



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KONSENTRASI TEPUNG
KANJI TERHADAP STRUKTUR, MORFOLOGI PERMUKAAN
DAN KETAHANAN OKSIDASI TEMPERATUR TINGGI DARI
PADUAN Ti-6Al-4V YANG DIOKSIDASI DENGAN METODE
PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION UNTUK APLIKASI FAN
BLADE MESIN PESAWAT**

**BAYU MURTI WICAKSONO
NRP. 0251164000028**

**Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL184834

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KONSENTRASI TEPUNG KANJI TERHADAP STRUKTUR, MORFOLOGI PERMUKAAN DAN KETAHANAN OKSIDASI TEMPERATUR TINGGI DARI PADUAN Ti-6Al-4V YANG DIOKSIDASI DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION UNTUK APLIKASI FAN BLADE MESIN PESAWAT

BAYU MURTI WICAKSONO
NRP. 0251164000028

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

THE EFFECT OF STARCH ADDITION ON THE STRUCTURE, SURFACE MORPHOLOGY AND RESISTANCE OF HIGH TEMPERATURE OXIDATION FROM Ti-6Al-4V OXIDIZED WITH PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD FOR THE APPLICATION OF FAN BLADE IN AIRCRAFT MACHINE

BAYU MURTI WICAKSONO
NRP. 0251164000028

Supervisors
Dr. Agung Puwniawan, S.T., M.Eng.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KONSENTRASI
TEPUNG KANJI TERHADAP STRUKTUR, MORFOLOGI
PERMUKAAN DAN KETAHANAN OKSIDASI
TEMPERATUR TINGGI DARI PADUAN Ti-6Al-4V YANG
DIOKSIDASI DENGAN METODE PLASMA
ELECTROLYTIC OXIDATION UNTUK APLIKASI FAN
BLADE MESIN PESAWAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAYU MURTI WICAKSONO

NRP 0251164000028

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. (Pembimbing 1)
2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KONSENTRASI
TEPUNG KANJI TERHADAP STRUKTUR, MORFOLOGI
PERMUKAAN DAN KETAHANAN OKSIDASI
TEMPERATUR TINGGI DARI PADUAN Ti-6Al-4V YANG
DIOKSIDASI DENGAN METODE PLASMA
ELECTROLYTIC OXIDATION UNTUK APLIKASI FAN
BLADE MESIN PESAWAT**

Nama : Bayu Murti Wicaksono
NRP : 0251164000028
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Pembimbing II : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstrak

Fan blade merupakan bagian dari mesin turbin pesawat yang umumnya terbuat dari paduan Ti-6Al-4V karena memiliki rasio kekuatan terhadap densitas yang tinggi. Akan tetapi, paduan ini perlu ditingkatkan ketahanan oksidasi temperatur tingginya agar mampu diaplikasikan sebagai fan blade. Untuk meningkatkan sifat tersebut, dilakukan teknologi pelapisan Plasma Electrolytic Oxidation (PEO). Penambahan zat aditif pada larutan elektrolit PEO biasa digunakan untuk mendapatkan lapisan oksida yang diinginkan. Larutan elektrolit yang digunakan pada proses ini memiliki komposisi NaOH (10 g/L), Na₂SiO₃ (70 g/L) dan zat aditif yaitu tepung kanji. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap morfologi dan ketahanan oksidasi temperatur tinggi paduan Ti-6Al-4V yang dioksidasi dengan PEO. Variasi konsentrasi tepung kanji yang digunakan yaitu 0 g/L, 2.5 g/L, 5 g/L, 7.5 g/L dan 10 g/L. Dari hasil pengujian XRD, didapatkan fasa titanium oksida dan silica pada lapisan oksida semua sampel. Hal ini membuktikan penambahan tepung kanji tidak membentuk unsur kimia baru pada lapisan oksida. Dari pengujian SEM didapat penambahan konsentrasi tepung kanji mengurangi ukuran mikropori dan ketebalan lapisan

oksida yang di dapat. Sifat ketahanan oksidasi temperatur tinggi paling baik didapat pada sampel PEO dengan 10 g/L tepung kanji yang dioksidasi selama 5 jam yaitu dengan penambahan massa/luasan sampel hanya sebesar 0.22 mg/cm². Hal ini karena sampel ini mempunyai mikropori paling kecil daripada sampel lainnya.

Kata Kunci: *Fan blade; Plasma Electrolytic Oxidation; Tepung kanji; Ti-6Al-4V; Ketahanan Oksidasi Temperatur Tinggi.*

**THE EFFECT OF STARCH ADDITION ON THE
STRUCTURE, SURFACE MORPHOLOGY AND
RESISTANCE OF HIGH TEMPERATURE OXIDATION
FROM Ti-6Al-4V OXIDIZED WITH PLASMA
ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD FOR THE
APPLICATION OF FAN BLADE IN AIRCRAFT
MACHINE**

Student Name : Bayu Murti Wicaksono
NRP : 0251164000028
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Co-Supervisor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstract

Fan blade is a part of turbine engine which is generally made of Ti-6Al-4V alloy because they have high strength to density ratio. However, this alloy needs to be improved in its high temperature oxidation resistance to be applied as a fan blade. To improve this property, a coating technology called Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) was used. Addition of additive substances to the PEO electrolyte solution is commonly used to obtain the good oxide layer. The compositions of electrolyte solution used in this process were NaOH (10 g/L), Na₂SiO₃ (70 g/L) and starch as additive. The purpose of this research was to analyze the effects of the addition starch concentration on morphology and high temperature oxidation resistance of Ti-6Al-4V alloys which were oxidized with PEO. Variations in starch concentration used were 0 g/L, 2.5 g/L, 5 g/L, 7.5 g/L and 10 g/L. From XRD test, the phase obtained in the oxide layer of all samples were titanium oxide (TiO₂) and silica (SiO₂) and there were no any other chemical elements in the oxide layer due to addition of starch. From SEM test, it proved that the addition of starch concentration reduces the micropores size and thickness of the oxide layer. The high temperature oxidation resistance property is getting better

along with the increasing starch concentration caused by the smaller size of the micropores oxide layer. So, the specimen with 10 g/l addition of starch has the best properties along with the result of high temperature oxidation test with addition of mass/area is 0.22 mg/cm².

Keywords: *Fan blade; Plasma Electrolytic Oxidation; Starch; Ti-6Al-4V; High Temperature Oxidation.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Penambahan Konsentrasi Tepung Kanji terhadap Struktur, Morfologi Permukaan dan Ketahanan Oksidasi Temperatur Tinggi dari Paduan Ti-6Al-4V yang Dioksidasi dengan Metode Plasma Electrolytic Oxidation untuk Aplikasi Fan Blade Mesin Pesawat” Tugas Akhir ini diambil untuk memenuhi persyaratan studi mahasiswa Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Dengan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir diantaranya:

1. Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
2. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah menuangkan ilmu, waktu dan bimbingan kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
4. Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan tugas akhir.
5. Ir. Mohammad Farid, DEA selaku Dosen Wali yang membantu penulis dalam menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
6. Seluruh Dosen dan Tenaga Pendidik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
7. Serta seluruh pihak yang berperan dalam penelitian ini.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Maka dari itu penulis sangat terbuka akan adanya kritik dan saran yang disampaikan oleh pembaca.

Surabaya, 16 Januari 2020
Penulis

Bayu Murti Wicaksono

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Fan Blade</i>	5
2.2 Ti-6Al-4V	7
2.3 Oksidasi Temperatur Tinggi	8
2.4 <i>Plasma Electrolytic Oxidation (PEO)</i>	10
2.5 Tepung Kanji	13
2.6 Titanium Dioksida (TiO ₂).....	16
2.7 Penelitian Sebelumnya.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	31
3.2 Metode Penelitian	32
3.3 Proses Preparasi dan Pelapisan	32
3.3.1 Preparasi Sampel dan Larutan Elektrolit.....	32
3.3.2 Proses Pelapisan Menggunakan Metode PEO..	33
3.4 Proses Pengujian	34
3.4.1 Pengujian XRD	34
3.4.2 Pengujian SEM & EDX	36
3.4.3 Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi.....	37
3.1. Rancangan Penelitian.....	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Pengamatan Visual.....	39
4.2	Analisis Fasa Hasil Pengujian XRD	40
4.3	Analisis Komposisi Hasil EDX.....	43
4.4	Analisis Morfologi & Ukuran Mikropori.....	44
4.5	Analisis Ketebalan Lapisan <i>Coating</i>	48
4.6	Analisis Ketahanan Oksidasi Temperatur Tinggi ..	52

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

57

LAMPIRAN

63

UCAPAN TERIMA KASIH.....

95

BIODATA PENULIS

97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Fan Blade</i> pada mesin turbofan pesawat.....	5
Gambar 2.2	Grafik σ_e/ρ terhadap K_{Ic}/ρ berbagai Material	6
Gambar 2.3	Diagram fasa Ti-6Al-4V	7
Gambar 2.4	Skema pembentukan lapisan oksida pada permukaan logam	9
Gambar 2.5	Peralatan yang digunakan pada metode PEO	11
Gambar 2.6	Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO.....	12
Gambar 2.7	Struktur molekul a) amilosa b) amilopektin.....	13
Gambar 2.8	Mekanisme gelatinisasi tepung kanji	14
Gambar 2.9	Struktur kristal anatase, rutil dan brookite.....	17
Gambar 2.10	Analisis hasil Spesimen PEO Ti-6Al-4V, a) morfologi permukaan; b) morfologi permukaan melintang	18
Gambar 2.11	Analisis hasil XRD PEO dengan elektrolit 70 g/L Na_2SiO_3	19
Gambar 2.12	Hasil pengujian SEM sampel (a) PEOws dan (b) PEOst	20
Gambar 2.13	Hasil pengujian XRD sampel PEOws dan PEOst.....	21
Gambar 2.14	Mikrostruktur a) permukaan; b) penampang melintang spesimen PEO dengan larutan elektrolit tanpa tepung kanji; c) permukaan; d) penampang melintang spesimen PEO dengan tepung kanji *: S= substrat, C = lapisan, M= <i>mounting</i> resin.....	22
Gambar 2.15	Hasil pengujian XRD sampel PEO (kiri) dengan tepung kanji dan (kanan) tanpa tepung kanji.....	22
Gambar 2.16	Hasil pengujian oksidasi temperatur tinggi paduan Ti-6Al-4V dan Ti-6Al-4V-1B.	24

