spesimen uji akan berputar dengan kecepatan 327 rpm yang telah diatur dan *pin* tetap diam

menggores permukaan spesimen. Nilai keausan dihitung dari banyaknya volume dalam satuan milimeter kubik sesuai persamaan berikut:

$$V_{keausan}(mm^3) = \frac{\text{massa keausan (gr)}}{\text{massa jenis } (\frac{gr}{mm^3})} \quad (3.7)$$

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

$$\text{Wear rate } (mm^3/Nm) = \frac{V_{keausan} (mm^3)}{\text{jarak tempuh (m)} \times \text{beban (N)}} \quad (3.8)$$



Gambar 3.7 Alat Pengujian Tribologi

3.6.6 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. 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 3,5% 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 perlakuan korosi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat terjadinya korosi digunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$CR = \frac{W \times K}{D \times A_t \times T} \quad (3.9)$$

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 (cm^2)
- T = Exposure Time (jam)



Gambar 3.8 Alat Pengujian *Salt Spray*

3.7 Rancangan Penelitian

Berikut merupakan rancangan penelitian yang disajikan pada **Tabel 3.1** dengan beberapa sampel penelitian dengan variabel konsentrasi penambahan tepung tapioka dan beda potensial agar mempermudah penelitian kedepannya.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Sampel	Variabel		XRD	SEM-EDX	Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	Uji Densitas	Uji Tribologi	<i>Salt Spray</i>
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)						
AA 7075 base	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AA 7075 + PEO	0	235	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	0,5		-	-	✓	✓	✓	✓
	1		✓	✓	✓	✓	✓	✓
AA 7075 + PEO	0	250	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	0,5		-	-	✓	✓	✓	✓
	1		✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.8 Jadwal Penelitian

Berikut merupakan rancangan penelitian yang disajikan pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

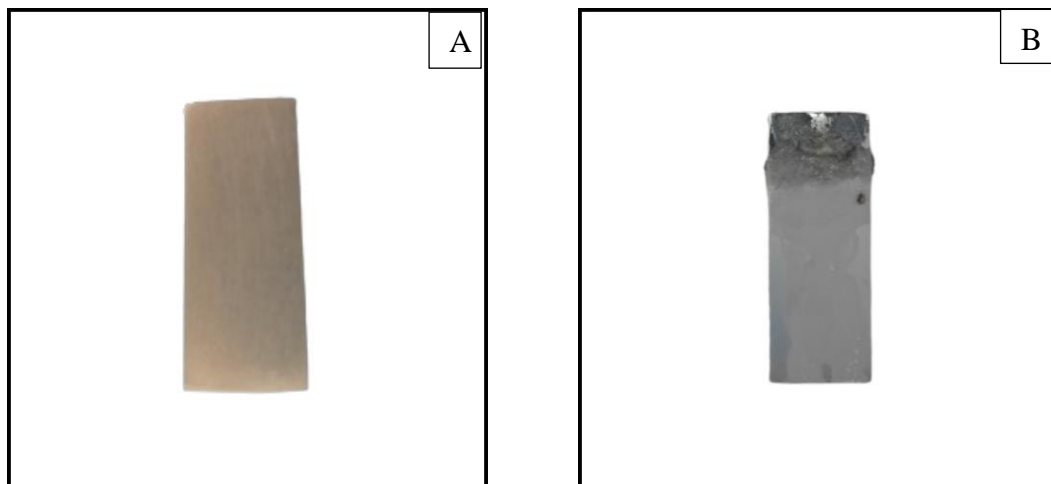
Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																
Studi Literatur	[Blue bar]																																															
Penyusunan Proposal	[Green bar]									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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Pengamatan Visual

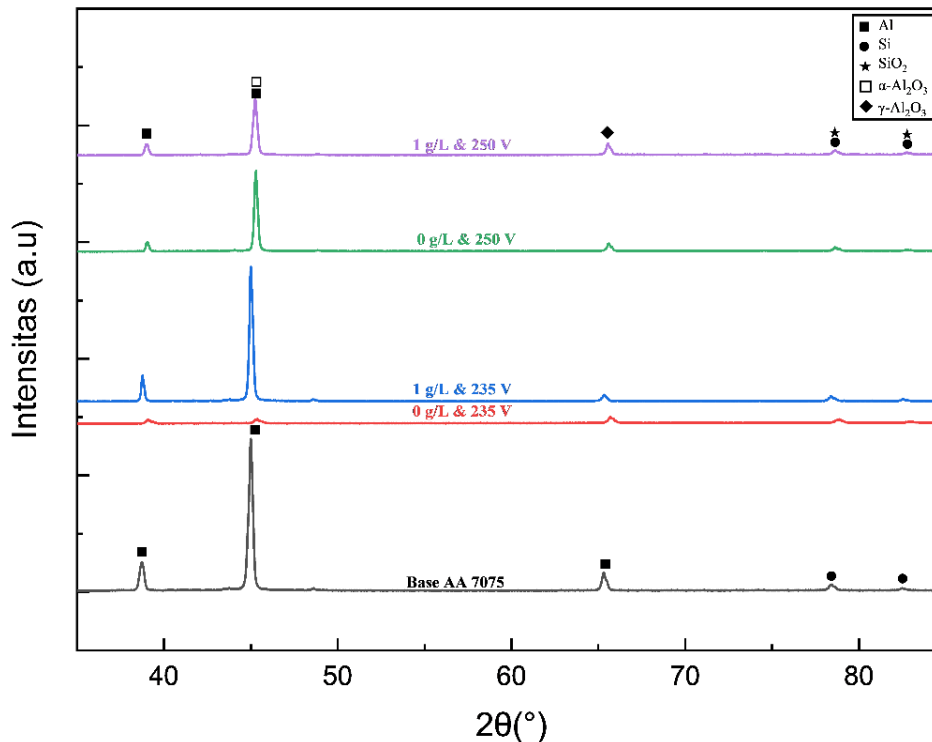
Pengamatan visual pada **Gambar 4.1** menunjukkan perbedaan yang signifikan antara *base material* dengan material yang telah melalui proses PEO. Pada **Gambar 4.1(A)** memperlihatkan spesimen dengan permukaan halus dan tanpa tanda-tanda oksidasi atau perubahan struktur permukaan yang signifikan. Hal tersebut dikarenakan sebelum dilakukan proses pelapisan dilakukan proses preparasi dengan cara mengamplas permukaan AA 7075 menggunakan kertas abrasif hingga *grade* 1200. *Base material* terlihat homogen tanpa adanya cacat visual atau perubahan warna, yang mengindikasikan bahwa spesimen berada dalam kondisi baik dan tidak mengalami proses oksidasi. Sementara itu, pada **Gambar 4.1(B)** yang menunjukkan spesimen setelah proses PEO pada spesimen yang telah dikenai proses PEO dengan variasi penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial sebesar 250 V, terlihat adanya lapisan yang lebih kasar dan berwarna putih keabu-abuan pada permukaan spesimen. Perubahan ini menunjukkan bahwa proses PEO telah menyebabkan pembentukan lapisan oksida di permukaan spesimen, yang dapat meningkatkan sifat permukaan seperti ketahanan terhadap korosi dan kekerasan (Zhang et al., 2022). Lapisan oksida yang terbentuk pada spesimen setelah proses PEO pada **Gambar 4.1(B)** juga menunjukkan karakteristik morfologi yang khas dari proses ini, seperti kekasaran permukaan dan perubahan warna yang merupakan hasil dari reaksi elektrokimia pada permukaan logam. Pengamatan secara visual ini menunjukkan bahwa proses pelapisan dengan menggunakan metode PEO tidak hanya memodifikasi sifat permukaan material tetapi juga dapat mempengaruhi penampilan visual material secara signifikan.



Gambar 4.1 Pengamatan visual spesimen A) sebelum proses PEO, B) sesudah proses PEO

4.2 Analisis Fasa Hasil Pengujian XRD

Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada **Gambar 4.2**. Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa terdapat beberapa *peak* yang berbeda pada sampel *base material* AA 7075 dengan sampel yang telah melalui proses pelapisan menggunakan metode PEO. Hasil dari pengujian XRD akan dianalisa menggunakan *software X-Pert High Score Plus* untuk mengetahui serta membandingkan *peak* yang muncul sesuai dengan standar *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) sesuai dengan fasa yang muncul.



Gambar 4.2 Hasil Perbandingan Pengujian XRD *Base Material* dan Spesimen Setelah Proses PEO

Puncak yang berbetuk runcing dan sempit menunjukkan kristalinitas yang tinggi pada senyawa yang terbentuk. Pada hasil pengujian XRD yang dilakukan pada *base material* AA 7075 ditemukan puncak-puncak difraksi pada $2\theta = 38,7519^\circ$; $44,8094^\circ$; $65,2978^\circ$; $78,4007^\circ$; $82,4823^\circ$. Analisa XRD menggunakan data ICDD pada *base material* menunjukkan bahwa pada *base material* didominasi oleh fasa aluminium. Fasa aluminium ditemukan pada posisi $2\theta = 38,7519^\circ$; $44,8094^\circ$; $65,2978^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik. Sedangkan fasa *silicon* ditemukan pada posisi $2\theta = 78,4007^\circ$; $82,4823^\circ$ dengan kode referensi ICDD 00-047-1186 dan memiliki struktur kristal *hexagonal*. Pada hasil XRD sampel yang telah melalui proses pelapisan menggunakan metode PEO menunjukkan puncak-puncak difraksi yang tidak jauh berbeda dengan puncak difraksi yang dihasilkan oleh difraksi sinar-X *base material* meskipun pada 2θ tertentu memiliki perbedaan sebagai tanda terbentuknya fasa baru sebagai hasil dari proses pelapisan menggunakan metode PEO.

Berdasarkan pola difraksi sinar-X pada **Gambar 4.2** sampel PEO menunjukkan terbentuknya fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan SiO_2 pada puncak-puncak tertentu. Pada spesimen dengan proses PEO dengan variasi 0 g/L tepung tapioka dan beda potensial 235 V ditemukan fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbentuk pada $2\theta = 45,3346^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, fasa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbentuk pada $2\theta = 65,698^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, dan fasa SiO_2 terbentuk pada $2\theta = 78,8999^\circ$; $83,0053^\circ$ dengan kode referensi ICDD 00-047-1186 dan memiliki struktur kristal *hexagonal*. Pada spesimen dengan proses PEO dengan variasi 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 235 V ditemukan fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbentuk pada $2\theta = 44,9946^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, fasa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbentuk pada $2\theta = 65,2951^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, dan fasa SiO_2 terbentuk pada $2\theta = 78,3779^\circ$; $82,5157^\circ$ dengan kode referensi ICDD 00-047-1186 dan memiliki struktur kristal *hexagonal*.

Pada spesimen dengan proses PEO dengan variasi 0 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V ditemukan fasa α -Al₂O₃ terbentuk pada $2\theta = 45,28^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, fasa γ -Al₂O₃ terbentuk pada $2\theta = 65,7823^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, dan fasa SiO₂ terbentuk pada $2\theta = 78,6506^\circ$; $82,6717^\circ$ dengan kode referensi ICDD 00-047-1186 dan memiliki struktur kristal *hexagonal*. Pada spesimen dengan proses PEO dengan variasi 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V ditemukan fasa α -Al₂O₃ terbentuk pada $2\theta = 45,2615^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, fasa γ -Al₂O₃ terbentuk pada $2\theta = 65,5423^\circ$ dengan kode referensi adalah ICDD 03-065-2869 dan memiliki struktur kristal kubik, dan fasa SiO₂ terbentuk pada $2\theta = 78,6261^\circ$; $82,7126^\circ$ dengan kode referensi ICDD 00-047-1186 dan memiliki struktur kristal *hexagonal*.

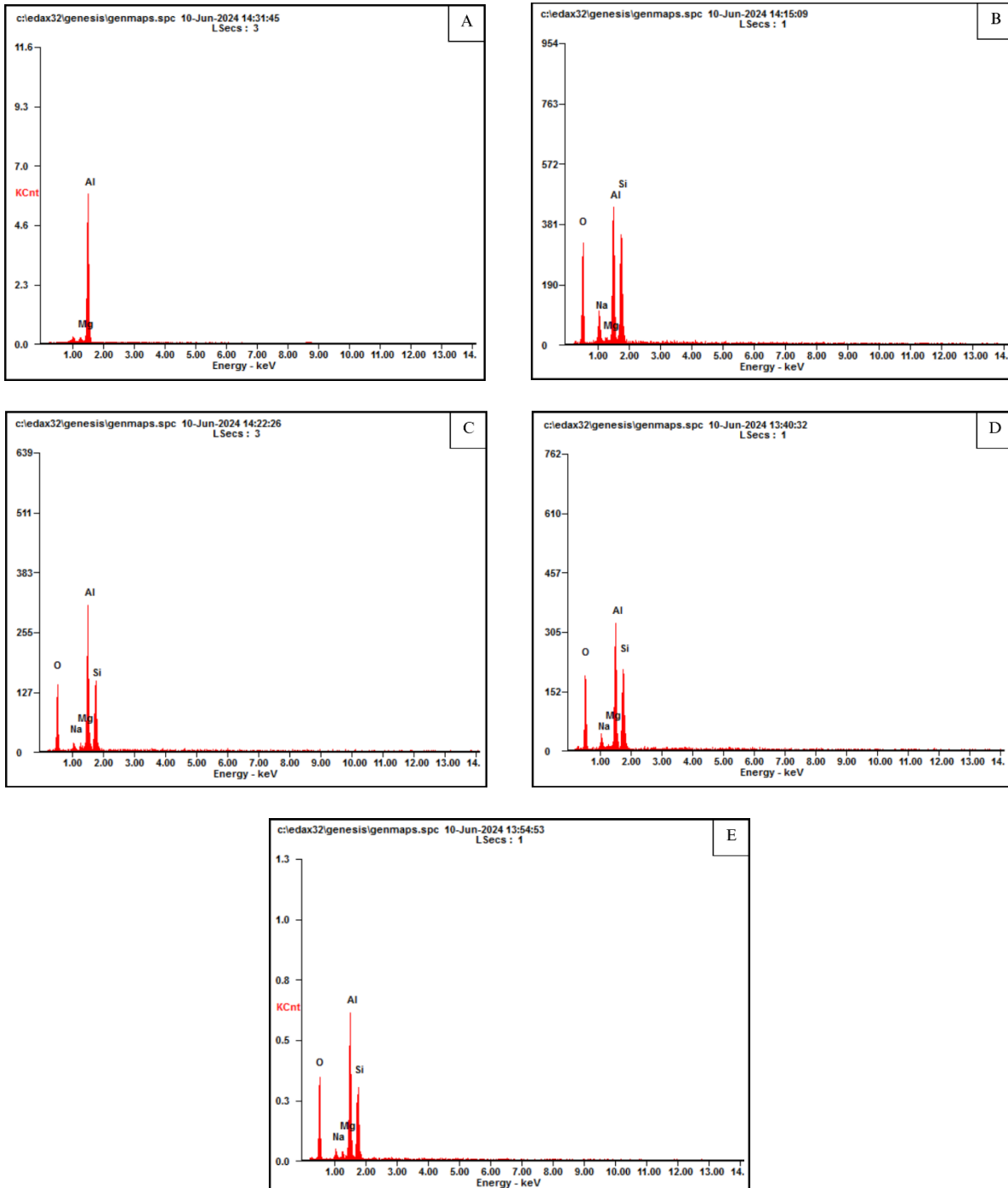
Hasil Analisa XRD ini membuktikan bahwa pelapisan menggunakan metode PEO pada material AA 7075 menghasilkan alumina dan dengan digunakannya larutan elektrolit yang mengandung silikat pada Na₂SiO₃ maka terbentuk fasa SiO₂. Adanya fasa SiO₂ pada lapisan oksida terbentuk dari ionisasi larutan elektrolit yang mengandung Na₂SiO₃ berupa SiO₃²⁻ yang bereaksi membentuk SiO₂ dan terdeposit karena adanya plasma yang dihasilkan selama proses PEO (Han et al., 2018). Sedangkan alumina merupakan fasa khas yang muncul pada paduan aluminium setelah dilakukannya proses PEO. Pada hasil pengujian XRD tersebut juga dapat diketahui bahwa masih terdapat permukaan yang tidak terlapisi secara sempurna, hal tersebut ditunjukkan oleh munculnya puncak aluminium pada material yang telah dilakukan proses PEO (Zhu et al., 2016).