Gambar 2.17	Hasil uji XRD variasi konsentrasi sodium silikat	25
Gambar 2.18	Hasil pengujian SEM dari permukaan substrat dengan perbesaran 250x (a) substrat tidak dilapisi (b) dilapisi dengan Al ₂ O ₃ dengan metode PEO	26
Gambar 2.19	Hasil pengujian EDX (a) <i>base</i> spesimen (b) PEO	26
Gambar 2.20	Hasil pengujian SEM dengan perbesaran 500X A) 0.025M, B) 0.030M, C) 0.035M, dan D) 0.040M	27
Gambar 2.21	Penampang melintang dari sampel PEO	28
Gambar 2.22	Grafik pengaruh waktu oksidasi dan konsentrasi terhadap kekerasan permukaan spesimen PEO.....	28
Gambar 3.1	Diagram alir.....	31
Gambar 3.2	Peralatan <i>plasma electrolytic oxidation</i> (PEO).....	33
Gambar 3.3	Alat <i>X-Ray diffraction</i> (XRD)	34
Gambar 3.4	Alat <i>scanning electron microscope</i> (SEM)	36
Gambar 3.5	Pengujian oksidasi temperatur tinggi	37
Gambar 4.1	Pengamatan visual spesimen A) sebelum proses PEO; B) sesudah proses PEO	39
Gambar 4.2	Hasil pengujian XRD	40
Gambar 4.3	Hasil pengujian EDX spesimen A) sebelum PEO; B) sesudah PEO	44
Gambar 4.4	Hasil SEM morfologi permukaan spesimen A) <i>Base material</i> Ti-6Al-4V; dan spesimen PEO dengan variasi konsentrasi tepung kanji. B) 0 g/L; C) 2.5 g/L; D) 5 g/L; E) 7.5 g/L; F) 10 g/L	45
Gambar 4.5	Grafik pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap ukuran mikropori	46
Gambar 4.6	Grafik pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap persentase area porositas.....	47

Gambar 4.7	Morfologi permukaan spesimen PEO A) tanpa tepung kanji; B) dengan tepung kanji.....	48
Gambar 4.8	Penampang melintang spesimen PEO A) tanpa tepung kanji; B) dengan tepung kanji.....	49
Gambar 4.9	Penampang melintang spesimen PEO dengan variasi tepung kanji A) 0 g/L; B) 2.5 g/L; C) 5 g/L; D) 7.5 g/L; E) 10 g/L	50
Gambar 4.10	Grafik pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap ketebalan lapisan oksida PEO Ti-6Al-4V.....	51
Gambar 4.11	Grafik pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia paduan Ti-6Al-4V	7
Tabel 2.2	Sifat paduan Ti-6Al-4V	8
Tabel 2.3	Perbandingan <i>anodizing</i> dan PEO	11
Tabel 2.4	Perbandingan karakteristik anatase, rutile dan brookite	17
Tabel 3.1	Tabel rancangan penelitian	38
Tabel 4.1	Pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap intensitas arus.....	42
Tabel 4.2	Persentase fasa rutile, anatase, brookite.....	43

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang pesat pada zaman ini membantu kegiatan manusia menjadi lebih mudah. Salah satunya yaitu perkembangan di industri transportasi yang membuat perjalanan manusia dari suatu tempat ke tempat lain menjadi mudah. Indonesia adalah negara yang mempunyai ribuan pulau di dalamnya. Transportasi yang paling tepat dan cepat untuk membantu perjalanan dari suatu pulau ke pulau lain adalah pesawat terbang.

Pesawat terbang adalah alat transportasi udara yang dapat terbang menggunakan gaya dorong yang dihasilkan dari mesin rotor yang berada di sayap pesawat. Salah satu *part* yang penting dari mesin pesawat ini adalah *fan blade*. *Fan blade* merupakan bagian dari mesin turbin pesawat yang membantu menghisap sejumlah besar udara masuk ke turbin (Raj, 2017). *Fan blade* biasanya mengalami beban siklik yang berat sehingga menyebabkan tekanan siklik pada permukaannya. Selain itu temperatur operasi operasi pada bagian ini bisa mencapai $\pm 700^{\circ}\text{C}$ (Mansor dkk, 2019).

Material yang paling banyak digunakan pada *fan blade* mesin pesawat adalah Ti-6Al-4V atau yang sering disebut paduan titanium *grade 5*. Paduan Ti-6Al-4V dirancang untuk keseimbangan karakteristik yang baik, yaitu kekuatan, keuletan, ketangguhan retak, kekuatan temperatur tinggi, karakteristik *creep*, kemampuan las, kemampuan kerja, dan kemampuan proses termal. Karenanya paduan ini banyak digunakan untuk bagian badan dan mesin pesawat. (Raj, 2017). Akan tetapi temperatur penggunaan material ini hanya mencapai $426,7^{\circ}\text{C}$ hingga $537,8^{\circ}\text{C}$ pada lingkungan udara atau atmosfer oksidatif (Yao, 2007). Maka dari itu untuk meningkatkan sifat dari paduan titanium ini dilakukan teknologi pelapisan yang biasa digunakan yaitu *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO).

PEO merupakan teknologi pelapisan yang ekonomis, efisien dan ramah lingkungan yang mampu menghasilkan lapisan oksida yang stabil pada permukaan logam. Lapisan oksida yang terbentuk memiliki kekuatan ikatan yang sangat baik dengan substrat, sifat listrik dan termal yang baik, kekerasan mikro yang tinggi, dan ketahanan aus dan korosi yang berkualitas tinggi (Stojadinovic dkk, 2012). Banyak faktor yang mempengaruhi sifat dari lapisan oksida yang terbentuk dari metode ini, salah satunya adalah komposisi lautan elektrolit. Elektrolit yang biasa digunakan saat ini kebanyakan mengandung fosfat, kromat dan flourida yang berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu sangat penting untuk mengembangkan elektrolit yang ramah lingkungan untuk meningkatkan sifat oksidasi temperatur tinggi dari paduan titanium (Fang dkk, 2017).

Salah satu alternatif yang digunakan adalah dengan menggunakan elektrolit berbasis silikat dengan penambahan zat aditif organik yaitu tepung kanji. Tepung kanji banyak digunakan sebagai *thickening agents* karena sifat pelarutannya pada temperatur gelatinisasi. Menurut Uhi (2006), gelatinisasi merupakan proses penyerapan air ke dalam granula butiran tepung kanji. Dengan naiknya temperatur menyebabkan makin banyak air yang terserap sehingga pertumbuhan butiran tepung kanji semakin membesar. Dengan demikian, viskositas dari larutan elektrolit meningkat sehingga dapat mengurangi risiko elektrolit menguap dan terpercik keluar akibat panas yang dihasilkan dari proses PEO.

Pertumbuhan granula tepung kanji akan menghasilkan lapisan gel yang menyebabkan meningkatnya viskositas elektrolit. Lapisan ini dapat mengurangi turbulensi dalam elektrolit dan juga mencegah panas yang dihasilkan menghilang dengan cepat dari selubung plasma. Hal ini menyebabkan plasma yang terbentuk di sekitar anoda akan lebih stabil dan lebih seragam. Produk dari pembentukan plasma ini akan menjadi film oksida yang lebih padat, dan seragam (Khorasanian, 2011).

Adapun penelitian ini akan membahas tentang pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji pada proses pelapisan

paduan Ti-6Al-4V dengan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* terhadap struktur, morfologi permukaan dan ketahanan oksidasi temperatur tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap struktur lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO paduan Ti-6Al-4V?
2. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap morfologi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO paduan Ti-6Al-4V?
3. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO paduan Ti-6Al-4V?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Kekasaran permukaan setelah proses pengamplasan dianggap sama dan merata.
2. Temperatur oksidasi pada saat pengujian dianggap konstan.
3. *Impurities* dari paduan titanium diabaikan.
4. Beda potensial pada proses PEO dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap struktur lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO paduan Ti-6Al-4V?
 2. Menganalisis pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap morfologi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO paduan Ti-6Al-4V.
-

3. Menganalisis pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO paduan Ti-6Al-4V.

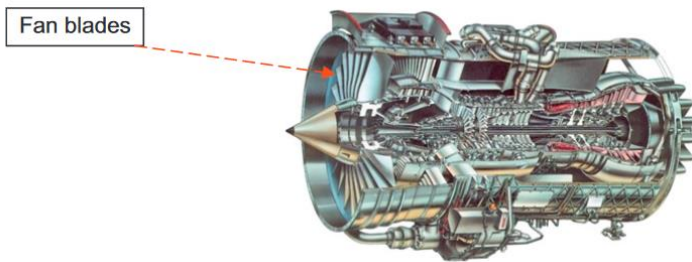
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah sebagai referensi untuk metode pelapisan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) pada paduan Ti-6Al-4V sebagai aplikasi *fan blade* pesawat terbang dengan variasi penambahan konsentrasi tepung kanji untuk meningkatkan ketahan oksidasi temperatur tingginya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fan Blade*

Fan blade seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 merupakan bagian yang penting dari pesawat dengan mesin *turbofan*. Putaran dari *fan blade* akan membantu menghisap udara dari luar dan meningkatkan kecepatan udara masuk ke dalam mesin *turbofan*. Udara yang masuk sebagian akan mengalir ke inti dari mesin turbin dan sebagian akan melewati saluran di sekeliling inti turbin sampai bagian belakang dari mesin jet sehingga menghasilkan gaya yang dapat mendorong pesawat (Raj, 2017).

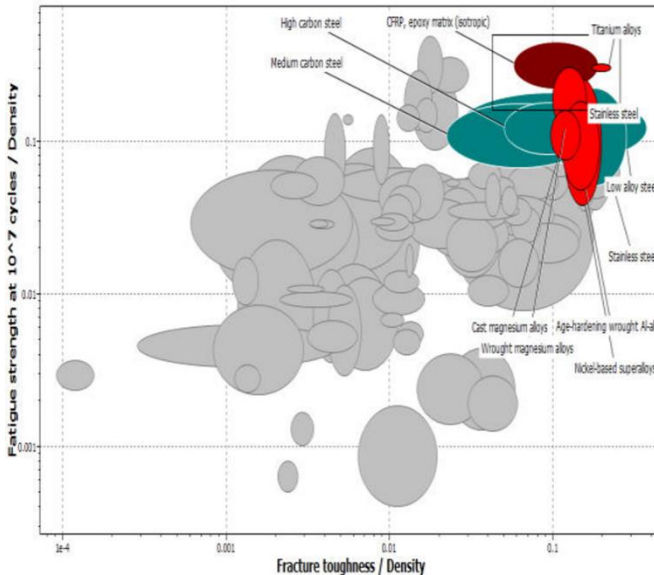


Gambar 2.1 *Fan Blade* pada mesin turbofan pesawat (Amoo, 2012).

Fan blade berpeluang mengalami korosi pada temperatur tinggi karena menerima temperatur dan tekanan yang tinggi. *Fan blade* bekerja pada kondisi operasi yang mengalami beban siklik yang besar karena berputar secara terus-menerus. Temperatur operasi *fan blade* dapat mencapai $\pm 700^{\circ}\text{C}$. Selain itu, *fan blade* juga mengalami kontak dengan temperatur lingkungan yang tidak stabil karena digunakan untuk transportasi pesawat terbang (Mansor, 2019).

Berdasarkan parameter operasi kerja tersebut, maka pemilihan material *fan blade* harus memiliki sifat ketahanan *fatigue* yang baik, kaku dan ringan. Maka material yang digunakan harus memenuhi sifat *endurance limit* (σ_e), *fracture toughness*

(K1c), modulus young (E) yang tinggi dan memiliki densitas (ρ) yang rendah.



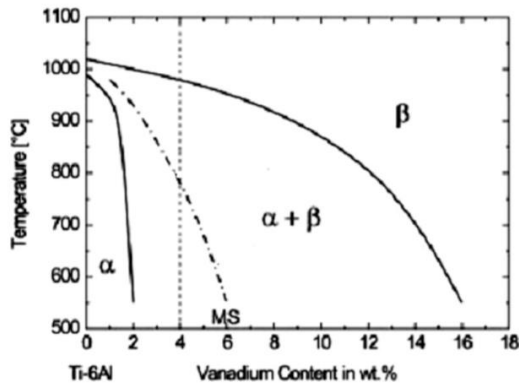
Gambar 2.2 Grafik σ_e/ρ terhadap $K1c/\rho$ berbagai material (Raj, 2017).

Dari Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa baja karbon dan paduan super berbasis nikel tidak cocok digunakan sebagai *fan blade* pesawat terbang karena margin keselamatan yang rendah. Paduan titanium adalah material yang tepat untuk dijadikan sebagai *fan blade* pesawat terbang karena mempunyai rasio *fatigue strength* dan *fracture toughness* terhadap densitas yang tinggi (Raj, 2017).

Berdasarkan standar dari Australian Transport Safety Business Technical Analysis Report No: 8/01, kekerasan material yang di aplikasikan sebagai *Fan Blade* pesawat Boeing 777 adalah 327-339 *Hardness Vickers*. Kemudian untuk standar ketebalan *coating* pada komponen ini berkisar antara 12,7 – 3175 μm menurut United States Patent No: 9,587,645 B2.

2.2 Ti-6Al-4V

Penambahan paduan aluminium dan vanadium pada titanium pertama kali dilakukan pada tahun 1954. Paduan ini dinamakan *workhorse alloy* atau sering disebut dengan Ti-6Al-4V (ASM Internasional, 2015). Paduan aluminium dan vanadium disini berperan sebagai penstabil kondisi dari fasa titanium yang terdiri dari α dan β . Peran aluminium adalah sebagai penstabil fasa α untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi berat dari paduan. Sedangkan vanadium berperan sebagai penstabil fasa β (Renganathan dkk, 2018).



Gambar 2.3 Diagram fasa Ti-6Al-4V (Reda, 2015).

Gambar 2.3 menunjukkan diagram fasa paduan Ti-6Al-4V. Paduan ini dapat membentuk fasa β dan α tergantung pada temperatur operasinya. Pada temperatur 700-800°C dapat terbentuk fasa martensit metastabil dari pendinginan cepat yang dapat menyebabkan peningkatan kekerasan yang diikuti dengan penurunan keuletan dari paduan ini (Reda, 2015).

Tabel 2.1 Komposisi kimia paduan Ti-6Al-4V (ASTM B265, 2009).

Unsur	N	C	H	Fe	O	Al	V	Ti
%wt	0,05	0,08	0,015	0,4	0,2	5,5-6,75	3,5-4,5	Balance

Paduan ini banyak digunakan pada badan dan mesin pesawat karena keseimbangan sifatnya yang baik, diantaranya rasio kekuatan terhadap densitas, ketangguhan retak, kekuatan pada temperatur tinggi, sifat *creep*, dan kemampuan las yang baik. Selain itu paduan ini juga mempunyai rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dan ketahanan korosi yang baik (Inagaki dan Shirai, 2014). Temperatur oksidatif penggunaan material ini mencapai 426,7°C hingga 537,8°C (Yao, 2007). Pada temperatur tersebut, Ti akan teroksidasi menjadi TiO_2 dengan nilai $\Delta G^0 = -760$ kJ/mol hingga -789 kJ/mol dan tekanan parsial oksigen 1×10^{-42} hingga 1×10^{-44} atm jika dihitung dengan Ellingham diagram.

Tabel 2.2 Sifat paduan Ti-6Al-4V (Prabhu dkk, 2015).

Sifat	Nilai
Modulus Elastisitas (GPa)	100-130
Kekuatan Tarik (MPa)	820
<i>Poisson Ratio</i>	0,342
Konduktivitas Thermal (W/mK)	6,7
Kekerasan (HRC)	36
Densitas (g/cm ³)	4,7

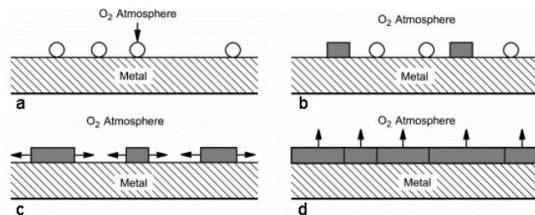
Dari tabel di atas, paduan Ti-6Al-4V mempunyai kekerasan 36 HRC atau dapat dikonversi menjadi 354 HV, sehingga dapat dikatakan paduan ini memenuhi standar persyaratan kekerasan untuk di aplikasikan sebagai *fan blade* yang kekerasan minimalnya 339 HV menurut Standar ASTB.

2.3 Oksidasi Temperatur Tinggi

Salah satu alasan utama korosi paduan logam adalah reaksi dengan lingkungannya. Kegagalan korosi yang terjadi pada temperatur kamar biasanya disebabkan oleh larutan elektrolit. Sedangkan pada temperatur tinggi korosi terjadi karena reaksi langsung logam dengan lingkungannya. Misalnya, baja yang terpapar oksigen pada temperatur kamar tidak menyebabkan reaksi oksigen dengan logam, tetapi jika baja yang sama terpapar oksigen pada temperatur 600°C, baja akan bereaksi dengan oksigen

membentuk lapisan kerak oksida di permukaan (Khanna dkk, 2018).

Reaksi oksidasi merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kondisi kerja material pada temperatur tinggi. Ketidakseimbangan koefisien ekspansi thermal dapat menyebabkan tegangan oksidatif yang besar pada lapisan oksida dan permukaan logam. Tegangan ini dapat memicu keretakan pada lapisan oksida logam sehingga oksigen dapat berdifusi masuk ke substrat logam. Hal ini dapat menyebabkan sifat dari substrat logam terdegradasi (Yépez dkk, 2018).

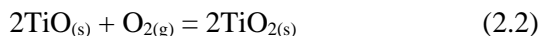
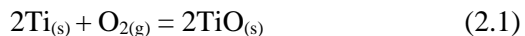


Gambar 2.4 Skema pembentukan lapisan oksida pada permukaan logam (Dai dkk, 2016).

Seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.4, pembentukan lapisan kerak oksida pada permukaan logam terdiri dari empat tahap, diantaranya:

1. Adsorpsi oksigen di permukaan logam.
2. Pembentukan inti lapisan oksida.
3. Pertumbuhan lateral inti lapisan kerak oksida.
4. Penebalan dan pemadatan lapisan kerak oksida.

Persamaan 2.1 dan 2.2 merupakan reaksi kimia oksidasi yang dapat terjadi pada paduan titanium di lingkungan oksidatif adalah:



TiO adalah oksida yang tidak stabil karena memiliki kekosongan anion di dalamnya. Selain itu penelitian lebih lanjut

menunjukkan bahwa energi afinitas TiO_2 yang di bentuk oleh Ti dan oksigen adalah $-54,99 \text{ eV}$. Oleh karena itu, dalam praktiknya lapisan oksida TiO_2 lebih sering ditemukan daripada lapisan oksida TiO pada permukaan titanium yang teroksidasi, dikarenakan lapisan oksida TiO mudah teroksidasi menjadi lapisan oksida TiO_2 .

Pada temperatur tinggi, molekul oksigen yang berukuran diameter $2,92 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ dapat berdifusi masuk ke bawah permukaan paduan titanium yang menyebabkan beberapa efek buruk. Oksigen yang masuk ke dalam lapisan oksida dapat mengurangi kekuatan ikatan antara lapisan oksida dengan substrat, sehingga lapisan oksida pada permukaan logam bersifat rapuh. Hal ini dapat menyebabkan distorsi kisi dan mengurangi sifat mekanik dari substrat (Dai dkk, 2016).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yao dkk (2011), melakukan uji oksidasi paduan Ti-6Al-4V yang sudah di PEO pada temperatur 800°C dengan waktu oksidasi 5 jam diperoleh penambahan massa perluasan sampel sebesar 5 mg/cm^2 . Selain itu penelitian lain yang dilakukan oleh Zhang 2012 melakukan uji oksidasi pada temperatur 700°C selama 5 jam dari paduan Ti-6Al-4V yang sudah di beri perlakuan *hot dip aluminizing* diperoleh penambahan massa perluasan sebesar $0,5 \text{ mg/cm}^2$.

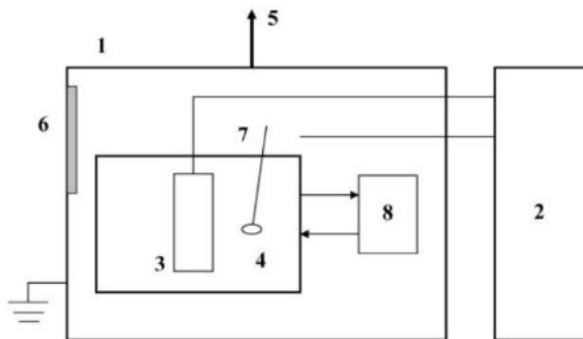
2.4 Plasma Electrolytic Oxidation (PEO)

Plasma electrolytic oxidation (PEO) atau yang sering disebut juga dengan *micro arc oxidation* (MAO) merupakan teknologi pelapisan yang berasal dari metode *anodizing* konvensional untuk membentuk lapisan oksida yang stabil di permukaan logam. Secara umum, metode *anodizing* menggunakan elektrolisis arus searah (DC) dimana benda kerja dibuat anodik dalam elektrolit asam. Metode ini umumnya menggunakan tegangan yang dikontrol secara konstan 20 – 80 Volt dengan kerapatan arus 1 – 10 A/dm^2 . Sedangkan metode PEO biasanya dilakukan dalam kondisi tegangan yang jauh lebih besar daripada *anodizing* konvensional dengan menggunakan power supply AC maupun DC (Li dkk, 2013).

Teknik ini menghasilkan pembentukan banyak mikropori pada permukaan logam anoda. Ion-ion yang terkandung dalam larutan elektrolit dapat menembus ke dalam lapisan oksida selama efek pelepasan cahaya (*breakdown* lapisan oksida) pada substrat sampel, yang terjadi selama oksidasi elektrolit plasma. Metode pelapisan PEO menawarkan peningkatan kinerja permukaan, peningkatan kekerasan, dan ketahanan korosi yang lebih baik (Krazakata dkk, 2013).

Tabel 2.3 Perbandingan anodizing dan PEO (Li dkk, 2013).

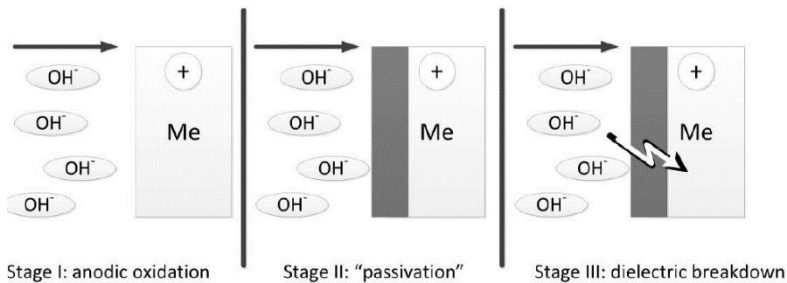
Sifat	Anodizing	PEO
Voltase (Volt)	20-80	120-130
<i>Current Density</i> (A/dm ²)	<10	<30
Elektrolit	Sulfat, kromat, fosfat	Netral/alkalin (pH=7-12)
Ketebalan <i>coating</i> (μm)	<10	<200
Kekerasan <i>coating</i>	Sedang	Tinggi
Adhesi substrat	Sedang	Sangat Tinggi
Ketahanan korosi	Baik	Sangat baik



Gambar 2.5 Peralatan yang digunakan pada metode PEO (Li dkk, 2013).