Pada pelapisan dengan metode PEO dengan penambahan tepung tapioka pada larutan elektrolit, maka sebagian NaOH akan bereaksi dengan tepung tapioka sehingga mengurangi pasokan ion OH⁻ dalam larutan (Rachtanapun et al., 2022). Reaksi antara tepung tapioka dengan NaOH hanya mengurangi pasokan ion OH⁻ tanpa menambahkan unsur dari tepung tapioka yaitu C dan H dalam lapisan oksida yang terbentuk. Dari perbandingan hasil pengujian XRD pada sampel yang telah dilakukan proses PEO tanpa penambahan tepung tapioka dan dengan penambahan tepung tapioka tidak menghasilkan fasa baru selain fasa α -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ dan SiO₂. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tepung tapioka tidak menghasilkan unsur kimia baru seperti C dan H pada lapisan aluminium oksida yang dihasilkan selama proses PEO (Khorasanian et al., 2011). Sedangkan variasi beda potensial yang digunakan dalam proses PEO hanya mempengaruhi intensitas dari fasa yang telah terbentuk dan tidak menyebabkan pembentukan fasa baru.

4.3 Analisis Komposisi Hasil EDX

Pada **Gambar 4.3** menunjukkan hasil karakterisasi komposisi kimia menggunakan EDX pada sampel *base* material AA 7075 dan pada sampel hasil pelapisan dengan variasi penambahan konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial. Pada data hasil pengujian EDX terlihat jelas perbedaan komposisi kimia pada *base* material dan pada sampel hasil PEO. Perubahan pada komposisi kimia yang terjadi antara *base* material dengan material yang telah dilakukan proses PEO menunjukkan adanya reaksi kimia dan elektrokimia dalam proses PEO, seperti yang terlihat dari analisis hasil EDX. Pada data tersebut dapat diketahui bahwa pada sampel *base* material menunjukkan adanya kandungan unsur Al dan Mg pada *base* material. Sedangkan pada sampel hasil pelapisan menunjukkan adanya kandungan unsur Al, Si, Mg, Na, dan O. Sedangkan unsur Na yang muncul pada hasil EDX berasal dari larutan elektrolit Na₂SiO₃ yang digunakan pada proses PEO. Dari hasil karakterisasi EDX dapat dilihat bahwa lapisan yang terbentuk didominasi unsur Al, Si dan O. Hal tersebut ditunjukkan pada **Tabel 4.1** dimana unsur Al, Si, dan O merupakan unsur yang mendominasi setelah dilakukannya proses PEO dengan persentase lebih dari 25% Wt. Hasil analisis EDX juga menunjukkan bahwa

penambahan tepung tapioka pada elektrolit yang digunakan dan semakin besar voltase yang digunakan maka fasa aluminium oksida (Al_2O_3) yang terbentuk semakin banyak. Selain itu juga unsur yang mendominasi juga memperkuat analisa XRD sebelumnya bahwa pada lapisan oksida yang terbentuk dari proses pelapisan metode PEO terbentuk fasa Al_2O_3 dan SiO_2 .



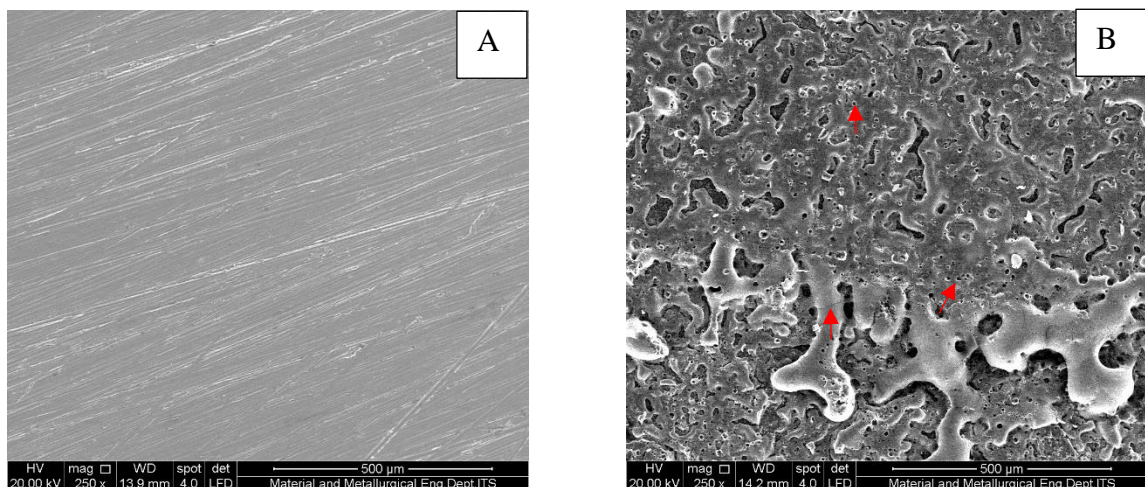
Gambar 4.3 Hasil EDX A) Base Material, B) PEO 0 g/L & 235 V, C) PEO 1 g/L & 235 V, D) PEO 0 g/L & 250 V, E) PEO 1 g/L & 250 V

Tabel 4.1 Hasil EDX Komposisi Unsur

Sampel	Variasi		Element (Wt %)				
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)	O	Na	Mg	Al	Si
AA 7075	-	-	-	-	3,23	96,77	-
AA 7075 + PEO	0	235	39,34	6,02	1,28	25,02	28,35
	1		38,18	2,73	1,87	32,02	25,2
PEO	0	250	38,51	3,32	1,39	29,87	26,92
	1		39,85	2,73	1,75	30,42	25,24

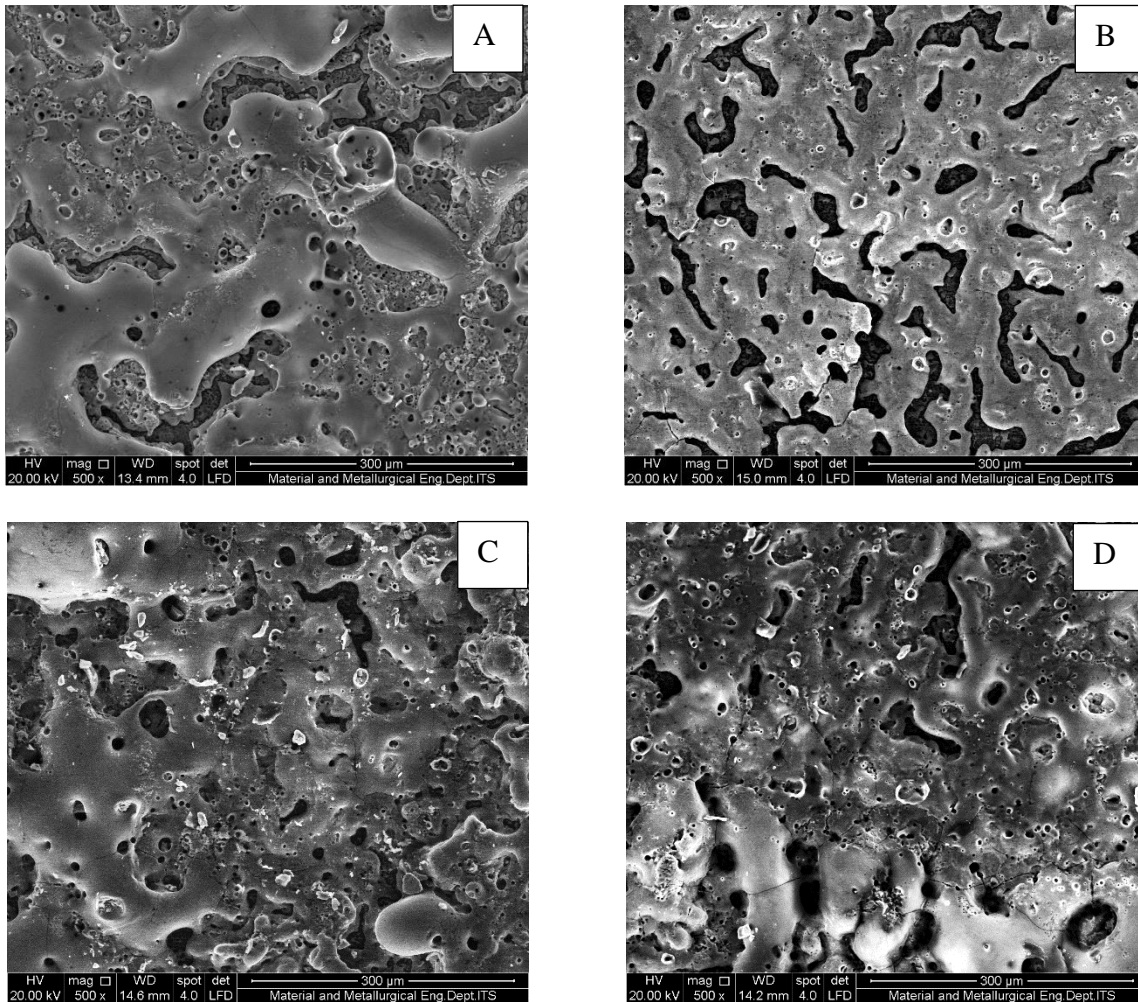
4.4 Analisis Morfologi

Hasil pengamatan morfologi permukaan pada spesimen tanpa perlakuan PEO dan spesimen dengan proses PEO ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. Pada **Gambar 4.4(A)** menunjukkan permukaan spesimen AA 7075 tanpa melalui perlakuan PEO yang telah diamplas hingga *grade* 1200. Pada gambar morfologi tersebut terlihat bahwa adanya goresan halus searah yang menunjukkan bahwa spesimen tersebut telah mengalami proses pengamplasan. Sebaliknya, pada **Gambar 4.4(B)** menunjukkan morfologi permukaan spesimen yang telah mengalami proses PEO yang ditunjukkan oleh adanya morfologi lapisan berpori dan adanya *microcrack* yang ditunjukkan oleh anak panah berwarna merah. Selain itu juga pada **Gambar 4.4(B)** terdapat struktur seperti jaringan dengan variasi topografi yang jelas, serta adanya *microcrack* dan *multipores* yang menandai hasil dari interaksi elektrokimia selama proses PEO. Struktur berpori dengan adanya *microcrack* pada permukaan sampel menjadi ciri khas dari sampel yang telah diberi perlakuan pelapisan dengan metode PEO. Hal ini disebabkan oleh terlemparnya lelehan oksida logam dan gas yang keluar melalui saluran yang terbentuk selama proses PEO (Saikiran et al., 2019). Lapisan oksida yang terbentuk pada proses PEO berfungsi sebagai pelindung tambahan bagi substrat logam, meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan keausan (Zhang et al., 2022).



Gambar 4.4 Morfologi permukaan spesimen A) Tanpa PEO, B) Dengan PEO (250x perbesaran)

Pada **Gambar 4.5** menunjukkan morfologi permukaan pada spesimen yang telah dikenai proses pelapisan menggunakan metode PEO. Gambar morfologi permukaan hasil PEO diambil dengan menggunakan SEM perbesaran 500x. Pengamatan SEM pada perbesaran 500x memberikan gambaran rinci tentang perubahan morfologi yang terjadi akibat perlakuan PEO dengan variasi penambahan tepung tapioka dan beda potensial yang digunakan.