Gambar 2.5 menjelaskan peralatan yang digunakan pada metode PEO adalah:

1. *Enclosure*
2. *Power Supply*
3. Substrat logam yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit
4. Tangki elektrolit yang terbuat dari *stainless steel* dan berperan sebagai katoda
5. Ventilasi asap
6. Jendela untuk melihat proses PEO
7. Pencampur elektrolit
8. Sirkulasi aliran dengan *chiller* dan *mixer* (Li dkk, 2013).



Gambar 2.6 Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO (Lugovskoy dan Zinigrad, 2013).

Mekanisme pembentukan lapisan oksida pada proses PEO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 diantaranya:

1. *Anodic Oxidation*

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

2. *Passivation*

Lapisan pelindung oksida dielektrik yang terbentuk akan merata di seluruh permukaan substrat selama proses PEO masih

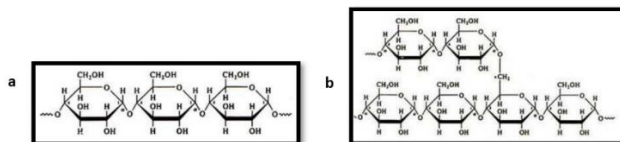
berlangsung. Voltase antara substrat logam dan lapisan oksida dielektrik akan meningkat sampai terjadinya *dielectric breakdown*.

3. Dielectric Breakdown

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

2.5 Tepung Kanji

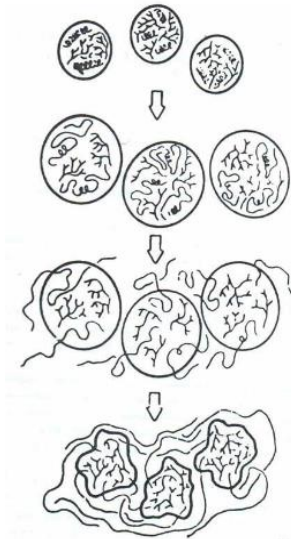
Tepung kanji atau pati adalah salah satu polisakarida yang merupakan komponen utama dari banyak tanaman pangan seperti gandum, beras, jagung, kentang, ubi jalar, singkong dan lain-lain. Tepung kanji banyak digunakan dalam makanan, kosmetik, kertas, tekstil, dan industri tertentu sebagai bahan perekat, penebalan, penstabil, pengerasan, dan pembentuk lapisan gel. Tepung kanji terdiri dari dua jenis molekul yaitu struktur bercabang yang tidak larut dalam air disebut amilopektin dan struktur linier yang larut dalam air disebut amilosa. Struktur kedua molekul ini ditunjukkan pada Gambar 2.7. Kedua molekul ini yang mempengaruhi fenomena gelatinisasi pada tepung kanji (Tako dkk, 2014).



Gambar 2.7 Struktur molekul a) amilosa b) amilopektin (Tako dkk, 2014).

Tepung kanji mengalami fenomena gelatinisasi pada proses PEO (Khorasanian dkk, 2011). Menurut Uhi (2006), gelatinisasi merupakan proses penyerapan air ke dalam granula butiran tepung

kanji. Dengan naiknya temperatur menyebabkan makin banyak air yang terserap sehingga pertumbuhan butiran tepung kanji semakin membesar. Dengan demikian, viskositas dari larutan elektrolit akan meningkat sehingga dapat mengurangi risiko elektrolit menguap dan terpercik keluar akibat plasma yang dihasilkan dari proses PEO.



Gambar 2.8 Mekanisme gelatinisasi tepung kanji (Imanningsih, 2012).

Gambar 2.8 menjelaskan mekanisme fenomena gelatinisasi pada tepung kanji yaitu:

1. Butiran tepung kanji tersusun dari molekul pendek amilosa dan molekul bercabang amilopektin. Kedua molekul ini dihubungkan oleh ikatan hidrogen yang lemah sehingga mudah terputus bila berikatan dengan air.
2. Adanya molekul air akan masuk terserap ke dalam butiran tepung kanji yang menyebabkan rusaknya kristalinitas amilosa dan amilopektin. Meresapnya air ke dalam butiran

- tepung kanji menyebabkan pertumbuhan butiran tepung kanji.
3. Dengan naiknya temperatur akan menyebabkan pertumbuhan butiran tepung kanji semakin membesar hingga amilosa berdifusi keluar. Molekul amilosa cenderung untuk meninggalkan butiran tepung kanji karena strukturnya yang pendek dan mudah larut dalam air.
 4. Pertumbuhan butiran tepung kanji akan menghasilkan lapisan gel mengandung amilopektin yang terperangkap dalam matriks amilosa.

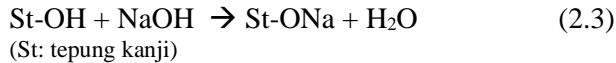
Fenomena gelatinisasi tepung kanji menyebabkan terbentuknya lapisan gel pasta pati. Lapisan gel ini mempunyai sifat thermal yang baik. Bila temperatur semakin meningkat, maka konsentrasi tepung kanji yang tergelatinisasi akan meningkat sehingga lapisan gel yang terbentuk semakin tebal dan penghambatan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

Lapisan gel berperan dalam mengurangi turbulensi dalam elektrolit dan juga mencegah panas yang dihasilkan menghilang dengan cepat dari selubung plasma. Hal ini menyebabkan proses pendinginan setelah penghentian proses PEO akan lebih seragam dan mencegah *thermal shock* di antarmuka substrat dan lapisan oksida. Dengan demikian, lapisan oksida akan melekat pada substrat tanpa ada keretakan atau *detaching* yang signifikan dari substrat (Khorasanian dkk, 2011).

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

menunjukkan bahwa tepung kanji hanya menambah persentase oksigen pada komposisi lapisan oksida (Motwani dkk, 2007).

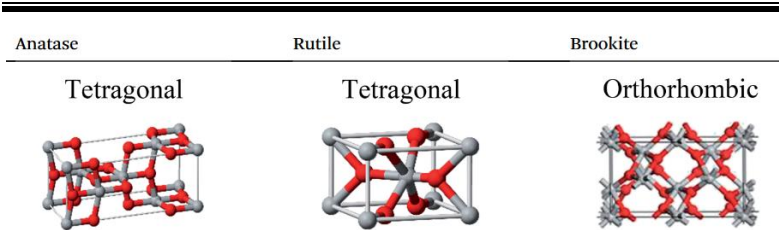
Proses PEO yang menggunakan tepung kanji dan NaOH akan menyebabkan sebagian NaOH bereaksi dengan tepung kanji sehingga mengurangi pasokan ion OH⁻ dalam larutan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3 (Rachtanapun, 2012).



Dengan berkurangnya pasukan OH⁻ dalam larutan akan menyebabkan intensitas plasma yang terbentuk akan semakin kecil sehingga lapisan oksida yang terbentuk lebih tipis tetapi padat.

2.6. Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium Dioksida (TiO₂) mempunyai tiga struktur kristal polimorfi utama yaitu anatase, rutil, dan brookite seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Setiap struktur kristal mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda. Dari ketiganya, rutil adalah fasa paling stabil, sedangkan anatase dan brookite bersifat metastabil pada semua temperatur dan akan berubah menjadi rutil ketika dipanaskan. Struktur dari TiO₂ terbentuk dari TiO₆ oktahedral yang terdistorsi dimana setiap atom Ti dikelilingi oleh 6 atom oksigen. Unit sel dari anatase berisi 4 unit TiO₂ (12 atom), sedangkan rutil mempunyai 2 unit TiO₂ (6 atom) dan brookite mempunyai 8 unit TiO₂ (24 atom). Brookite adalah fase yang paling tidak stabil di antara ketiganya karena strukturnya yang berbentuk ortorombik sehingga sulit untuk disintesis. Oleh karena itu jenis titanium dioksida yang umum ditemukan adalah rutil dan anatase.



Gambar 2.9 Struktur kristal anatase, rutile dan brookite (Oi dkk, 2016).

Tabel 2.4 Perbandingan karakteristik anatase, rutile dan brookite (Oi dkk, 2016).

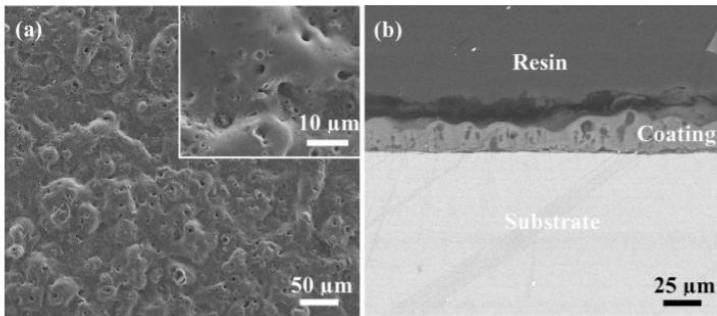
Karakteristik	Anatase	Rutile	Brookite
Atom per unit sel (Z)	4	2	8
Ukuran kristal (nm)	<11	>35	11-35
Parameter kisi (nm)	a = b = 0,3785, c = 0,9514	a = b = 0,4594, c = 0,2959	a = 0,5436, b = 0,9166 c = 0,5146
Volume unit sel (nm ³)	0,1363	0,0624	NA
Densitas (g/cm ³)	3,83	4,24	4,17
Band gap (eV)	3,26	3,05	NA
Kekerasan (Mohs)	5,5-6	6-6,5	5,5-6

Fase kristal TiO₂ awal yang terbentuk umumnya adalah anatase, sedangkan rutile diperoleh melalui proses kalsinasi. Transformasi anatase ke fase rutile adalah rekonstruktif dan ireversibel karena transformasi melibatkan pemutusan ikatan dan pembentukan kembali. Transformasi anatase menjadi rutile terjadi pada sekitar 600°C ketika dikalsinasi di udara. Namun demikian, beberapa penelitian melaporkan bahwa temperatur transformasi dapat sangat bervariasi dari 400 hingga 1200°C dipengaruhi oleh kondisi substrat, metode sintesis, dan kondisi aliran panas.

Brookite berubah menjadi fase rutile ketika dipanaskan pada temperatur sekitar 800°C. Rutile adalah fase yang paling stabil secara termal di antara ketiga polimorfi dengan titik lebur antara 1830°C dan 1850°C (Oidkk, 2016).