Gambar 4.5 Hasil SEM morfologi permukaan spesimen A) PEO 0 g/L & 235 V, B) PEO 1 g/L & 235 V, C) PEO 0 g/L & 250 V, D) PEO 1 g/L & 250 V (500x perbesaran)

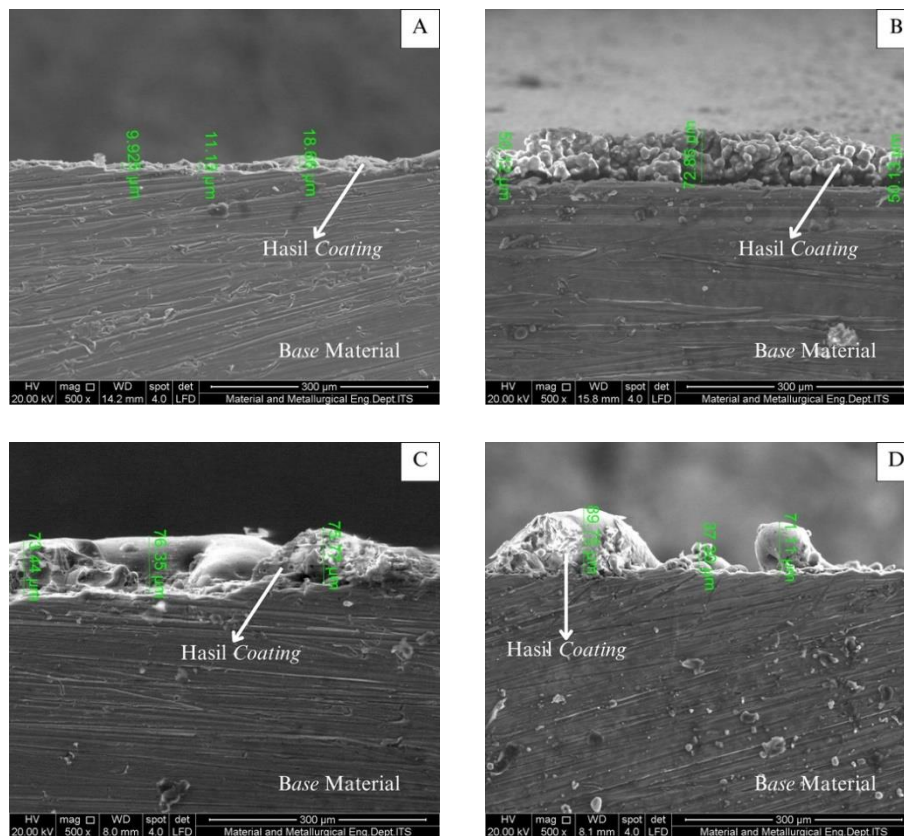
Pada **Gambar 4.5(A)** terlihat bahwa permukaan spesimen yang mengalami PEO dengan penambahan tepung tapioka 0 g/L pada beda potensial 235 V menunjukkan struktur yang relatif halus dengan beberapa *micropores* yang tersebar. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan tepung tapioka, permukaan tetap homogen dengan cacat yang minimal. Pada **Gambar 4.5(B)** menunjukkan hasil yang berbeda dengan penambahan tepung tapioka 1 g/L pada beda potensial 235 V. Permukaan yang dihasilkan lebih kasar dengan banyak *micropores* dan beberapa *microcracks*. Pada **Gambar 4.5(C)** terlihat bahwa peningkatan beda potensial tanpa adanya penambahan tepung tapioka menyebabkan pembentukan lebih banyak *micropores* dibandingkan dengan **Gambar 4.5(A)**. Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan beda potensial mendorong aktivitas elektrokimia yang lebih intens sehingga menghasilkan morfologi permukaan yang lebih kompleks dengan *micropores* yang lebih banyak. Meskipun demikian, jumlah *microcracks* masih relatif rendah, yang menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan tidak cukup untuk memicu retakan yang signifikan. Pada **Gambar 4.5(D)** menunjukkan

morfologi permukaan yang sangat kasar dan berpori dengan banyak *micropores* dan *microcracks*. Kombinasi dari konsentrasi tepung tapioka yang tinggi dan beda potensial yang tinggi menghasilkan morfologi permukaan yang sangat berbeda dan signifikan dibandingkan dengan spesimen yang lain. Dengan banyaknya pori yang terbentuk selama proses pelapisan akan mempengaruhi ketahanan korosi pada material tersebut.

Dari **Gambar 4.5** dapat diketahui bahwa tepung tapioka yang ditambahkan ke dalam elektrolit berkontribusi pada pembentukan lapisan oksida yang lebih berpori. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi elektrolit yang digunakan dalam pelapisan dengan metode PEO dapat meningkatkan intensitas *micro arc discharge* sehingga dapat meningkatkan jumlah *micropores* yang dihasilkan selama proses PEO berlangsung (Ono et al., 2017). Selain itu juga penggunaan beda potensial yang semakin tinggi akan memperbesar ukuran pori yang dihasilkan pada permukaan hasil proses PEO.

4.5 Analisis Ketebalan Lapisan *Coating*

Pada **Gambar 4.6** menunjukkan penampang melintang dari spesimen yang telah melalui proses PEO. Ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* pada penampang melintang spesimen dengan perbesaran 500x. Penambahan tepung tapioka pada larutan elektrolit dan variasi beda potensial yang digunakan selama proses PEO memiliki pengaruh terhadap morfologi dan ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa lapisan hasil PEO yang terbentuk pada spesimen PEO dengan penambahan tepung tapioka lebih padat dan merata di permukaan. Penambahan tepung tapioka dapat meningkatkan viskositas larutan elektrolit serta mengurangi turbulensi dalam proses PEO yang disebabkan oleh *plasma discharge*. Dengan demikian, ion oksigen dari larutan elektrolit dapat lebih efisien mencapai permukaan spesimen dan membentuk lapisan oksida yang padat dan merata (Khorasanian et al., 2011).



Gambar 4.6 Hasil SEM penampang melintang spesimen A) PEO 0 g/L & 235 V, B) PEO 1 g/L & 235 V, C) PEO 0 g/L & 250 V, D) PEO 1 g/L & 250 V (500x perbesaran)

Pada **Tabel 4.2** menunjukkan ketebalan yang dihasilkan oleh spesimen dengan variasi penambahan tepung tapioka dan beda potensial. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan tepung tapioka serta beda potensial yang digunakan dapat memperbesar ketebalan hasil lapisan oksida yang terbentuk. Pada tegangan 235 V, ketebalan lapisan yang dihasilkan oleh spesimen yang dikenai proses PEO tanpa penambahan tepung tapioka mencapai 13,24 μm . Sebaliknya, pada tegangan 250 V, ketebalan lapisan meningkat menjadi 75,19 μm . Peningkatan tegangan dari 235 V ke 250 V pada PEO tanpa penambahan tepung tapioka menghasilkan peningkatan ketebalan lapisan lebih dari lima kali lipat. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan memberikan energi yang lebih besar untuk proses pembentukan lapisan serta mempercepat pertumbuhan lapisan oksida. Penambahan tepung tapioka 1 g/L pada tegangan 235 V meningkatkan ketebalan lapisan menjadi 57,7 μm , hampir lima kali lipat dari ketebalan yang dihasilkan tanpa tepung tapioka pada tegangan yang sama. Di sisi lain, pada tegangan 250 V, penambahan tepung tapioka malah mengurangi ketebalan lapisan menjadi 66,05 μm . Tegangan yang lebih tinggi biasanya meningkatkan ketebalan lapisan pada PEO tanpa penambahan tepung tapioka, tetapi ketika tepung tapioka ditambahkan, ketebalan lapisan sedikit menurun dibandingkan dengan kondisi tanpa tepung tapioka pada tegangan yang lebih rendah. Efek ini disebabkan oleh pengaruh tegangan tinggi yang menyebabkan pengendapan partikel tepung tapioka secara tidak optimal atau perubahan pada mekanisme pembentukan lapisan.

Tabel 4.2 Ketebalan Lapisan Oksida

Variasi		Ketebalan Lapisan (μm)			
Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)	t ₁	t ₂	t ₃	Rata-Rata
0	235	9,92	11,13	18,66	13,24
1		50,12	72,85	50,13	57,7
0	250	73,44	76,35	75,77	75,19
1		89,75	37,3	71,11	66,05

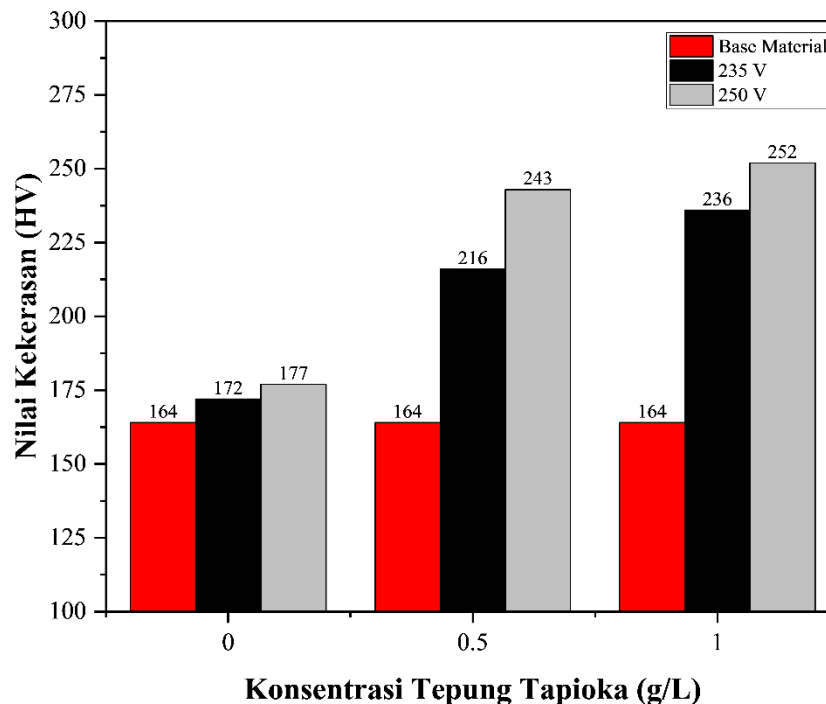
Sifat *thickening* atau mengentalkan dan *gelling* atau pembentuk gel dari tepung tapioka merupakan sifat yang penting dan dapat memberikan karakteristik produk yang lebih baik (Imanningsih, 2012). Lapisan gel yang terbentuk dalam proses gelatinisasi tepung tapioka memiliki sifat termal yang baik, sehingga ketika temperatur meningkat maka konsentrasi tepung tapioka yang mengalami proses gelatinisasi akan meningkat serta menyebabkan lapisan gel yang terbentuk semakin tebal. Selain itu juga plasma yang terbentuk di sekitar anoda akan lebih stabil dan lebih seragam serta akan membentuk film oksida yang tebal, padat, dan seragam (Khorasanian et al., 2011).

4.6 Analisis Kekerasan

Analisa kekerasan yang dilakukan menggunakan uji kekerasan *Vickers*, pada masing - masing sampel dilakukan pengujian dengan memberi beban 30 kgf selama 10 detik dan setelah itu diukur diagonal indentasi d_1 dan d_2 sehingga didapat nilai kekerasan spesimen.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Sampel	Variasi		Diagonal (mm)		Nilai Kekerasan (HV)
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)	d ₁	d ₂	
AA 7075	-	-	0,588	0,578	164
	0		0,58	0,558	172
	0,5	235	0,504	0,51	216
AA 7075 + PEO	1		0,498	0,472	236
	0		0,57	0,55	177
	0,5	250	0,55	0,406	243
	1		0,478	0,461	252



Gambar 4.7 Diagram Nilai Kekerasan *Base Material* dan Spesimen Setelah Proses PEO

Pada **Gambar 4.7** menunjukkan bahwa kekerasan lapisan yang terbentuk pada proses PEO sangat dipengaruhi oleh konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial. Spesimen yang telah dilakukan proses pelapisan menggunakan metode PEO dengan variasi penambahan tepung tapioka 1 g/L dan beda potensial 250 V memiliki kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain. Spesimen PEO tersebut mengalami kenaikan yang sangat tinggi sekitar 154% dari kekerasan *base material* yaitu sebesar 252 HV.

Proses PEO yang menggunakan larutan elektrolit yang mengandung tepung tapioka dan NaOH akan menyebabkan sebagian NaOH bereaksi dengan tepung tapioka sehingga mengurangi jumlah ion OH⁻ dalam larutan. Dengan berkurangnya jumlah OH⁻ yang tersedia dalam larutan, intensitas plasma yang terbentuk akan menurun sehingga mengakibatkan lapisan

oksida yang terbentuk menjadi lebih padat dan keras (Lawal et al., 2008). Selain itu juga kekerasan lapisan yang terbentuk meningkat secara *linear* dengan meningkatnya tegangan karena ketika tegangan meningkat maka menyebabkan pelepasan energi yang tinggi dalam reaksi dan lebih banyak pelepasan panas per satuan waktu plasma yang dibentuk oleh suhu yang lebih tinggi. Pada temperatur yang lebih tinggi, γ -Al₂O₃ diubah menjadi α -Al₂O₃. Selain itu juga dengan bertambahnya *duty cycle*, kekerasan lapisan yang terbentuk juga meningkat secara *linier*. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *duty cycle*, maka temperatur juga semakin tinggi sehingga mengakibatkan α -Al₂O₃ yang terbentuk semakin meningkat (Chai et al., 2023).

4.7 Analisis Densitas

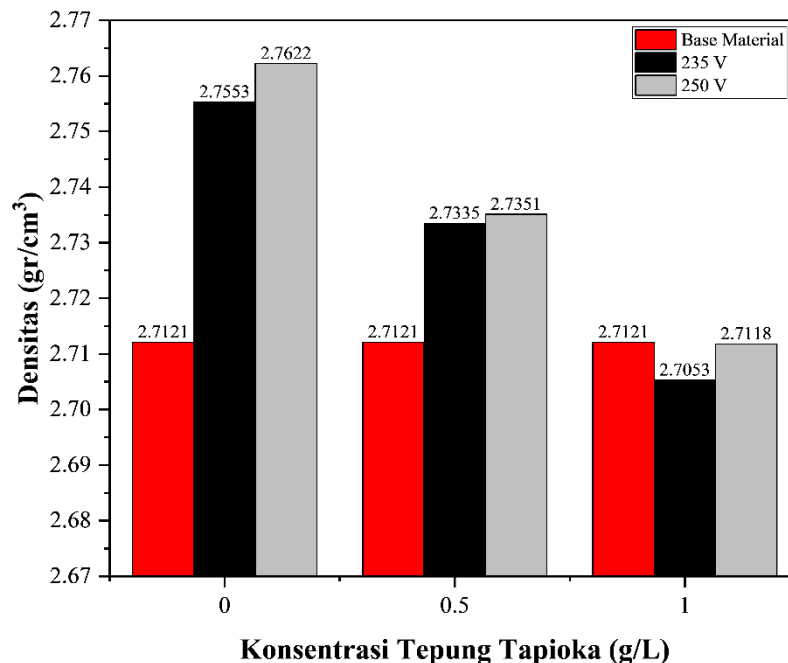
Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) adalah metode yang digunakan untuk meningkatkan sifat permukaan logam, seperti kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan korosi, dengan menciptakan lapisan oksida keras pada permukaan (Lu et al., 2019). Proses ini juga mempengaruhi densitas material karena lapisan yang terbentuk dapat memiliki densitas yang berbeda dibandingkan dengan *base* material. Pada **Tabel 4.4** menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan pada *base* material dan pada material yang telah melalui proses PEO.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Densitas

Sampel	Variasi		Massa Sampel (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)			
AA 7075	-	-	20,4492	7,54	2,7121
	0		20,7753	7,54	2,7553
	0,5	235	20,6103	7,54	2,7335
AA 7075 + PEO	1		20,3981	7,54	2,7053
	0		20,8273	7,54	2,7622
	0,5	250	20,6226	7,54	2,7351
	1		20,447	7,54	2,7118

Pada **Tabel 4.4** menunjukkan bahwa *base* material memiliki densitas sebesar 2,7121 gr/cm³. Ketika proses pelapisan dengan metode PEO diterapkan pada variasi beda potensial 235 V dengan variasi konsentrasi tepung tapioka, terdapat perubahan pada densitas material. Pada konsentrasi 0 g/L, densitas material adalah 2,7553 gr/cm³, nilai tersebut lebih tinggi daripada nilai nilai densitas *base* material. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan PEO yang dihasilkan pada kondisi ini menambah massa tanpa secara signifikan meningkatkan volume total sampel, sehingga meningkatkan densitas. Dengan peningkatan konsentrasi tepung tapioka hingga 1 g/L, densitas menurun hingga 2,7053 gr/cm³. Pada variasi beda potensial yang lebih tinggi, yaitu 250 V serta pada variasi konsentrasi tepung tapioka 0 g/L, densitas mencapai 2,7622 gr/cm³, yang juga lebih tinggi dari nilai densitas *base* material. Hal tersebut menunjukkan lapisan PEO yang lebih padat atau lebih tebal dibandingkan dengan yang dihasilkan pada variasi beda potensial 235 V. Namun, dengan peningkatan konsentrasi tepung tapioka menjadi 1 g/L, densitas mengalami penurunan hingga 2,7118 gr/cm³. Hal tersebut menunjukkan bahwa tepung tapioka yang ditambahkan ke dalam elektrolit berkontribusi pada pembentukan lapisan oksida yang lebih berpori dengan demikian akan menyebabkan penurunan densitas material. Selain itu

juga data tersebut didukung oleh hasil morfologi lapisan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5** dimana penambahan tepung tapioka mengakibatkan terbentuknya lapisan oksida berpori. Selain itu juga peningkatan beda potensial yang digunakan dalam proses PEO *linear* dengan peningkatan densitas material. Beda potensial yang lebih tinggi dapat menghasilkan lapisan yang lebih padat atau lebih tebal yang dapat meningkatkan densitas material (Qi et al., 2023).



Gambar 4.8 Diagram Nilai Densitas *Base Material* dan Spesimen Setelah Proses PEO

4.8 Analisis Keausan

Pada **Tabel 4.5** menunjukkan perbandingan nilai koefisien gesek pada berbagai variasi konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa penambahan tepung tapioka dan variasi beda potensial mempengaruhi massa awal dan akhir sampel serta total massa aus yang kemudian berkontribusi pada nilai koefisien gesek. Pada sampel *base material*, nilai koefisien gesek mencapai 0,5076. Sedangkan pada sampel dengan perlakuan PEO dengan variasi tepung tapioka dan beda potensial, nilai koefisien gesek berkisar antara 0,3529 hingga 0,4788. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan pelapisan menggunakan metode PEO dengan penambahan tepung tapioka dan variasi beda potensial yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap pengurangan koefisien gesek dari material.

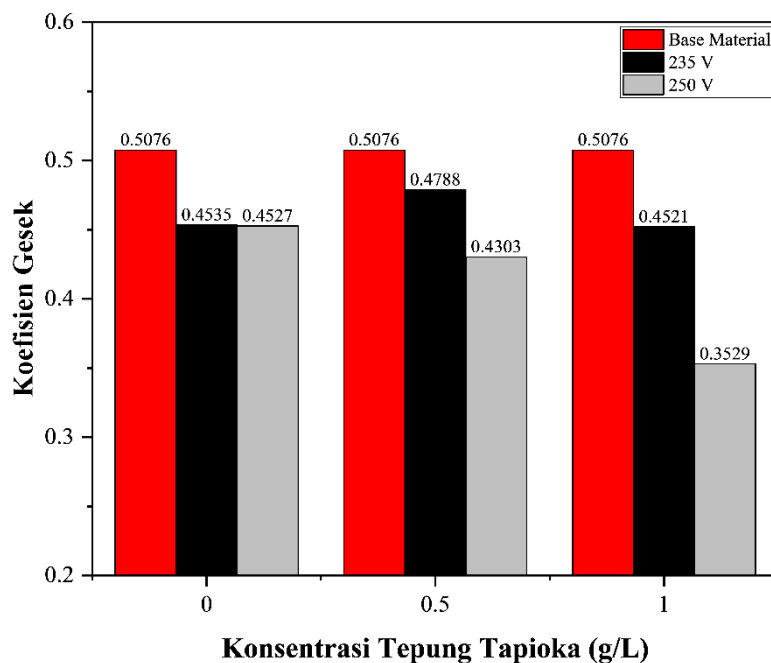
Proses pelapisan dengan metode PEO pada sampel AA 7075 memberikan hasil yang lebih baik dalam mengurangi nilai koefisien gesek dibandingkan dengan sampel tanpa PEO. Penambahan tepung tapioka pada konsentrasi 0,5 g/L dengan beda potensial 235 V menghasilkan koefisien gesek sebesar 0,4788, yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel tanpa PEO yang memiliki nilai 0,5076. Peningkatan konsentrasi tepung tapioka hingga 1 g/L dan beda potensial 235 V menghasilkan nilai koefisien gesek yang sedikit lebih rendah yaitu 0,4521. Penurunan lebih lanjut dalam koefisien gesek terjadi ketika konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial dinaikkan, menunjukkan hubungan langsung antara kondisi eksperimen dan hasil gesekan.

Selain itu, pada sampel AA 7075 dengan perlakuan PEO yang menggunakan variasi beda potensial 250 V, terlihat penurunan koefisien gesek yang signifikan dengan peningkatan konsentrasi tepung tapioka. Pada konsentrasi tepung tapioka 0,5 g/L, koefisien gesek menurun menjadi 0,4303. Penurunan lebih lanjut terlihat pada konsentrasi tepung tapioka 1 g/L dengan

nilai koefisien gesek sebesar 0,3529. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan beda potensial dari 235 V ke 250 V dalam perlakuan PEO secara efektif mengurangi nilai koefisien gesek pada sampel AA 7075 dengan perlakuan PEO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material AA 7075 yang telah melalui proses PEO memiliki koefisien gesek yang lebih rendah dibandingkan dengan *base material*. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat fasa α -Al₂O₃ yang terbentuk pada lapisan tersebut (Premchand et al., 2022).

Tabel 4.5 Hasil Nilai Koefisien Gesek

Sampel	Variasi		Massa Sampel Awal (gr)	Massa Sampel Akhir (gr)	Total Massa Aus (gr)	Koefisien Gesek
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)				
AA 7075	-	-	20,932	20,917	0,015	0,5076
AA 7075 + PEO	0	235	19,866	19,856	0,01	0,4535
	0,5		20,701	20,688	0,013	0,4788
	1		20,488	20,474	0,014	0,4521
	0	250	20,418	20,405	0,013	0,4527
	0,5		20,111	20,102	0,009	0,4303
	1		20,837	20,829	0,008	0,3529



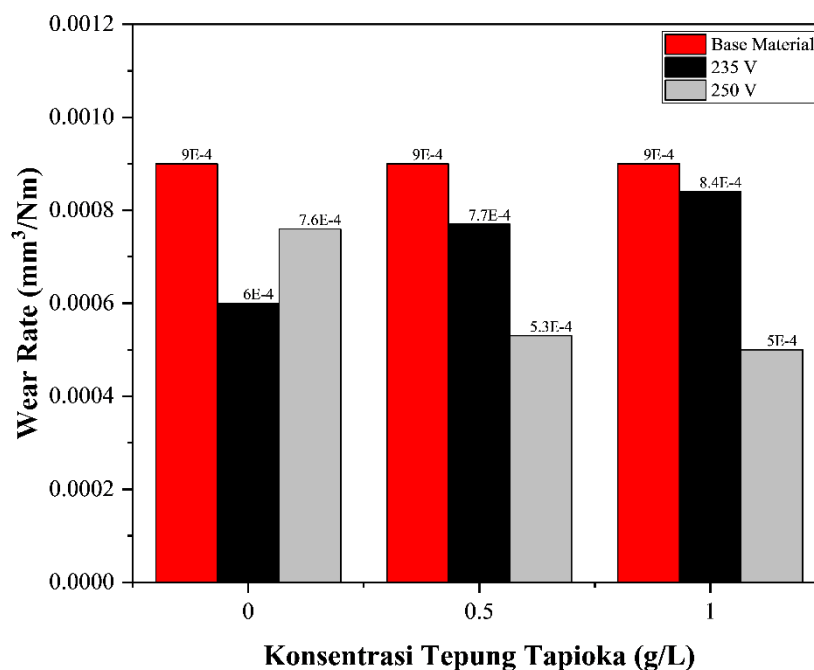
Gambar 4.9 Diagram Nilai Koefisien Gesek *Base Material* dan Spesimen Setelah Proses PEO

Pada **Tabel 4.6** menunjukkan perbandingan nilai *wear rate* pada berbagai variasi konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa

material yang melalui perlakuan PEO dengan penambahan tepung tapioka dan variasi beda potensial memiliki pengaruh signifikan terhadap pengurangan *wear rate*.

Tabel 4.6 Hasil Nilai *Wear Rate*

Sampel	Variasi		Total Massa Aus (gr)	Densitas (gr/mm ³)	Jarak Tempuh (m)	<i>Wear Rate</i> (mm ³ /Nm)
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)				
AA 7075	-	-	0,015	0,002712	205,212	0,0009
	0	235	0,01	0,002755	205,487	0,0006
	0,5		0,013	0,002733	205,154	0,00077
AA 7075 + PEO	1	250	0,014	0,002705	205,325	0,00084
	0		0,013	0,002762	205,39	0,00076
	0,5	0,009	0,002735	205,439	0,00053	
	1	0,008	0,002711	205,389	0,0005	



Gambar 4.10 Diagram Nilai Laju Keausan *Base Material* dan Spesimen Setelah Proses PEO

Hasil nilai koefisien gesek dan *wear rate* pada *base material* dan sampel yang dikenai perlakuan PEO memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh variasi konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial terhadap sifat tribologis pada material AA 7075. Hasil dari **Tabel 4.5** menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial dalam proses PEO secara umum menurunkan koefisien gesek dari material. Sementara itu, **Tabel 4.6** menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial juga berkontribusi pada penurunan *wear rate*. Hasil tersebut dapat menunjukkan bahwa perlakuan PEO dan penambahan tepung tapioka secara signifikan memperbaiki ketahanan aus dan

mengurangi gesekan pada permukaan aluminium. Hal tersebut juga dibuktikan pada pengujian SEM pada **Gambar 4.5** dimana semakin tinggi konsentrasi tepung tapioka dan beda potensial yang diberikan maka permukaan yang terbentuk akan lebih seragam. Selain itu juga, struktur permukaan yang halus dan seragam secara signifikan mengurangi gesekan dan keausan. Lapisan oksida yang terbentuk memiliki ketahanan aus yang tinggi dan mampu menahan kontak gesek dengan baik, menghasilkan koefisien gesek dan *wear rate* terendah pada variasi penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V.

4.9 Analisis Ketahanan Korosi

Lapisan yang dihasilkan oleh proses pelapisan metode PEO umumnya dikenal memiliki ketahanan korosi yang relatif tinggi dan ketahanan permeabilitas yang luar biasa terhadap ion korosif, yang menjadikannya lebih unggul dibandingkan dengan berbagai metode perlakuan permukaan lainnya. Keunggulan ini terutama disebabkan oleh karakteristik lapisan PEO yang padat dan relatif tebal. Lapisan tersebut mengandung bahan keramik kristalin yang inert, keras, dan tahan terhadap suhu tinggi. Lapisan ini tidak hanya memberikan perlindungan yang kuat terhadap proses korosi tetapi juga membatasi penetrasi ion-ion korosif, sehingga memberikan ketahanan yang lebih efektif dalam kondisi lingkungan yang agresif dibandingkan dengan metode pelapisan permukaan konvensional lainnya (Haghighat-Shishavan et al., 2019). Pada **Tabel 4.7** menunjukkan hasil pengujian *salt spray* pada *base* material dan material hasil pelapisan dengan metode PEO. Perhitungan *corrosion rate* material menggunakan metode *weight loss*.