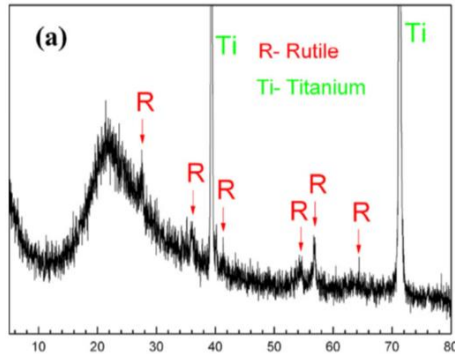
2.7. Penelitian Sebelumnya

Han dkk (2017) melakukan penelitian paduan Ti-6Al-4V yang dioksidasi menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation*. Pada penelitian ini digunakan *power supply* AC dengan parameter frekuensi 100 Hz dan *duty cycle* 8% untuk dialirkan pada larutan elektrolit dengan komposisi 70 g/L Na₂SiO₃ dan 4 g/L NaOH selama waktu oksidasi 150 detik.



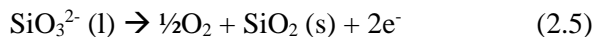
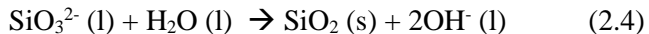
Gambar 2.10 Analisis hasil spesimen PEO Ti-6Al-4V, a) morfologi permukaan; b) morfologi permukaan melintang (Han, dkk 2017).

Dari hasil analisis morfologi spesimen yang sudah dilakukan proses PEO menggunakan *Scanning Electron Microscope* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (a) didapatkan lapisan oksida titanium berpori. Selain itu pada gambar penampang melintang 2.10 (b) dapat dilihat lapisan *coating* dengan ketebalan 25 μm.

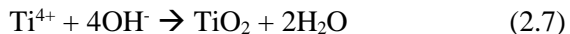
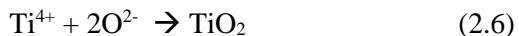


Gambar 2.11 Analisis hasil XRD PEO dengan elektrolit 70 g/L Na_2SiO_3 (Han dkk, 2017).

Dari Analisa XRD di dapat fasa SiO_2 yang ditunjukkan dengan peak amorphous pada posisi 21.984° . Fasa silica ini muncul akibat penggunaan larutan Na_2SiO_3 dalam larutan elektrolit pada proses PEO. Larutan Na_2SiO_3 akan terionisasi menjadi ion SiO_3^{2-} yang akan bereaksi membentuk SiO_2 menurut Persamaan 2.4 dan 2.5.

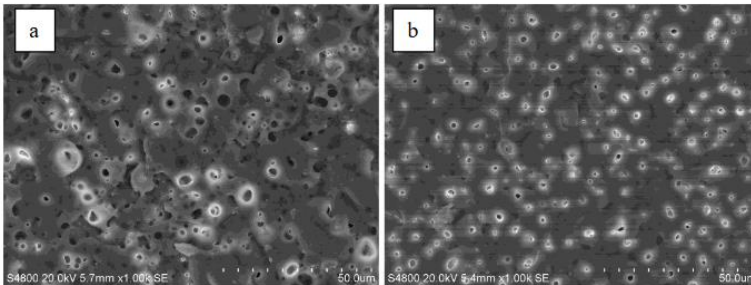


Selain silica terdapat juga fasa titanium oksida (TiO_2) rutile pada posisi *peak* tertinggi 2 theta di $27,447^\circ$. TiO_2 terbentuk dari ion Ti^{4+} yang berikatan dengan anion O^{2-} dan OH^- dari elektrolit ditunjukkan pada Persamaan 2.6 dan 2.7.



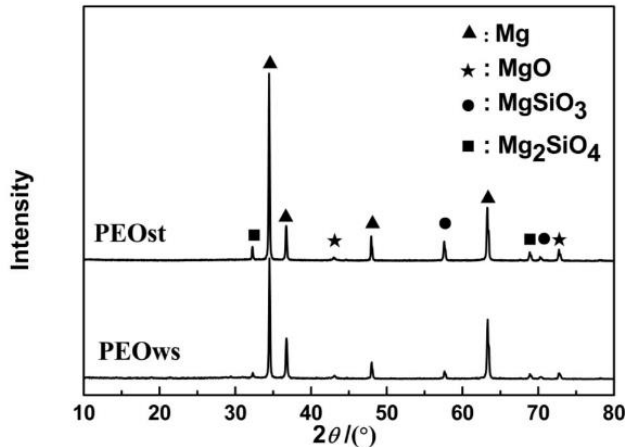
Pada penelitian yang dilakukan oleh Fang dkk (2017) tentang pengaruh tepung kanji terhadap paduan magnesium AZ31B yang dilapisi dengan metode *Plasma Electrolytic Oxidation*, digunakan *power supply* arus DC dengan parameter densitas arus sebesar 1 ampere/ dm^2 dan waktu PEO selama 15 menit. Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan alkali yang

dijaga temperaturnya di bawah 30°C dengan komposisi 45 g/L NaOH, 70 g/L Na₂SiO₃, dan 90 g/L Na₂B₄O₇ dengan variasi penambahan (PEOst) dan tanpa penambahan (PEOws) 10 g/L tepung kanji.



Gambar 2.12 Hasil Pengujian SEM sampel (a) PEOws dan (b) PEOst (Fang dkk, 2017).

Morfologi permukaan lapisan yang terbentuk dalam larutan elektrolit alkali dengan dan tanpa tepung kanji ditunjukkan pada Gambar 2.12. Terlihat jelas dari Gambar 2.12 (a) bahwa permukaan substrat yang di-PEO tanpa tepung kanji menunjukkan penampilan permukaan yang kasar. Pada substrat ini terdapat banyak mikropori dengan diameter 5 - 10 μm dan beberapa *microcrack* dapat ditemukan di permukaan. Hal ini, menunjukkan bahwa lapisan film dapat dengan mudah terkikis. Dengan penambahan tepung kanji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 (b), permukaan pada substrat lebih seragam dan mikropori menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, penambahan tepung kanji dalam elektrolit dapat membuat pengurangan porositas yang signifikan dalam morfologi permukaan.

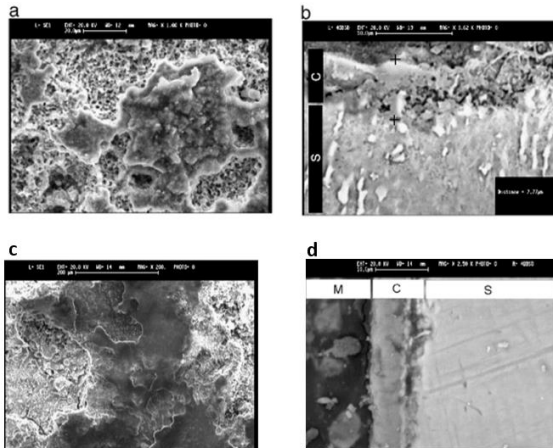


Gambar 2.13 Hasil pengujian XRD sampel PEOws dan PEOst (Fang dkk, 2017).

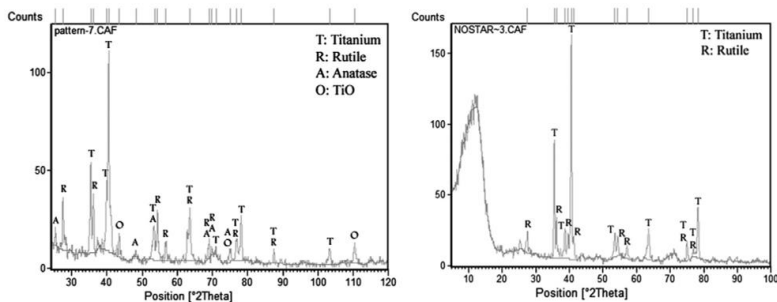
Gambar 2.13 menunjukkan hasil XRD dari lapisan oksida yang terbentuk pada proses PEO dalam larutan elektrolit dengan dan tanpa tepung kanji. Komposisi lapisan oksida yang terbentuk dalam elektrolit dengan dan tanpa tepung kanji relatif sama termasuk MgO, MgSiO₃, dan Mg₂SiO₄. Pada kedua sampel dapat dilihat bahwa puncak yang sesuai dengan substrat paduan Mg lebih kuat dari yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh lapisan yang sangat tipis yang terbentuk selama proses PEO. Ketebalan rata-rata lapisan oksida yang diperoleh dari proses PEO dalam larutan elektrolit dengan dan tanpa tepung kanji adalah 15,8 μm dan 14,7 μm. Selain itu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, permukaan dengan mikropori tidak dapat dihindari sepenuhnya. Oleh karena itu, sinar-X dapat dengan mudah menembus lapisan PEO berpori.

Pada penelitian lain oleh Khorasanian dkk (2011), dilakukan proses PEO terhadap paduan Ti-6Al-4V menggunakan *power supply* arus DC dengan voltase sebesar 380 Volt selama 10 menit. Komposisi larutan elektrolit yang digunakan adalah NaCl (30 g/l),

NaOH (10 g/l), Na_2SiO_3 (25 g/l), H_2O_2 (15 g/l), dan tepung kanji (25 g/l).



Gambar 2.14 Mikrostruktur a) permukaan; b) penampang melintang spesimen PEO dengan larutan elektrolit tanpa tepung kanji; c) permukaan; d) penampang melintang spesimen PEO dengan tepung kanji *: S= substrat, C = lapisan, M= mounting resin (Khorasanian dkk, 2011).

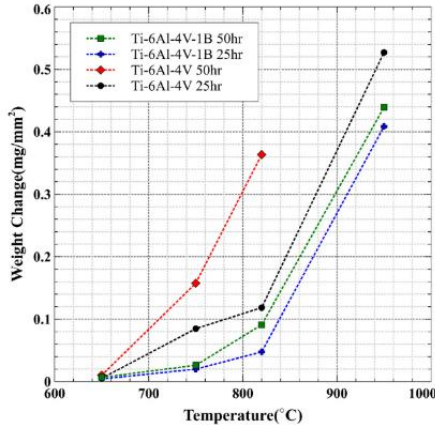


Gambar 2.15 Hasil pengujian XRD sampel PEO (kiri) dengan tepung kanji dan (kanan) tanpa tepung kanji (Khorasanian dkk, 2011).

Ada beberapa poin penting yang diperoleh dari perbandingan antara struktur mikro spesimen dengan dan tanpa tepung kanji, diantaranya:

1. Pada Gambar 2.14 menunjukkan bahwa terdapat banyak pori-pori yang saling berhubungan dalam struktur mikro sampel PEO tanpa tepung kanji. Jumlah dan ukuran pori-pori pada sampel PEO dengan tepung kanji tampak lebih rendah daripada sampel tanpa tepung kanji.
2. Ketebalan lapisan oksida pada sampel tanpa tepung kanji adalah 8 μm yang jauh lebih rendah daripada sampel dengan tepung kanji sebesar 48 μm .
3. Dari tampilan penampang melintang, terlihat bahwa lapisan tanpa tepung kanji telah terlepas dari substrat dan tampaknya tidak memiliki daya rekat yang memadai terhadap substrat. Sedangkan dalam kasus sampel PEO dengan tepung kanji fenomena seperti itu tidak ditemukan.
4. Dari perbandingan antara pola XRD sampel PEO dengan dan tanpa tepung kanji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15, dapat disimpulkan bahwa tepung kanji tidak menghasilkan unsur kimia baru ke lapisan oksida. Selain itu, komposisi lapisan oksida tidak berubah secara signifikan, karena kedua spesimen terdiri dari titanium oksida. Fakta-fakta ini menunjukkan bahwa tepung kanji hanya menambahkan oksigen terhadap komposisi lapisan.