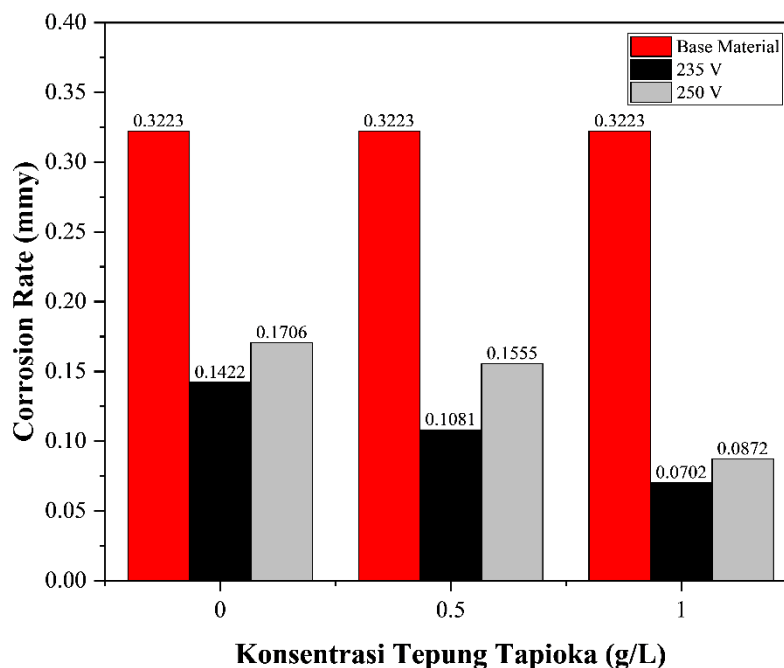
Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Salt Spray*

Sampel	Variasi		Massa Sampel Awal (gr)	Massa sampel pada hari ke-		<i>Corrosion Rate</i> (mmy)
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)		5	7	
AA 7075	-	-	4,1612	4,1448	4,1442	0,3223
	0	235	4,0507	4,046	4,0432	0,1422
	0,5		4,0794	4,0756	4,0737	0,1081
AA 7075 + PEO	1	250	4,6968	4,6936	4,6931	0,0702
	0		4,9875	4,986	4,9785	0,1706
	0,5	4,6077	4,6029	4,5995	0,1555	
	1	4,1623	4,1596	4,1577	0,0872	

Hasil pengujian *salt spray* pada **Tabel 4.7** ini memberikan data tentang ketahanan korosi dari beberapa variasi sampel aluminium 7075, baik *base* material ataupun yang diberi perlakuan dengan PEO dengan tepung tapioka sebagai aditif pada larutan elektrolit. Pengujian *salt spray* merupakan metode yang umum digunakan untuk mengukur ketahanan korosi material dengan cara mensimulasikan kondisi lingkungan yang korosif. Pada **Tabel 4.7** *base* material menunjukkan laju korosi tertinggi sebesar 0,3223 mmy. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi *salt spray*, aluminium 7075 rentan terhadap korosi yang cepat. Tanpa lapisan pelindung, ion klorida dari kabut garam dengan mudah menembus dan bereaksi dengan permukaan aluminium dan membentuk produk korosi. Meskipun paduan aluminium 7075 memiliki kekuatan spesifik dan ketangguhan yang tinggi, kerentanannya terhadap berbagai jenis korosi

lokal seperti korosi *pitting* dan intergranular merupakan tantangan besar dalam industri pesawat terbang sehingga dibutuhkan teknologi pelapisan untuk meningkatkan ketahanan korosi (Hashemzadeh et al., 2021). Hal tersebut dibuktikan pada **Tabel 4.7** bahwa ketika aluminium 7075 diberi perlakuan PEO pada tegangan 235V tanpa tambahan tepung tapioka, laju korosi menurun signifikan menjadi 0,1422 mmy. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan oksida yang terbentuk selama proses PEO cukup efektif dalam melindungi material dari korosi. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang fisik yang mencegah penetrasi ion klorida ke dalam substrat aluminium. Penambahan 1 g/L tepung tapioka pada tegangan 235V lebih lanjut meningkatkan ketahanan korosi, dengan laju korosi hanya sebesar 0,0702 mmy. Tepung tapioka memiliki peran dalam memperbaiki struktur lapisan oksida, membuatnya lebih padat dan seragam. Hal ini terlihat dari morfologi SEM **Gambar 4.5** yang menunjukkan pori-pori yang lebih halus dan teratur.

Pada variasi beda potensial sebesar 250V, laju korosi sedikit meningkat. Hal tersebut terlihat pada **Tabel 4.7** yang menunjukkan hasil PEO tanpa tepung tapioka memiliki laju korosi sebesar 0,1706 mmy. Tegangan yang lebih tinggi menyebabkan pembentukan lapisan oksida yang lebih cepat tetapi kurang terkontrol, menghasilkan pori-pori yang lebih besar dan struktur yang lebih kasar seperti yang terlihat pada morfologi SEM pada **Gambar 4.5**. Selain itu juga dengan penambahan tepung tapioka pada tegangan 250V, laju korosi dapat dikurangi namun tidak sebaik pada tegangan 235V. Hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.7** dimana dengan 1 g/L tepung tapioka laju korosi yang dihasilkan yaitu sebesar 0,0872 mmy. Morfologi permukaan dan struktur mikro hasil proses pelapisan terbukti memainkan peran penting dalam menentukan ketahanan korosi dengan mempengaruhi jumlah dan ukuran cacat pelapis seperti porositas dan retakan mikro yang terjadi pada permukaan material.



Gambar 4.11 Diagram Nilai Laju Korosi *Base Material* dan Spesimen Setelah Proses PEO

Dari analisis ini, jelas bahwa perlakuan pelapisan dengan menggunakan metode PEO secara signifikan dapat meningkatkan ketahanan korosi pada Paduan aluminium 7075, terutama dengan penambahan tepung tapioka. Variasi beda potensial optimal yang ditemukan adalah 235V dengan penambahan aditif 1 g/L tepung tapioka, memberikan lapisan oksida yang paling efektif dan laju korosi terendah.

4.10 Tabulasi Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.8** untuk mengetahui perbandingan dari hasil semua pengujian yang diperoleh dari spesimen AA 7075 sebelum proses PEO dan spesimen AA 7075 setelah dilakukannya proses PEO. Sehingga dapat diketahui bahwa material yang paling optimum yaitu material dengan proses PEO dengan variasi 1g/L tepung tapioka dan beda potensial 250V

Tabel 4.8 Tabulasi Perbandingan Seluruh Hasil Pengujian

Sampel	Variasi		Hasil Pengujian						
	Konsentrasi Tepung Tapioka (g/L)	Beda Potensial (V)	XRD	SEM-EDX	Kekerasan (HV)	Densitas (gr/cm ³)	Tribologi		Corrosion Rate (mmy)
							Koef. Gesek	Wear Rate (mm ³ /Nm)	
AA 7075	-	-	Al dan Si	Al dan Mg	164	2,7121	0,5076	0,0009	0,3223
AA 7075 + PEO	0 g/L	235 V	Al, α -Al ₂ O ₃ , γ -Al ₂ O ₃ , Si dan SiO ₂	Al, O, dan Si. Ketebalan 13,24 μ m	172	2,7553	0,4535	0,0006	0,1422
	0,5 g/L		-	-	216	2,7335	0,4788	0,00077	0,1081
	1 g/L	250 V	Al, α -Al ₂ O ₃ , γ -Al ₂ O ₃ , Si dan SiO ₂	Al, O, dan Si. Ketebalan 57,7 μ m	236	2,7053	0,4521	0,00084	0,0702
	0 g/L		Al, α -Al ₂ O ₃ , γ -Al ₂ O ₃ , Si dan SiO ₂	Al, O, dan Si. Ketebalan 75,19 μ m	177	2,7622	0,4527	0,00076	0,1706
	0,5 g/L		-	-	243	2,7351	0,4303	0,00053	0,1555
	1 g/L		Al, α -Al ₂ O ₃ , γ -Al ₂ O ₃ , Si dan SiO ₂	Al, O, dan Si. Ketebalan 66,05 μ m	252	2,7118	0,3529	0,0005	0,0872

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengamatan secara visual menunjukkan bahwa proses PEO tidak hanya memodifikasi sifat permukaan material tetapi juga dapat mempengaruhi penampilan visual material secara signifikan. Pada hasil pengujian XRD sampel PEO menunjukkan terbentuknya fasa α -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ dan SiO₂ pada puncak-puncak tertentu. Hal ini membuktikan bahwa pelapisan menggunakan metode PEO pada material AA 7075 menghasilkan alumina dan penggunaan larutan elektrolit yang mengandung silikat pada Na₂SiO₃ maka terbentuk fasa SiO₂. Pada morfologi lapisan oksida yang terbentuk karena proses PEO menunjukkan bahwa tepung tapioka yang ditambahkan ke dalam elektrolit berkontribusi pada pembentukan lapisan oksida yang lebih berpori. Selain itu juga penggunaan beda potensial yang semakin tinggi akan memperbesar ukuran pori yang dihasilkan pada permukaan hasil proses PEO. Ketebalan lapisan oksida juga dipengaruhi oleh tepung tapioka dan beda potensial yang digunakan. Tegangan yang lebih tinggi biasanya meningkatkan ketebalan lapisan pada PEO tanpa penambahan tepung tapioka, tetapi ketika tepung tapioka ditambahkan, ketebalan lapisan sedikit menurun dibandingkan dengan kondisi tanpa tepung tapioka pada tegangan yang lebih rendah. Ketebalan lapisan oksida tertinggi didapatkan pada sampel yang telah melalui proses PEO dengan variasi tepung tapioka 0 g/L dan 250 V yaitu sebesar 75,19 μ m.
2. Berdasarkan pengujian kekerasan, densitas, dan ketahanan aus pada material AA 7075 yang melalui proses PEO dengan variasi penambahan tepung tapioka dan penggunaan beda potensial dapat mempengaruhi kekerasan, densitas, dan ketahanan aus dari material. Nilai kekerasan material yang paling baik yaitu pada material proses PEO dengan penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V yaitu sebesar 252 HV. Sedangkan nilai densitas material yang paling baik yaitu pada material proses PEO dengan penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 235 V yaitu sebesar 2,7053 gr/cm³. Untuk nilai ketahanan aus yang paling baik yaitu pada material proses PEO dengan penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 250 V dengan nilai koefisien gesek sebesar 0,3529 dan nilai *wear rate* sebesar 0,0005 mm³/Nm.
3. Berdasarkan pengujian ketahanan korosi pada material AA 7075 yang melalui proses PEO dengan variasi penambahan tepung tapioka dan penggunaan beda potensial dapat mempengaruhi ketahanan korosi dari material. Ketahanan korosi material yang paling baik yaitu pada material proses PEO dengan penambahan 1 g/L tepung tapioka dan beda potensial 235 V yaitu sebesar 0,0702 mmy.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka saran-saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Pada proses PEO sebaiknya menggunakan *power supply* yang memiliki kemampuan arus yang lebih tinggi sehingga dapat menggunakan larutan elektrolit yang membutuhkan arus dan tegangan yang lebih tinggi serta agar tidak terjadi lonjakan arus secara tiba-tiba pada saat melakukan proses PEO.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai proses PEO untuk memaksimalkan variabel-variabel yang diinginkan agar mendapatkan sifat yang sesuai dalam berbagai aplikasi lainnya.

3. Sebelum melakukan pengujian *salt spray* sebaiknya dilakukan pengecekan alat terlebih dahulu dengan tujuan untuk memastikan alat yang digunakan dapat berfungsi secara maksimal dalam kurun waktu yang diinginkan, agar hasil data yang diperoleh memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. (1990). *ASM Handbook of Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International
- _____. (1994). *ASM Handbook of Surface Engineering*. ASM International
- _____. (2003). *ASM Metal Handbook 2003, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection Vol. 13A*. ASM International
- Altama, A. K., & Purniawan, A. (2017). "EFFECT OF Na₂SiO₃ CONCENTRATION TO MORPHOLOGY AND HARDNESS PROPERTY OF AL₂O₃ COATING ON AL 2024 USING PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2016). Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.014>
- Arunnelliappan, T., Anoop, S., & Rameshbabu, N. (2016). Fabrication of multifunctional black PEO coatings on AA7075 for spacecraft applications. *Surface and Coatings Technology*, 307, 735-746.
- ASTM B209-96. Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate. West Conshohocken: ASTM International
- Auerkari, P. (1996). Mechanical and physical properties of Engineering Alumina Ceramics. Technical Research Centre of Finland.
- Azarmi, F., & Sevostianov, I. (2019). Evolution of thermo-mechanical properties in the process of alumina manufacturing using laser stereolithography technique. *International Journal of Engineering Science*, 144, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.103125>
- Barati, N., Jiang, J., & Meletis, E. I. (2022). Microstructural evolution of ceramic nanocomposites coated on 7075 al alloy by plasma electrolytic oxidation. *Surface and Coatings Technology*, 437, 128345. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128345>
- Birbilis, N., & Hinton, B. (2011). Corrosion and corrosion protection of aluminium. *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, 574–604. <https://doi.org/10.1533/9780857090256.2.574>
- Chai, Y., Yan, J., Wang, C., & Mei, L. (2023). Effect of electrical parameters on the growth and properties of 7075 aluminum alloy film based on scanning micro-arc oxidation with mesh electrode. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 988–998. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.020>
- Dehnavi, V. (2014). *Surface modification of aluminum alloys by plasma electrolytic oxidation*. Electronic Thesis and Dissertation Repository, The University of Western Ontario.
- Dewadi, F. M., Alfianto, E., Nurmalasari, N. P. Y., Sa'diyah, A., Sutiyono, Karyasa, T. B., Fatkhulloh, A., WIBowo, C., Anwar, B., & Roban. (2023). *Konsep Pesawat Terbang Get Press Indonesia*.
- Dynys, F. W., & Halloran, J. W. (1982). Alpha alumina formation in alum-derived Gamma Alumina. *Journal of the American Ceramic Society*, 65(9), 442–448. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1982.tb10511.x>
- Famiyeh, Lord, & Huang, X. (2019). Plasma electrolytic oxidation coatings on aluminum alloys: Microstructures, properties, and applications. *Modern Concepts in Material Science*, 2(1). <https://doi.org/10.33552/mcms.2019.02.000526>
- Fang, Y., Tu, X., Miao, C., Xu, Y., Xie, W., Chen, F., Zhang, Y., & Li, J. (2017). Effect of starch addition in alkaline electrolyte on the characteristics of plasma electrolytic

- oxidation coating on AZ31B mg alloy. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(12), 11473–11478. <https://doi.org/10.20964/2017.12.17>
- Lumley, R. N. (2018). *Fundamentals of aluminium metallurgy: Production, processing and applications*. Woodhead Publishing.
- Haghighat-Shishavan, B., Azari-Khosrowshahi, R., Haghighat-Shishavan, S., Nazarian-Samani, M., & Parvini-Ahmadi, N. (2019). Improving wear and corrosion properties of alumina coating on AA7075 aluminum by plasma electrolytic oxidation: Effects of graphite absorption. *Applied Surface Science*, 481, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.03.069>
- Hakimizad, A., Raeissi, K., Santamaria, M., & Asghari, M. (2018). Effects of pulse current mode on plasma electrolytic oxidation of 7075 AL in NA₂WO₄ containing solution: From unipolar to soft-sparking regime. *Electrochimica Acta*, 284, 618–629. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.07.200>
- Han, J., Cheng, Y., Tu, W., Zhan, T.-Y., & Cheng, Y. (2018). The black and white coatings on ti-6al-4v alloy or pure titanium by plasma electrolytic oxidation in concentrated silicate electrolyte. *Applied Surface Science*, 428, 684–697. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.109>
- Hashemzadeh, M., Raeissi, K., Ashrafzadeh, F., Hakimizad, A., & Santamaria, M. (2021). Incorporation mechanism of colloidal tio₂ nanoparticles and their effect on properties of coatings grown on 7075 al alloy from silicate-based solution using plasma electrolytic oxidation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31(12), 3659–3676. [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(21\)65755-2](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(21)65755-2)
- He, X., Zhang, X., Wang, X., & Qin, L. (2017). Review of antibacterial activity of titanium-based implants' surfaces fabricated by micro-arc oxidation. *Coatings*, 7(3), 45. <https://doi.org/10.3390/coatings7030045>
- Hussein, R. O., & Northwood, D. O. (2014). Production of anti-corrosion coatings on light alloys (al, mg, ti) by plasma-electrolytic oxidation (PEO). *Developments in Corrosion Protection*. <https://doi.org/10.5772/57171>
- Imanningsih, Nelis. (2012). Profil Gelatinisasi Beberapa Formulasi Tepung-tepungan untuk Pendugaan Sifat Pemasakan (Gelatinisation Profile Of Several Flour Formulations For Estimating Cooking Behaviour). *Penelitian Gizi dan Makanan*, vol. 35, no. 1, 2012, pp. 13-22, doi:10.22435/pgm.v35i1.3079.13-22.
- Karaoglanli, A. C., Altuncu, E., Ozdemir, I., Turk, A., & Ustel, F. (2011). Structure and durability evaluation of YSZ+AL₂O₃ composite tbc's with APS and HVOF bond coats under thermal cycling conditions. *Surface and Coatings Technology*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.04.081>
- Kaseem, M., & Dikici, B. (2021). Optimization of surface properties of plasma electrolytic oxidation coating by organic additives: A Review. *Coatings*, 11(4), 374. <https://doi.org/10.3390/coatings11040374>
- Khorasanian, M., Dehghan, A., Shariat, M. H., Bahrololoom, M. E., & Javadpour, S. (2011). Microstructure and wear resistance of oxide coatings on ti-6al-4v produced by plasma electrolytic oxidation in an inexpensive electrolyte. *Surface and Coatings Technology*, 206(6), 1495–1502. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.09.038>
- Kurniawan, E., Muarif, A., & Siregar, K. A. (2022). Pemanfaatan sekam padi dan cangkang sawit sebagai bahan baku briket arang dengan menggunakan perekat tepung tapioka. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ (Vol. 1, No. 1)*.
- L., N., Zhou, X., Birbilis, N., Hughes, A. E., C. Mol, J. M., J., S., Zhou, X., & E., G. (2012). Durability and corrosion of aluminium and its alloys: Overview, property space,

- techniques and developments. *Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications*. <https://doi.org/10.5772/53752>
- Lawal, O. S., Lechner, M. D., & Kulicke, W. M. (2008). The synthesis conditions, characterizations and thermal degradation studies of an etherified starch from an unconventional source. *Polymer Degradation and Stability*, 93(8), 1520–1528. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.05.010>
- Lu, C., Feng, X., Yang, J., Jia, J., Yi, G., Xie, E., & Sun, Y. (2019). Influence of surface microstructure on tribological properties of PEO-PTFE coating formed on aluminum alloy. *Surface and Coatings Technology*, 364, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.02.064>
- Maciver, D. (1963). Catalytic Aluminas I. Surface Chemistry of ETA and Gamma Alumina. *Journal of Catalysis*, 2(6), 485–497. [https://doi.org/10.1016/0021-9517\(63\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0021-9517(63)90004-6)
- Ono, S., Moronuki, S., Mori, Y., Koshi, A., Liao, J., & Asoh, H. (2017). Effect of electrolyte concentration on the structure and corrosion resistance of anodic films formed on magnesium through plasma electrolytic oxidation. *Electrochimica Acta*, 240, 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.04.110>
- Pankade, S. B., Khedekar, D. S., & Gogte, C. L. (2018). The influence of heat treatments on electrical conductivity and corrosion performance of AA 7075-T6 aluminium alloy. *Procedia Manufacturing*, 20, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.007>
- Premchand, C., Manojkumar, P., Lokeshkumar, E., Rama, L. K., Ravisankar, B., & Rameshbabu, N. (2022). Surface characteristics of AC Peo coatings fabricated on Commercial Al Alloys. *Surface and Coatings Technology*, 449, 128975. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128975>
- Qi, X., Li, J., He, Y., Liu, Y., Liu, R., & Song, R. (2023). Study on the wear resistance and corrosion behaviour of self-sealed Mao/zro2 coatings prepared on 7075 aluminium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 969, 172436. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172436>
- Rachtanapun, P., Thanakkasaranee, S., Auras, R. A., Chaiwong, N., Jantanasakulwong, K., Jantrawut, P., Phimolsiripol, Y., Seesuriyachan, P., Leksawasdi, N., Chaiyaso, T., Somman, S. R., Ruksiriwanich, W., Klunklin, W., Reungsang, A., & Ngo, T. M. (2022). Morphology, mechanical, and water barrier properties of carboxymethyl rice starch films: Sodium hydroxide effect. *Molecules*, 27(2), 331. <https://doi.org/10.3390/molecules27020331>
- Rambabu, P., Eswara Prasad, N., Kutumbarao, V. V., & Wanhill, R. J. (2016). Aluminium alloys for aerospace applications. *Aerospace Materials and Material Technologies*, 29–52. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2134-3_2
- Renaldi, I. K. & Purniawan, A. (2018). “THE EFFECT OF OXIDATION TIME TO MORPHOLOGY AND HARDNESS OF AL₂O₃ COATING OF ALUMINIUM 2024 BY PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saikiran, A., Hariprasad, S., Arun, S., Rama, L. K., & Rameshbabu, N. (2019). Effect of electrolyte composition on morphology and corrosion resistance of plasma electrolytic oxidation coatings on aluminized steel. *Surface and Coatings Technology*, 372, 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.05.047>
- Sakti, M. A. & Purniawan, A. (2020). “EFFECT OF VOLTAGE AND OXIDATION TIME VARIATIONS TO STRUCTURE, MORPHOLOGY AND HIGH TEMPERATURE OXIDATION RESISTANCE OF Ti-6Al-4V ALLOY WITH PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD FOR THE APPLICATION OF FAN

- BLADE IN AIRCRAFT MACHINE". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Salamci, E. (2002). Mechanical Properties of Spray Cast 7XXX Series Aluminium Alloys. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26, 345-352.
- Sharma, M. K., Jang, Y., Kim, J., Kim, H., & Jung, J. P. (2014). Plasma electrolytic oxidation in surface modification of metals for electronics. *Journal of Welding and Joining*, 32(3), 27–33. <https://doi.org/10.5781/jwj.2014.32.3.27>
- Shrestha, S., & Dunn, B. D. (2010). Plasma electrolytic oxidation and anodising of aluminium alloys for spacecraft applications. *Surface Engineering of Light Alloys*, 603–641. <https://doi.org/10.1533/9781845699451.3.603>
- Sikdar, S., Menezes, P. V., Maccione, R., Jacob, T., & Menezes, P. L. (2021). Plasma electrolytic oxidation (PEO) process—processing, properties, and applications. *Nanomaterials*, 11(6), 1375. <https://doi.org/10.3390/nano11061375>
- Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., & Takeda, Y. (2014). The principles of starch gelatinization and retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, 05(03), 280–291. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035>
- Uhi, Harry. (2006). Pemanfaatan Gelatin Tepung Sagu (Metroxylon sago) sebagai Bahan Pakan Ternak Ruminansia. *Jurnal Ilmu Ternak*. Vol 6 No 2. 108-111. <https://doi.org/10.24198/jit.v6i2.2277>
- Warren, A.S. (2004). Developments and Challenges for Aluminum - A Boeing Perspective.
- Walsh, F. C., Low, C. T., Wood, R. J., Stevens, K. T., Archer, J., Poeton, A. R., & Ryder, A. (2009). Plasma electrolytic oxidation (PEO) for production of anodised coatings on lightweight metal (al, mg, ti) alloys. *Transactions of the IMF*, 87(3), 122–135. <https://doi.org/10.1179/174591908x372482>
- Xiao, W., & Wang, Y. (2021). Corrosion resistance of aluminum fluoride modified 6061 aluminum alloy. *Materials Letters*, 298, 129932. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129932>
- Zhang, D., Wei, Z., Wang, K., & Li, X. (2022). Brazing of Al₂O₃-6061 aluminum alloy based on femtosecond laser surface groove structure. *Ceramics International*, 48(24), 36953–36960. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.08.263>
- Zhou, B., Liu, B., & Zhang, S. (2021). The advancement of 7xxx series aluminum alloys for Aircraft Structures: A Review. *Metals*, 11(5), 718. <https://doi.org/10.3390/met11050718>
- Zhu, L., Guo, Z., Zhang, Y., Li, Z., & Sui, M. (2016). A mechanism for the growth of a plasma electrolytic oxide coating on al. *Electrochimica Acta*, 208, 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.04.186>


LAMPIRAN

A. Komposisi Unsur AA 7075

PRODUCT QUALITY CERTIFICATE




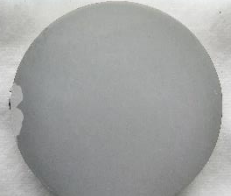
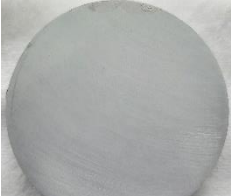


NO.GY19070501

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
G190852	6X1220X2440	0.07	0.18	1.49	0.06	2.58	0.20	5.64	0.02	余量 Remainder
G190853	10X1220X2440	0.07	0.18	1.49	0.06	2.58	0.20	5.64	0.02	余量 Remainder
G190854	20X1220X2440	0.07	0.18	1.5	0.06	2.64	0.22	5.65	0.02	余量 Remainder
G190855	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. Pengamatan Visual Permukaan

Sampel	Visual Permukaan
<i>Base Material AA 7075</i>	
Spesimen PEO dengan 0 g/L tepung tapioka & 235 V	
Spesimen PEO dengan 0.5 g/L tepung tapioka & 235 V	
Spesimen PEO dengan 1 g/L tepung tapioka & 235 V	
Spesimen PEO dengan 0 g/L tepung tapioka & 250 V	
Spesimen PEO dengan 0.5 g/L tepung tapioka & 250 V	
Spesimen PEO dengan 1 g/L tepung tapioka & 250 V	

C. Data ICDD

1. Aluminium (ICDD 03-065-2869)

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 ³):	2,70
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	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.

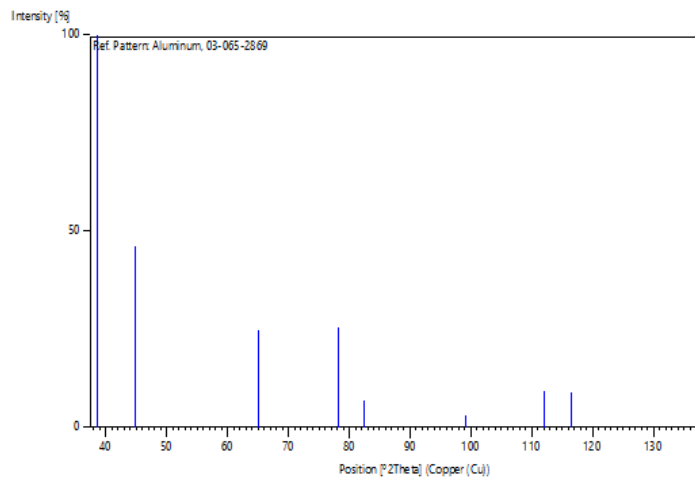
References

Primary reference:	<i>Calculated from NIST using POWD-12++</i>
Structure:	M.E.Straumanis, <i>J. Appl. Phys.</i> , 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. Silicon (ICDD 00-047-1186)

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 ⁶ pm ³):	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.

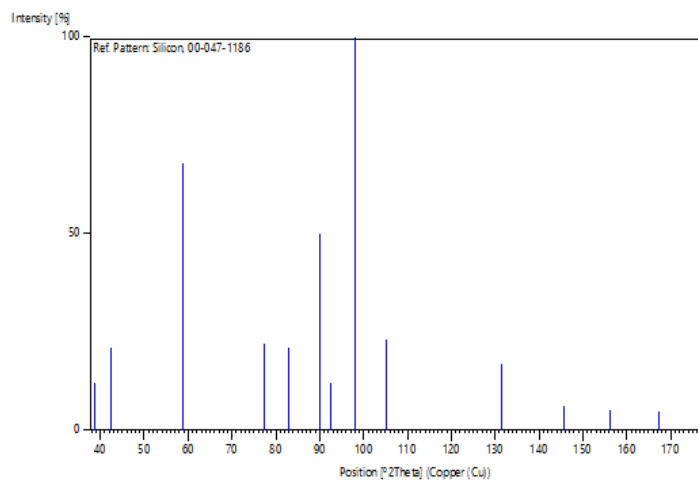
References

Primary reference:	Duclos, S., Vohra, Y., Ruoff, A., <i>Phys. Rev. B: Condens. Matter</i> , 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



3. Silicon Oxide (SiO₂) (ICDD 01-079-1914)

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 ₂ Si
Chemical formula:	SiO ₂

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 ³):	3,15
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	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.