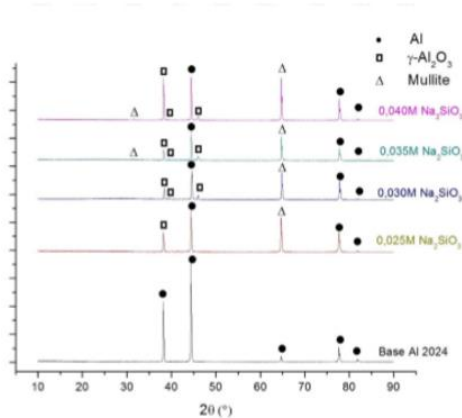
Brice dkk (2016) melakukan penelitian oksidasi pada temperatur tinggi paduan Ti-6Al-4V dan Ti-6Al-4V-1B dengan menggunakan masing-masing 9 sampel berukuran 13 x 13 x 1 mm. Permukaan spesimen dihaluskan dengan cara diampelas dan kemudian dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Semua sampel ditimbang menggunakan timbangan mikro dengan akurasi $\pm 0,0001$ g sebelum dan sesudah perlakuan panas. Setelah preparasi spesimen selesai, dilakukan proses oksidasi pada temperatur tinggi yaitu pemanasan dengan menggunakan *furnace* pada variasi temperatur 650°C, 750°C, 820°C dan 950°C dengan waktu tahan masing-masing 25 dan 50 jam.



Gambar 2.16 Hasil pengujian oksidasi temperatur tinggi paduan Ti-6Al-4V dan Ti-6Al-4V-1B (Brice dkk, 2016).

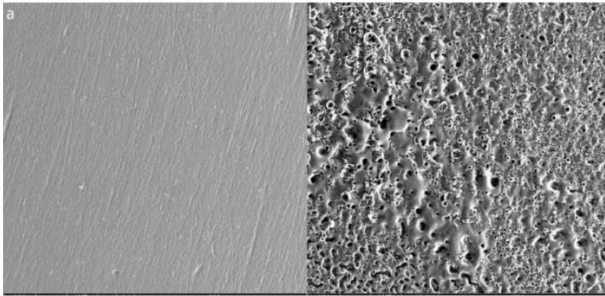
Hasil pengujian ditunjukkan pada grafik pertambahan massa terhadap temperatur oksidasi pada Gambar 2.16. Grafik ini menunjukkan bahwa spesimen dengan waktu tahan 50 jam akan menghasilkan produk oksidasi lebih besar daripada spesimen dengan waktu tahan 25 jam. Selain itu, kenaikan temperatur juga berperan dalam oksidasi temperatur tinggi kedua paduan tersebut. Semakin tinggi temperatur pemanasannya maka produk oksidasi juga semakin banyak.

Pada penelitian Altama dan Purniawan (2017) dilakukan proses PEO paduan aluminium 2024 menggunakan *power supply* DC. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh waktu oksidasi dan konsentrasi Na_2SiO_3 terhadap morfologi dan kekerasan paduan aluminium 2024 yang dilapisi dengan proses PEO. Pada penelitian ini digunakan sampel berukuran 2,5 x 1,5 x 3 cm yang dioksidasi dengan proses PEO menggunakan voltase sebesar 260 Volt selama variasi waktu oksidasi 10 – 40 menit. Larutan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan KOH dan Na_2SiO_3 . Variasi konsentrasi Na_2SiO_3 yang digunakan adalah 0,025 M, 0,030 M, 0,035 M, dan 0,040 M.



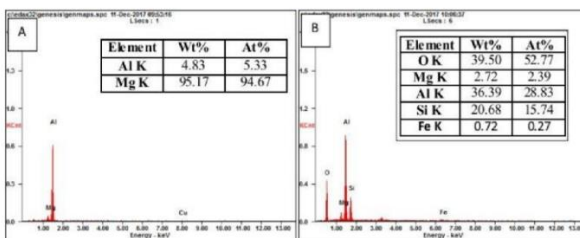
Gambar 2.17 Hasil uji XRD variasi konsentrasi sodium silikat (Altama dan Purniawan, 2017).

Gambar 2.17 menunjukkan hasil pengujian XRD yang dilakukan pada spesimen. Pengujian pada *base* spesimen aluminium 2024 menunjukkan beberapa puncak difraksi pada $2\theta = 38,21^\circ; 44,40^\circ; 77,66^\circ$ yang menunjukkan fasa aluminium yang tinggi pada *base* spesimen. Substrat dengan perlakuan PEO menunjukkan puncak difraksi yang sama dari *base* spesimen meskipun beberapa perbedaan dalam sudut 2θ tertentu menunjukkan fase baru yang terbentuk sebagai hasil dari proses PEO. Gambar 2.17 menunjukkan hasil uji XRD pada spesimen dengan variasi konsentrasi elektrolit. Dalam pola XRD spesimen PEO, fasa yang terbentuk adalah Al, boehmite ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), dan mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). Ketika konsentrasi Na_2SiO_3 yang digunakan dalam elektrolit meningkat, maka semakin banyak puncak boehmite dan mullite yang terbentuk.



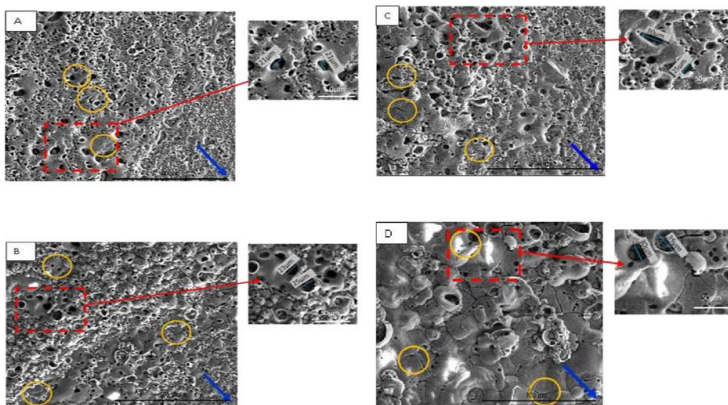
Gambar 2.18 Hasil pengujian SEM dari permukaan substrat dengan perbesaran 250x (a) substrat tidak dilapisi (b) dilapisi dengan Al₂O₃ dengan metode PEO (Altama, 2017).

Gambar 2.18. menunjukkan morfologi permukaan spesimen yang dilihat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar ini menunjukkan perbedaan tampilan atas antara *base* spesimen dan lapisan oksida hasil dari proses PEO. Gambar 2.18 (a) menunjukkan permukaan logam yang tidak dilapisi (Al 2024) yang halus dengan beberapa goresan karena pemolesan yang tidak sempurna. Sampel yang dilapisi dengan metode PEO menunjukkan hasil yang berbeda bahwa permukaannya menjadi permukaan kasar dan ada lubang hitam di permukaannya dan ada juga struktur nodular keabu-abuan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.18 (b).



Gambar 2.19 Hasil pengujian EDX (a) *base* spesimen (b) PEO (Altama, 2017).

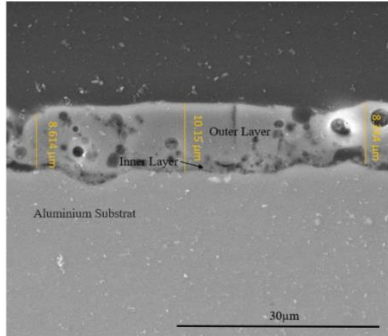
Dari analisis EDX yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 (a), tidak ada unsur oksigen pada sampel *base*. Sementara pada Gambar 2.19 (b) menunjukkan sampel yang dilapisi dengan metode PEO terdapat unsur oksigen dengan intensitas yang cukup tinggi. Unsur oksigen ini mengindikasikan bahwa terdapat lapisan oksida pada sampel yang telah dilapisi dengan metode PEO.



Gambar 2.20 Hasil pengujian SEM dengan perbesaran 500X A) 0.025M, B) 0.030M, C) 0.035M, dan D) 0.040M (Altama dan Purniawan, 2017).

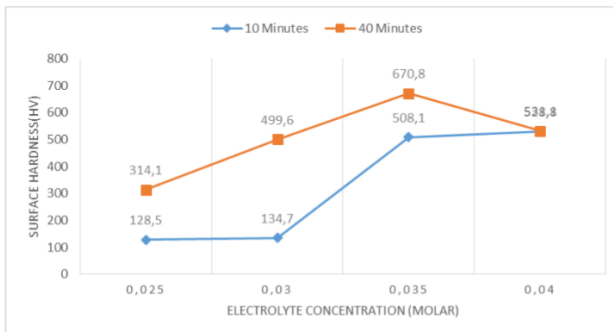
Gambar 2.20 menunjukkan morfologi permukaan yang diperoleh dari spesimen yang diproses PEO dengan variasi konsentrasi elektrolit. Hasil penelitian menunjukkan morfologi lapisan oksida aluminium dengan jumlah mikropori yang tinggi. Distribusi mikropori lebih banyak di daerah kiri karena merupakan wilayah terdekat dengan sumber arus listrik. Panah biru menunjukkan area yang semakin jauh dari arus. Selain itu, peningkatan konsentrasi Na_2SiO_3 membentuk ukuran butir yang lebih besar. Dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit maka akan meningkatkan intensitas pelepasan busur mikro pada menit-menit awal sehingga dapat meningkatkan ukuran mikropori.

Ukuran rata-rata mikropori terbesar dari masing-masing sampel A, B, C, D adalah $21\mu\text{m}$, $24\mu\text{m}$, $27,5\mu\text{m}$, dan $32,5\mu\text{m}$.



Gambar 2.21 Penampang melintang dari sampel PEO (Altama dan Purniawan, 2017).

Gambar 2.21 menunjukkan gambar penampang melintang dari sampel yang telah diproses dengan PEO. Selain morfologi lapisan permukaan, konsentrasi elektrolit mempengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dalam proses PEO. Proses PEO yang dilakukan menghasilkan lapisan oksida dengan ketebalan rata-rata $9,04\mu\text{m}$.



Gambar 2.22 Grafik pengaruh waktu oksidasi dan konsentrasi terhadap kekerasan permukaan spesimen PEO (Altama dan Purniawan, 2017).

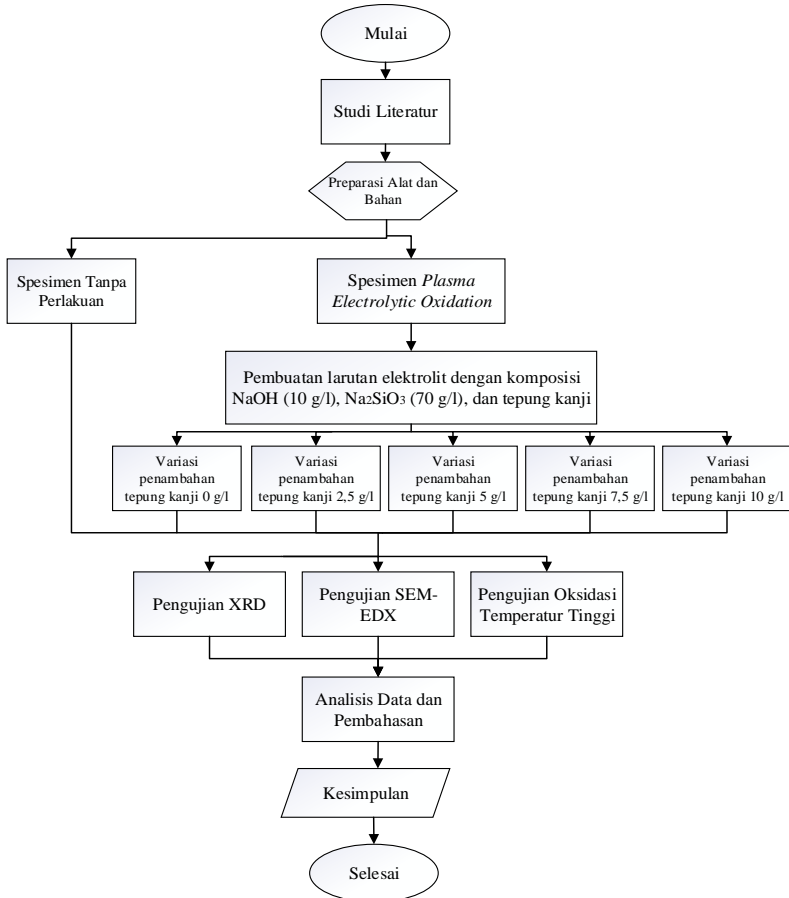
Gambar 2.22 menunjukkan pengaruh waktu oksidasi dan konsentrasi Na_2SiO_3 terhadap kekerasan permukaan spesimen PEO. Kekerasan permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk porositas, kekasaran permukaan, dan fasa atau senyawa yang terbentuk. Senyawa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki kepadatan yang lebih tinggi dari $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sehingga memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Pada hasil karakterisasi XRD yang telah dilakukan, proses PEO dengan variasi konsentrasi menghasilkan kandungan senyawa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan mullite. Semakin banyak mullite yang terbentuk dalam proses PEO menggunakan larutan Na_2SiO_3 dapat memberikan peningkatan kekerasan permukaan, karena senyawa mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) memiliki kerapatan 6,7 kali lebih tinggi dari aluminium. Namun, penggunaan konsentrasi di atas 0,030 M dapat menghasilkan lapisan rapuh yang mudah jatuh. Ini dapat mengurangi nilai kekerasan lapisan permukaan yang terbentuk.

Sesuai dengan hasil pada gambar morfologi pengujian SEM, spesimen PEO dengan konsentrasi 0,040M memiliki morfologi permukaan dengan ukuran mikropori yang lebih besar dan banyak *microcrack* dibandingkan dengan spesimen PEO dengan konsentrasi 0,035M yang disebabkan oleh adanya mullite. Sehingga konsentrasi 0,040M dengan waktu oksidasi 40 menit adalah batas penurunan nilai kekerasan permukaan dari sampel PEO.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir.

3.2 Metode Penelitian

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 Ti-6Al-4V, metode pelapisan dengan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO), pengaruh tepung kanji pada larutan elektrolit terhadap lapisan *coating* Ti-6Al-4V 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 Diffractometer* (XRD), pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM), pengujian *hardness*, dan pengujian oksidasi temperatur tinggi.

3.3 Proses Preparasi dan Pelapisan

Adapun proses penelitian ini diawali dengan preparasi sampel Ti-6Al-4V dan larutan elektrolit. Kemudian dilanjutkan dengan proses pelapisan menggunakan metode PEO.

3.3.1 Preparasi Sampel dan Larutan Elektrolit

Dalam penelitian ini material yang akan digunakan adalah paduan Ti-6Al-4V yang merupakan material yang sering digunakan sebagai *fan blade* pada mesin pesawat terbang. Material yang digunakan adalah material yang diproduksi oleh Xean Ocean Material Technology Co.Ltd. Sebelum di *coating*, substrat yang berbentuk pelat harus dipotong menggunakan *wirecut* menjadi spesimen berukuran 20 x 10 x 3 mm sebanyak 42 buah. Kemudian permukaan spesimen diampelas dengan menggunakan kertas ampelas dengan *grade* 180, 400, 800, dan 1000 untuk mendapatkan

kekasaran permukaan yang merata serta untuk mempermudah proses pelapisan. Setelah itu sampel dibilas menggunakan akuades dan dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* di dalam larutan etanol selama 10-15 menit untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor.

Larutan elektrolit yang digunakan pada proses PEO dengan substrat Ti-6Al-4V memiliki komposisi NaOH (10 g/l), Na₂SiO₃ (70 g/l), dan tepung kanji. Pada penelitian ini variasi konsentrasi tepung kanji yang digunakan yaitu 0 g/l, 2.5 g/l, 5 g/l, 7.5 g/l, dan 10 g/l.

3.3.2 Proses Pelapisan Menggunakan Metode PEO

Substrat yang telah dipersiapkan sebelumnya akan dilapisi menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) untuk membentuk lapisan oksida TiO₂. Metode ini dilakukan dengan memasukkan spesimen ke dalam larutan elektrolit dan menghubungkan spesimen dengan sirkuit elektrik menggunakan *power supply* arus DC. Pada proses ini spesimen berperan sebagai anoda dan *electrolyte bath* yang berperan sebagai katoda. *Bath* disini dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menjaga temperatur elektrolit ($\pm 30^{\circ}\text{C}$) sehingga elektrolit tidak cepat menguap akibat panas yang dihasilkan oleh plasma.



Gambar 3.2 Peralatan *plasma electrolytic oxidation* (PEO).

Pada penelitian ini pembentukan lapisan TiO_2 menggunakan *power supply* DC seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2 dengan potensial maksimum sebesar 800 Volt dan arus maksimum sebesar 4 A. Potensial yang digunakan pada penelitian ini adalah 150 Volt dengan waktu pelapisan selama 8 menit.

3.4 Proses Pengujian

Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX), serta pengujian oksidasi temperatur tinggi.

3.4.1 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)



Gambar 3.3 Alat *X-Ray diffraction* (XRD).

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui fasa kristalin yang terbentuk pada sampel tanpa perlakuan dan hasil PEO dengan variasi penambahan konsentrasi tepung kanji pada larutan elektrolit. Prinsip kerja XRD adalah memanfaatkan radiasi *x-ray* yang ditembakkan ke arah sampel yang

kemudian terpantulkan ke *x-ray detector* dan direkam dalam bentuk grafik hubungan intensitas terhadap 2θ . Pada informasi grafik yang diberikan diambil 3 intensitas tertinggi (*peak*) yang digunakan untuk mengetahui unsur yang terkandung di lapisan oksida yang terbentuk di permukaan sampel dengan menggunakan *software* tertentu.

Pada sampel Ti-6Al-4V yang dioksidasi dengan metode PEO dapat terbentuk tiga jenis polimorfi fasa titanium oksida (TiO_2) yaitu anatase, rutile dan brookite. Untuk mengetahui komposisi fasa dari TiO_2 dapat digunakan Persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3 sebagai berikut:

$$W_A \% = \frac{K_A \times I_A}{(K_A \times I_A) + I_R + (K_B \times I_B)} \quad (3.1)$$

$$W_B \% = \frac{K_B \times I_B}{(K_A \times I_A) + I_R + (K_B \times I_B)} \quad (3.2)$$

$$W_R \% = \frac{I_R}{(K_A \times I_A) + I_R + (K_B \times I_B)} \quad (3.3)$$

W_A , W_B dan W_R merupakan fraksi masa dari anatase, brookite dan rutile secara berurutan. Sedangkan I_A merupakan intensitas anatase (101) pada posisi 2 theta $25,28^\circ$, I_B adalah intensitas brookite (121) pada posisi 2 theta $30,81^\circ$ dan I_R adalah intensitas rutile (110) pada posisi 2 theta $27,43^\circ$. K_A dan K_B merupakan *correction coefficient* dari anatase dan brookite, dimana $K_A = 0.886$ dan $K_B = 2.721$.

Persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3 digunakan bila ditemukan *peak* brookite pada hasil XRD lapisan oksida. Bila pada lapisan oksida hanya terdapat anatase dan rutile maka persamaan yang digunakan adalah Persamaan 3.4

$$W_R \% = \frac{I_R}{(0.884 I_A) + I_R} \quad (3.4)$$

(Cassanova, dkk, 2017)

3.4.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) & *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX)



Gambar 3.4 Alat *scanning electron microscope* (SEM).

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk mendapatkan morfologi permukaan dan penampang melintang dari sampel tanpa perlakuan dan sampel yang di PEO dengan variasi penambahan konsentrasi tepung kanji pada larutan elektrolit. Prinsip kerja dari SEM adalah dengan menembakan elektron dengan energi tinggi ke sampel, yang kemudian akan diperkuat dan diteruskan ke lensa objektif pada bagian bawah. Pantulan dari elektron yang ditembakkan ke sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* dan akan diterjemahkan menjadi informasi visual dari morfologi permukaan sampel. Sedangkan pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* dilakukan untuk mengetahui analisis kuantitatif komposisi kimia dari permukaan substrat yang telah dilapisi.

3.4.3 Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi



Gambar 3. 5 Alat pengujian oksidasi temperatur tinggi

Pengujian oksidasi temperatur tinggi bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap lapisan oksida yang terbentuk pada sampel. Pengujian ini dilakukan kepada semua sampel Ti-6Al-4V (semua variabel). Cara pengujian ini adalah pertama semua sampel dicatat massa awalnya dengan cara ditimbang menggunakan timbangan analitik digital. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan dengan temperatur 700°C selama 1-5 jam. Setelah itu sampel dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan di udara terbuka sampai temperatur kamar lalu ditimbang kembali untuk mengetahui pertambahan massa setelah dioksidasi di temperatur 700°C setiap 1 jam. Kemudian data tersebut akan diplotkan ke dalam grafik pertambahan massa terhadap waktu oksidasi.

3.1. Rancangan Penelitian

Untuk mempermudah penelitian maka dibuatlah rancangan penelitian berupa tabel yang mendata sampel dan jenis pengujian yang dilakukan, tabel rancangan penelitian adalah sebagai berikut:

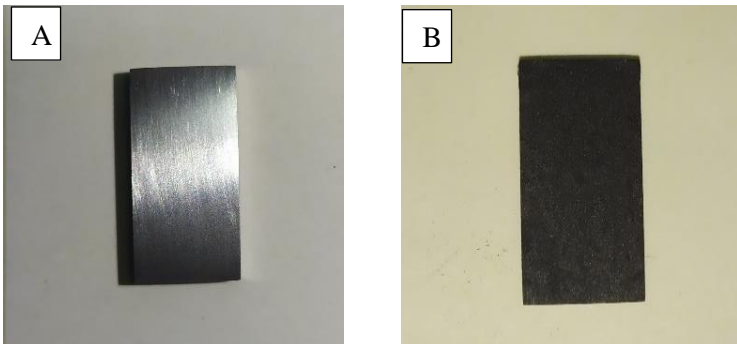
Tabel 3.1 Tabel Rancangan Penelitian.