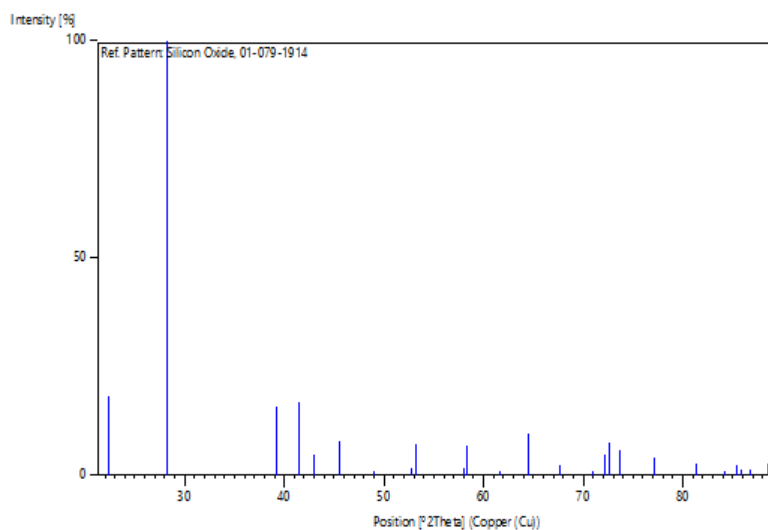
References

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



4. Aluminium Oxide (Al₂O₃) (ICDD 00-001-1304)

Name and formula

Reference code: 00-001-1304
 Compound name: Aluminum Oxide
 PDF index name: Aluminum Oxide
 Empirical formula: Al₂O₃
 Chemical formula: Al₂O₃

Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown
 Measured density (g/cm³): 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

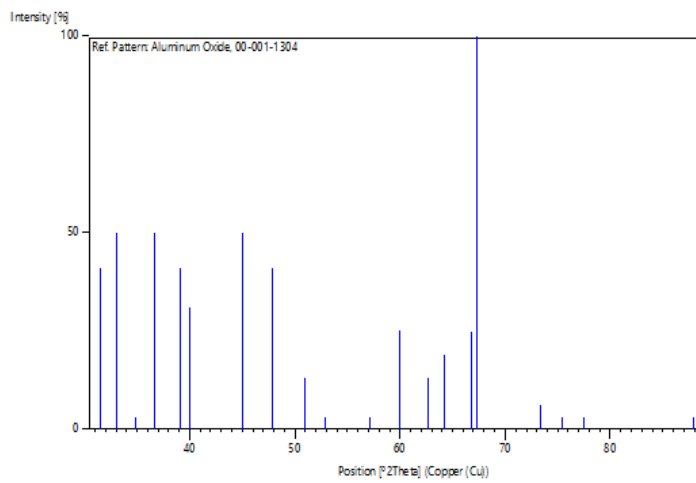
Primary reference: Aluminium Co. of America, New Kensington, PA, USA., *Private Communication*

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

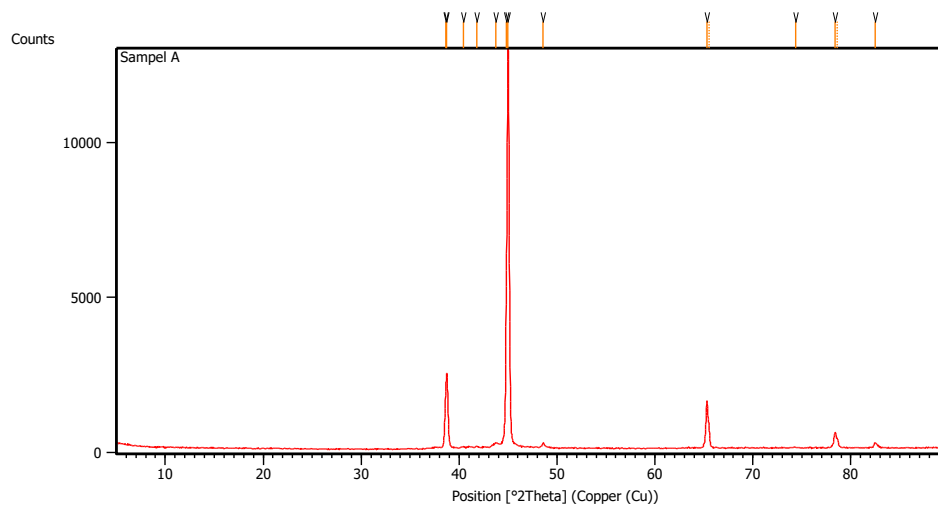
7	2,01000	45,068	50,0
8	1,90000	47,835	41,0
9	1,79000	50,978	13,0
10	1,73000	52,880	3,0
11	1,61000	57,168	3,0
12	1,54000	60,026	25,0
13	1,48000	62,728	13,0
14	1,45000	64,179	19,0
15	1,40000	66,763	25,0
16	1,39000	67,307	100,0
17	1,29000	73,330	6,0
18	1,26000	75,374	3,0
19	1,23000	77,549	3,0
20	1,11000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

Stick Pattern



D. Hasil Pengujian XRD

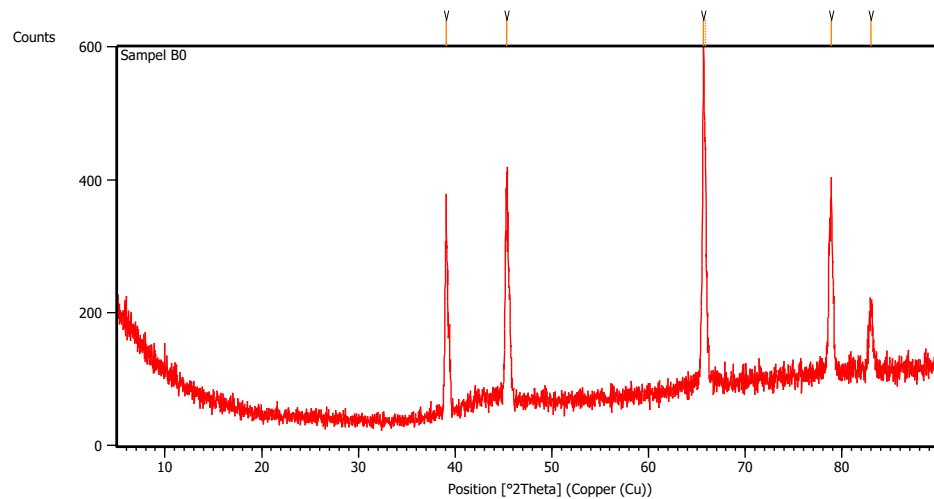
1. Spesimen *Base Material AA 7075*



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	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

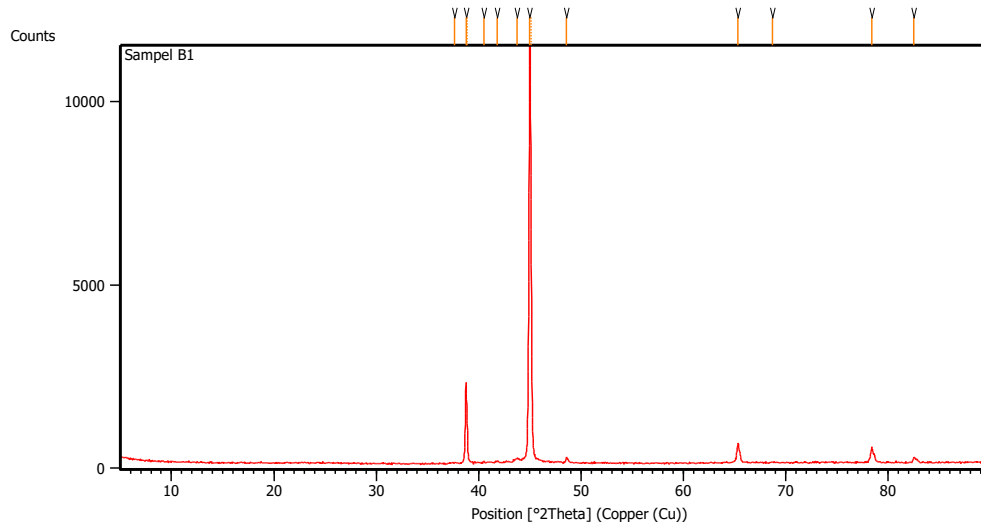
2. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Tapioka dan 235 V



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
39.0833	331.84	0.0669	2.30480	65.39
45.3346	319.57	0.2342	2.00046	62.97
65.6980	507.51	0.1224	1.42010	100.00
65.8756	352.77	0.1224	1.42022	69.51
78.8999	263.68	0.1632	1.21230	51.95
83.0053	91.90	0.4080	1.16244	18.11

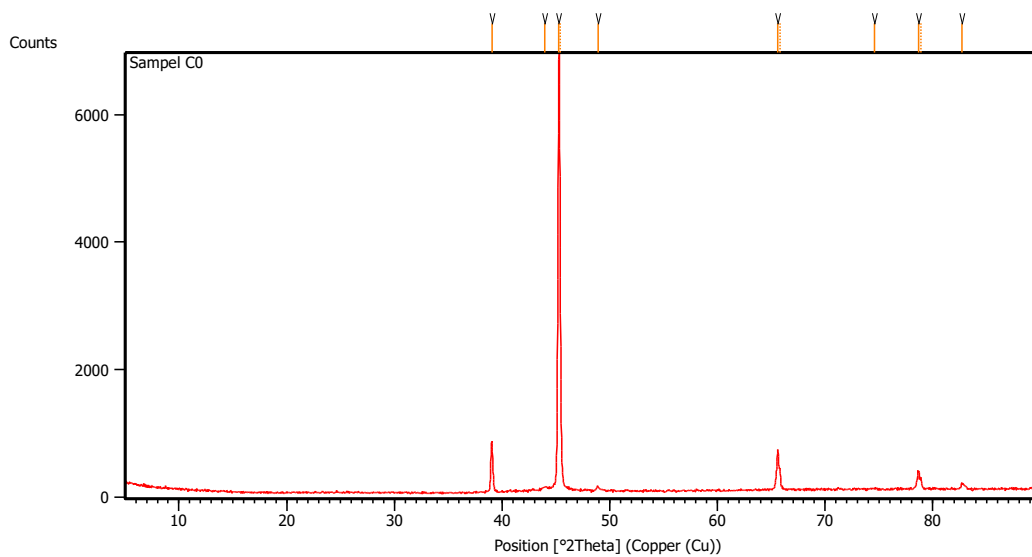
3. Spesimen PEO dengan 1 g/L Tepung Tapioka dan 235 V



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.6527	22.38	0.6691	2.38901	0.20
38.7583	2178.22	0.1428	2.32145	19.14
38.8958	1014.19	0.0816	2.31931	8.91
40.4920	37.29	0.1632	2.22596	0.33
41.7728	27.39	0.3264	2.16063	0.24
43.7601	105.85	0.3264	2.06700	0.93
44.9946	11377.68	0.2040	2.01312	100.00
45.1279	6360.65	0.0816	2.01247	55.90
48.5750	125.37	0.2040	1.87277	1.10
65.2951	510.56	0.0816	1.42788	4.49
68.6840	9.76	0.8160	1.36546	0.09
78.3779	425.53	0.0816	1.21906	3.74
82.5157	144.56	0.1428	1.16810	1.27

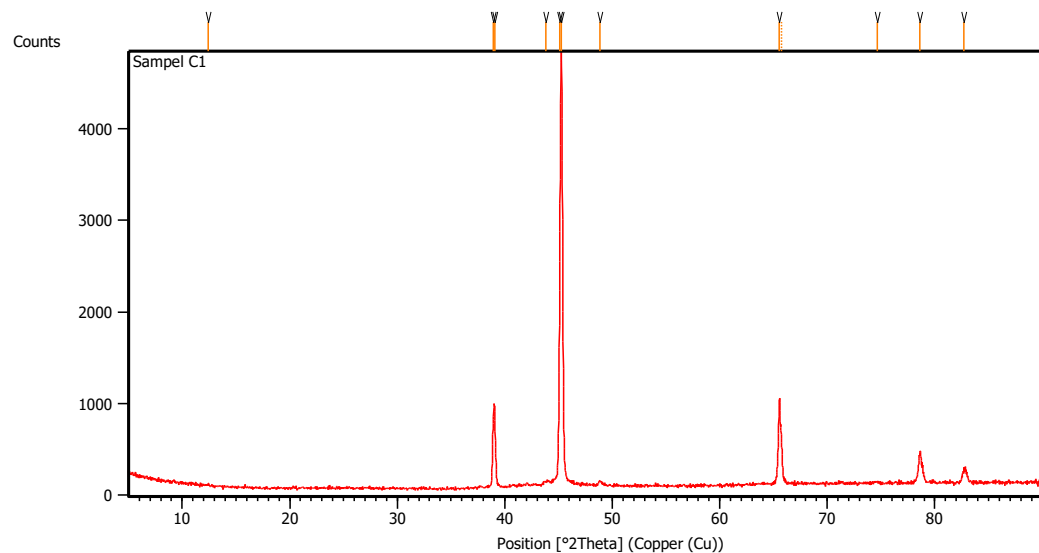
4. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Tapioka dan 250 V



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
39.0759	765.07	0.1840	2.30522	11.35
43.9321	49.16	0.4015	2.06101	0.73
45.2800	6738.92	0.2040	2.00109	100.00
45.4273	2999.47	0.0816	1.99990	44.51
48.8931	60.47	0.2856	1.86133	0.90
65.6291	597.68	0.1632	1.42142	8.87
65.7823	345.94	0.1224	1.42201	5.13
74.5991	20.76	0.4896	1.27116	0.31
78.6506	271.20	0.2040	1.21551	4.02
78.8917	154.74	0.1224	1.21542	2.30
82.6717	90.02	0.1632	1.16629	1.34

5. Spesimen PEO dengan 1 g/L Tepung Tapioka dan 250 V

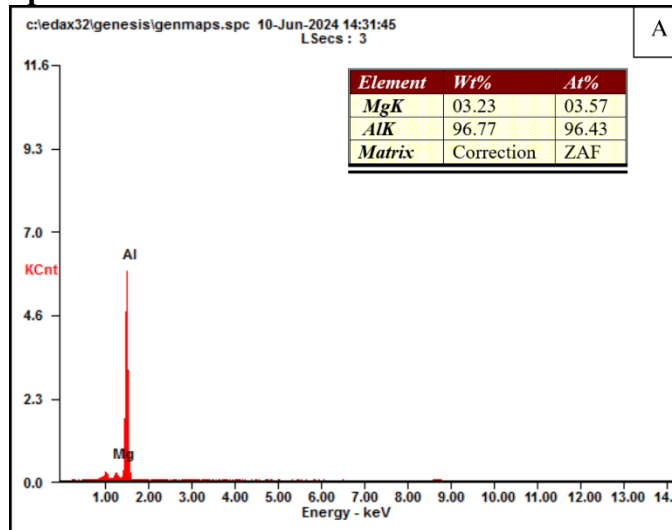


Peak List: (Bookmark 3)

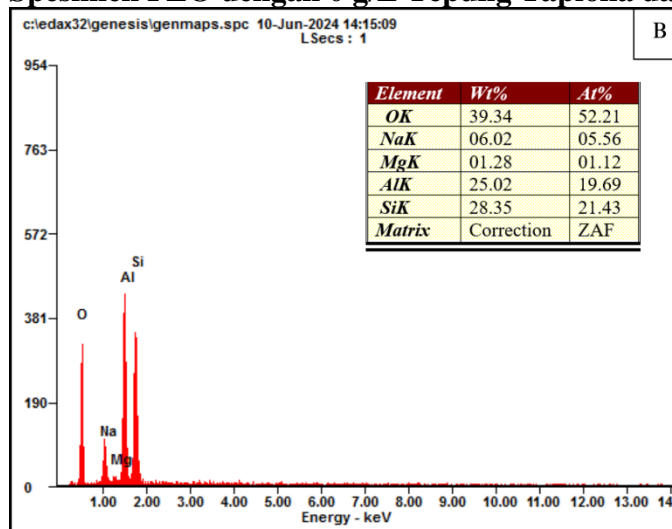
Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
12.4429	8.40	0.8029	7.11383	0.18
38.8994	611.58	0.0612	2.31336	12.89
39.0669	873.74	0.1506	2.30573	18.42
43.8204	35.24	0.4015	2.06601	0.74
45.1233	2666.49	0.1428	2.00767	56.21
45.2615	4743.91	0.1338	2.00352	100.00
48.8569	44.14	0.2676	1.86416	0.93
65.5423	918.58	0.1428	1.42309	19.36
65.7414	468.15	0.1224	1.42279	9.87
74.6336	12.89	0.6528	1.27066	0.27
78.6261	345.57	0.1428	1.21583	7.28
82.7126	149.95	0.2040	1.16581	3.16

E. Hasil Pengujian EDX

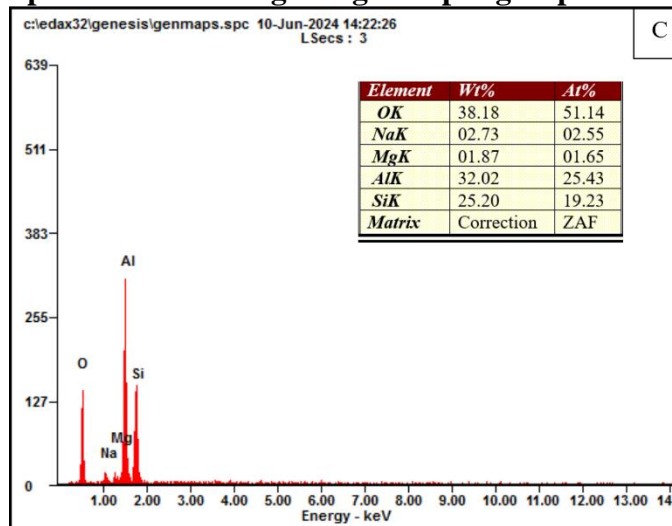
1. Spesimen Base Material



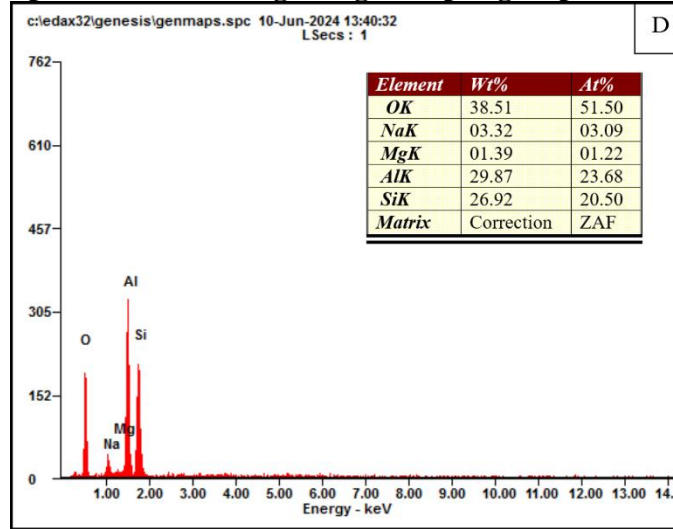
2. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Tapioka dan 235 V



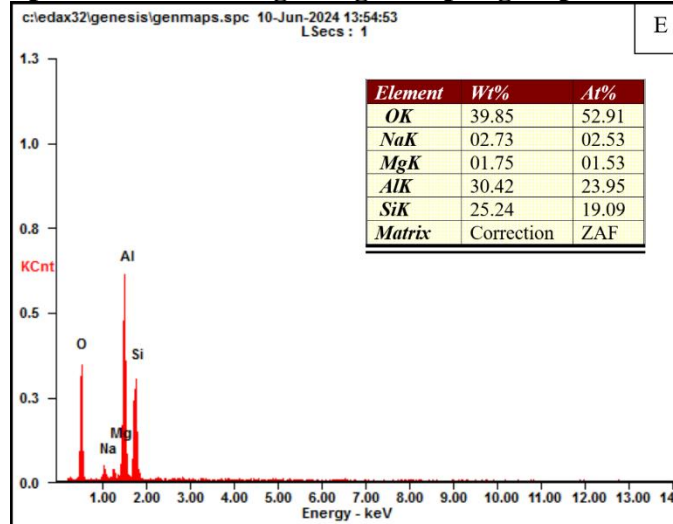
3. Spesimen PEO dengan 1 g/L Tepung Tapioka dan 235 V



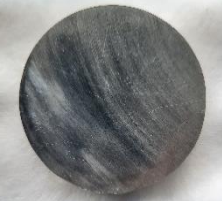



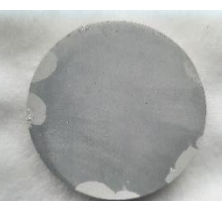



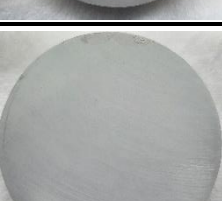
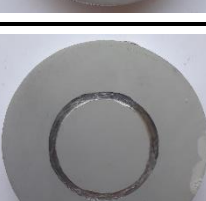
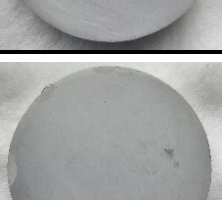



4. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Tapioka dan 250 V










5. Spesimen PEO dengan 1 g/L Tepung Tapioka dan 250 V



F. Hasil Pengujian Tribologi

Sampel	Sebelum		Sesudah
<i>Base Material AA 7075</i>			
Spesimen PEO dengan 0 g/L tepung tapioka & 235 V			
Spesimen PEO dengan 0.5 g/L tepung tapioka & 235 V			
Spesimen PEO dengan 1 g/L tepung tapioka & 235 V			
Spesimen PEO dengan 0 g/L tepung tapioka & 250 V			
Spesimen PEO dengan 0.5 g/L tepung tapioka & 250 V			
Spesimen PEO dengan 1 g/L tepung tapioka & 250 V			

G. Hasil Pengujian Salt Spray

Sampel	Visual Permukaan Hari Ke-7
<i>Base Material AA 7075</i>	
Spesimen PEO dengan 0 g/L tepung tapioka & 235 V	
Spesimen PEO dengan 0.5 g/L tepung tapioka & 235 V	
Spesimen PEO dengan 1 g/L tepung tapioka & 235 V	
Spesimen PEO dengan 0 g/L tepung tapioka & 250 V	
Spesimen PEO dengan 0.5 g/L tepung tapioka & 250 V	
Spesimen PEO dengan 1 g/L tepung tapioka & 250 V	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan laporan Tugas akhir ini penulis sadar atas banyaknya kekurangan yang dimiliki oleh penulis. Dengan terselesaikannya penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini, maka ucapan terimakasih dengan setulus hati penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan serta penelitian Tugas Akhir diantaranya:

1. Terimakasih kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta pertolongan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Ayah dan Mama tersayang yang selalu mendoakan untuk kebaikan dan kesuksesan anak-anaknya, memberikan kasih sayang, cinta, dukungan, serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tanggung jawab penulis di masa akhir perkuliahan penulis dengan sebaik-baiknya. Menjadi suatu kebanggaan tersendiri untuk diri saya karena memiliki kedua orang tua yang selalu mendukung anak-anaknya untuk meraih cita-cita setinggi-tingginya. Terimakasih kepada kedua orang tua penulis yang selalu berusaha memberikan yang terbaik bagi anak-anaknya.
3. Kakak laki-laki penulis yang menjadi *figure* seorang kakak yang sangat baik dan selalu menemani dan memberikan motivasi kepada penulis hingga saat ini serta memberikan dukungan materi yang dibutuhkan oleh penulis.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
5. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu kepada penulis serta membimbing penulis selama proses penelitian Tugas Akhir.
6. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta memberikan ilmu penulis selama proses penelitian Tugas Akhir.
7. Bapak Prof. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS dalam bidang teknologi pelapisan yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan.
8. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc selaku dosen wali yang membantu penulis dalam menjalani masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
9. Seluruh Dosen dan Tenaga Pendidik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis selama menjalani masa perkuliahan.
10. Angkatan MT22 yang menemani penulis dalam keadaan suka maupun duka saat masa perkuliahan dari tahun pertama hingga tahun terakhir.
11. Andrew dan Handoko selaku teman sekaligus sahabat penulis yang banyak menemani, memberikan dukungan kepada penulis pada masa perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan masa perkuliahan dengan baik serta menghibur penulis ketika lelah dalam menjalani masa perkuliahan dan penelitian Tugas Akhir.
12. Romario Simanjuntak selaku *partner* penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir karena memberikan semangat serta berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir dalam kurun waktu 8 bulan kebelakang walaupun terdapat beberapa kendala di dalamnya.
13. Asti, Umar, dan Chanifa yang telah membantu serta menemani penulis hingga larut malam untuk menyelesaikan pengujian dalam rangka menyelesaikan penelitian Tugas Akhir.

14. Billy, Dimas, Anton, Yohana selaku teman-teman dengan topik tugas akhir teknologi pelapisan yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
15. Terakhir dan tidak kalah penting yaitu kepada diri saya sendiri Mochammad Sigit Wicaksono. Terimakasih karena telah mampu berusaha dengan keras dan berjuang hingga sampai titik ini serta mampu mengendalikan diri dan melawan rasa takut yang ada dalam diri. Terimakasih karena tidak pernah menyerah dengan keadaan walaupun sesulit apapun rintangan yang telah dialami selama ini. Ini merupakan titik awal dari perjalanan selanjutnya, tetap semangat dan selamat merayakan hal-hal apapun yang telah didapatkan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian dalam bidang teknologi pelapisan bagi siapapun yang membutuhkan di masa mendatang.

Surabaya, 15 Juli 2024
Penulis

Mochammad Sigit Wicaksono

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Mochammad Sigit Wicaksono merupakan seorang mahasiswa Departemen Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2020. Penulis lahir di Jombang, 06 Juli 2001 dari orang tua yang bernama Bapak Ngatari dan Ibu Siti Mulyani. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Gedangan I pada tahun 2008 - 2014, SMPN 1 Sumobito pada tahun 2014 - 2017, SMAN 2 Jombang pada tahun 2017 - 2020, dan kemudian melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember dari tahun 2020 - sekarang. Selama menjalani kuliah, penulis aktif di beberapa organisasi, seperti staf departemen PSDM PSM ITS pada 2021 - 2022 dan staf divisi media dan informasi IMJ ITS pada 2020 - 2021. Selain itu, penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan, seperti LAB-X DTMM ITS, Wisuda 125 DTMM ITS, SUBMITS IMJ ITS, Latihan Alam UKM PSM ITS, dan Konser Mahasiswa Baru PSM ITS. Untuk meningkatkan kompetensinya, penulis juga mengikuti beberapa pelatihan, seperti PKTI-TD 2020, LKMW TD 2020, LKMM Pra-TD 2020, *Antasena Super Course* 2020, *Basic Media Schooling* 2021, *Redformation* BEM FTIRS 2021, *Cadres Preparation* 2021, *Corperience* 2021, *Star Leader* Program Beasiswa bakti BCA, *Financial Planing & Investement* Program Beasiswa Bakti BCA. Penulis juga menjadi salah satu penerima Beasiswa Bakti BCA periode 2022-2023. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Garuda Maintenance Facility AeroAsia Tbk. pada Juli - Agustus 2023. Untuk menyelesaikan Pendidikan S-1, penulis melakukan penelitian dengan tugas akhir berjudul “Pengaruh Konsentrasi Tapioka dan Beda Potensial Terhadap Sifat Mekanik dan Korosi AA 7075 Menggunakan Metode Pelapisan PEO Untuk Industri Pesawat”. Selain itu juga tugas akhir ini merupakan bentuk kontribusi penulis dalam penelitian di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang teknologi pelapisan. Untuk informasi lebih lanjut, penulis dapat dihubungi melalui email: sigit.wicak01@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)