Sampel	Variabel Konsentrasi Kanji (g/l)	Uji XRD	Uji SEM- EDX	Uji Oksidasi Temperatur Tinggi
Ti-6Al-4V	-	√	√	√
	0	√	√	√
	10	√	√	√
Ti-6Al-4V + PEO	20	√	√	√
	30	√	√	√
	40	√	√	√

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Pengamatan Visual

Pengamatan secara visual dilakukan pada spesimen Ti-6Al-4V sebelum dan sesudah dilakukan proses PEO untuk mengamati perubahan yang terjadi pada permukaan setelah adanya proses PEO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

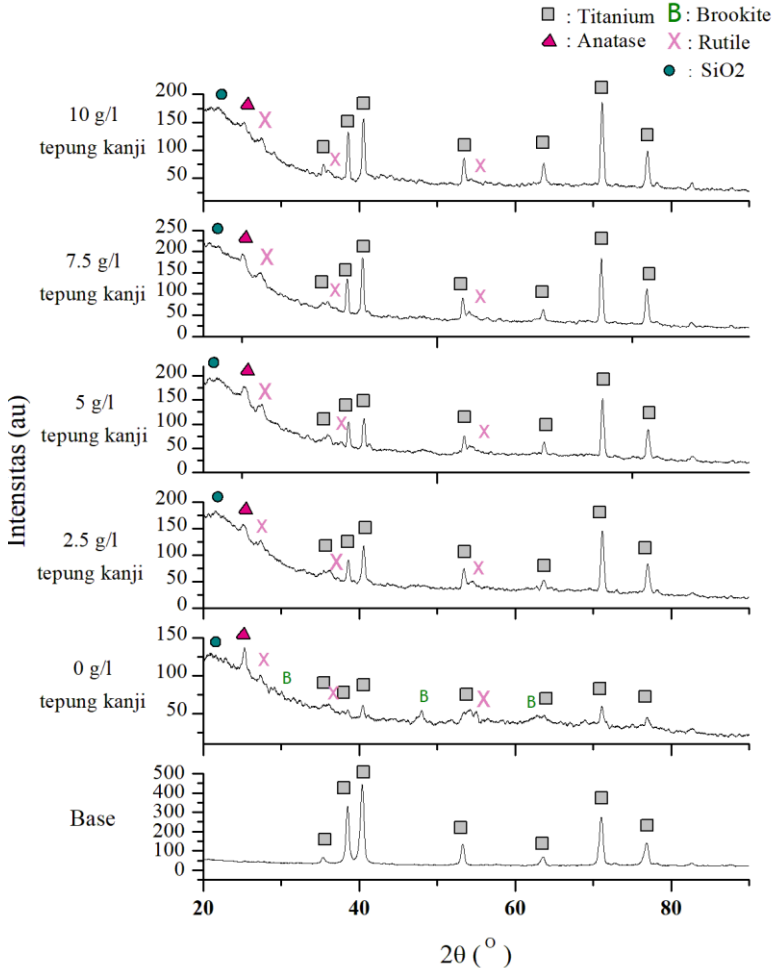


Gambar 4.1 Pengamatan visual spesimen A) sebelum proses PEO; B) sesudah proses PEO.

Pengamatan visual dari *base material* Ti-6Al-4V (Gambar 4.1 A) yang sudah di preparasi dengan cara di amplas hingga *grade* 1000 mempunyai permukaan berwarna silver mengkilap dengan permukaan yang rata. Sedangkan pada spesimen yang sudah di proses PEO dengan voltase 150 Volt selama 8 menit mempunyai permukaan berwarna hitam. Menurut Han, dkk (2017) warna hitam pada spesimen Ti-6Al-4V yang di PEO dengan menggunakan larutan Na_2SiO_3 mengindikasikan bahwa telah terbentuk lapisan titanium oksida pada permukaan spesimen.

4.2 Analisis Fasa Hasil Pengujian XRD

Hasil Pengujian XRD Gambar 4.2 menunjukkan fasa apa saja yang terbentuk pada material *base* dan material Ti-6Al-4V yang di PEO dengan variasi konsentrasi tepung kanji.



Gambar 4.2 Hasil pengujian XRD.

Hasil karakterisasi XRD *base* material Ti-6Al-4V dan spesimen hasil proses PEO pada Gambar 4.2 menunjukkan *peak* titanium pada beberapa posisi 2θ yang sama. Selain itu, pada spesimen hasil proses PEO dengan beberapa variasi penambahan konsentrasi tepung kanji terbentuk fasa baru yaitu SiO₂ dan tiga jenis fasa titanium oksida yaitu anatase, rutilite dan brookite.

Menurut Chen dkk (2012), penurunan intensitas pada *peak base* material menunjukkan bahwa adanya perubahan fasa logam menjadi oksida logam pada permukaan material akibat adanya proses PEO. Hal ini ditunjukkan dengan fasa titanium pada *base* material mempunyai intensitas tertinggi pada posisi 2θ 40,4286° sebesar 463,33, sedangkan pada spesimen yang sudah di PEO intensitas tertinggi pada posisi 2θ yang sama intensitasnya hanya sebesar 242,82.

Pada spesimen yang telah diproses PEO terdapat *peak* silica amorphous pada posisi 2θ 21,984°. Fasa silica ini muncul akibat penggunaan larutan Na₂SiO₃ dalam larutan elektrolit pada proses PEO. Menurut Han dkk (2018), larutan Na₂SiO₃ pada proses PEO akan terionisasi menjadi ion SiO₃²⁻ yang akan bereaksi membentuk SiO₂. Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan Reaksi 2.3 dan 2.4.

Selain silica terdapat juga tiga jenis fasa titanium oksida (TiO₂) yang ditunjukkan dengan *peak* tertinggi di posisi 2θ 25,281° untuk anatase, 27,447° untuk rutilite dan 30,808° untuk brookite. Menurut Han dkk (2018), TiO₂ terbentuk dari ion Ti⁴⁺ yang berikatan dengan anion O²⁻ dan OH⁻ dari elektrolit seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.5 dan 2.6.

Dari perbandingan hasil XRD spesimen yang diproses dengan PEO dengan dan tanpa tepung kanji menunjukkan bahwa tidak ada fasa baru selain tiga jenis fasa dari titanium oksida yaitu anatase, rutilite dan brookite. Hal ini, dapat disimpulkan bahwa tepung kanji tidak menghasilkan unsur kimia baru seperti C atau H ke lapisan titanium oksida (Khorasanian, 2011).

Tabel 4.1 menampilkan *range* arus proses yang digunakan saat proses PEO dengan variasi konsentrasi tepung kanji dengan voltase 150 Volt dan waktu *holding* 8 menit. Penggunaan arus yang

digunakan ini akan berpengaruh terhadap temperatur proses dan lapisan oksida yang terbentuk. Dari tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa penambahan tepung kanji meningkatkan resistensi pada larutan yang berakibat terhadap turunnya arus listrik yang digunakan.

Tabel 4.1 Pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap intensitas arus.

Konsentrasi tepung kanji (g/L)	0	2.5	5	7.5	10
Arus proses (Ampere)	2.60	0.53	0.33	0.22	0.21
	-	-	-	-	-
	2.85	1.84	1.36	1.25	1.09

Dari Gambar 4.2 menunjukkan *peak* brookite hanya terdapat pada spesimen yang diproses dengan PEO tanpa tepung kanji pada posisi 2θ $30,808^\circ$, $48,012^\circ$, dan $55,234^\circ$. Hal ini dikarenakan brookite merupakan fasa metastabil yang terbentuk pada kondisi temperatur tinggi dan banyak ion OH^- (Fischer, 2017). Dapat disimpulkan bahwa fasa brookite terbentuk pada proses PEO tanpa tepung kanji karena proses ini melibatkan arus yang tinggi (tabel 4.1) yang menyebabkan *plasma discharge* besar di permukaan material yang berpengaruh terhadap tingginya temperatur proses. Selain itu, proses ini menggunakan 10 g/l NaOH yang berperan sebagai pemasok ion OH^- sehingga memungkinkan untuk terbentuk fasa brookite pada proses PEO tanpa tepung kanji.

Menurut Rachtanapun dkk (2012), pada proses PEO yang menggunakan tepung kanji, sebagian NaOH akan bereaksi dengan tepung kanji sehingga mengurangi pasokan ion OH^- dalam larutan. Reaksi yang terjadi antara tepung kanji dan NaOH ditunjukkan pada Persamaan 2.3. Reaksi ini hanya menyebabkan berkurangnya pasokan OH^- dalam larutan elektrolit yang digunakan tetapi tidak menambah unsur baru dalam lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian EDX pada Gambar 4.3 tidak terdapat unsur C dan H yang merupakan unsur penyusun dari tepung kanji.

Hal ini yang menyebabkan pada proses PEO dengan penambahan tepung kanji hanya membentuk fasa rutile dan anatase seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Tabel ini merupakan tabel perbandingan persentase fasa anatase, rutile dan brookite yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4.

Tabel 4.2 Persentase fasa rutile, anatase, brookite.

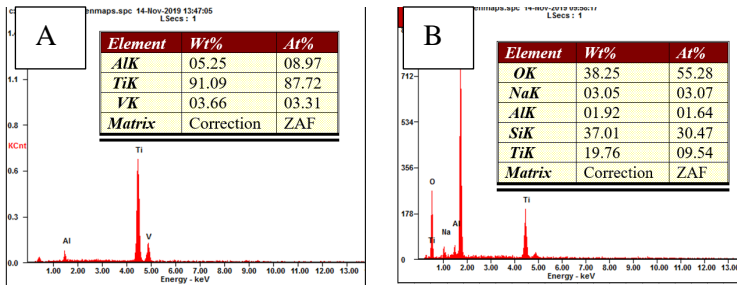
Konsentrasi tepung kanji	Persentase Rutile	Persentase Anatase	Persentase Brookite
0 g/l	22.28%	31.52%	46.2%
2.5 g/l	43.14%	56.86%	0%
5 g/l	44.11%	55.89%	0%
7.5 g/l	45.24%	54.76%	0%
10 g/l	49.67%	50.33%	0%

Pada tabel 4.2 menunjukkan pada proses PEO dengan penambahan tepung kanji 2.5 – 10 g/L mempunyai fraksi anatase yang lebih banyak daripada rutile. Hal ini disebabkan karena proses PEO ini hanya menggunakan voltase dan arus yang rendah (tabel 4.1). Oleh karena itu, temperatur proses yang digunakan tidak terlalu tinggi sehingga lebih banyak anatase yang terbentuk daripada rutile pada proses PEO dengan tepung kanji.

Menurut Fischer dkk (2017), pada kondisi ion OH^- yang sedikit, rutile yang terbentuk akan meningkat. Sedangkan pada kondisi ion OH^- yang banyak, maka akan semakin banyak fasa anatase yang terbentuk. Hal ini yang menjelaskan dengan penambahan tepung kanji menyebabkan makin sedikit pasokan ion OH^- yang tersedia dalam larutan sehingga pada temperatur yang sama fasa rutile yang terbentuk pada lapisan oksida meningkat.

4.3 Analisis Komposisi Hasil EDX

Gambar 4.3 merupakan hasil karakterisasi komposisi kimia menggunakan EDX pada sampel *base* material Ti-6Al-4V dan sampel yang sudah di proses dengan PEO. Dari Gambar 4.3 unsur yang didapat dengan adanya proses PEO adalah oksigen, natrium dan silikon.

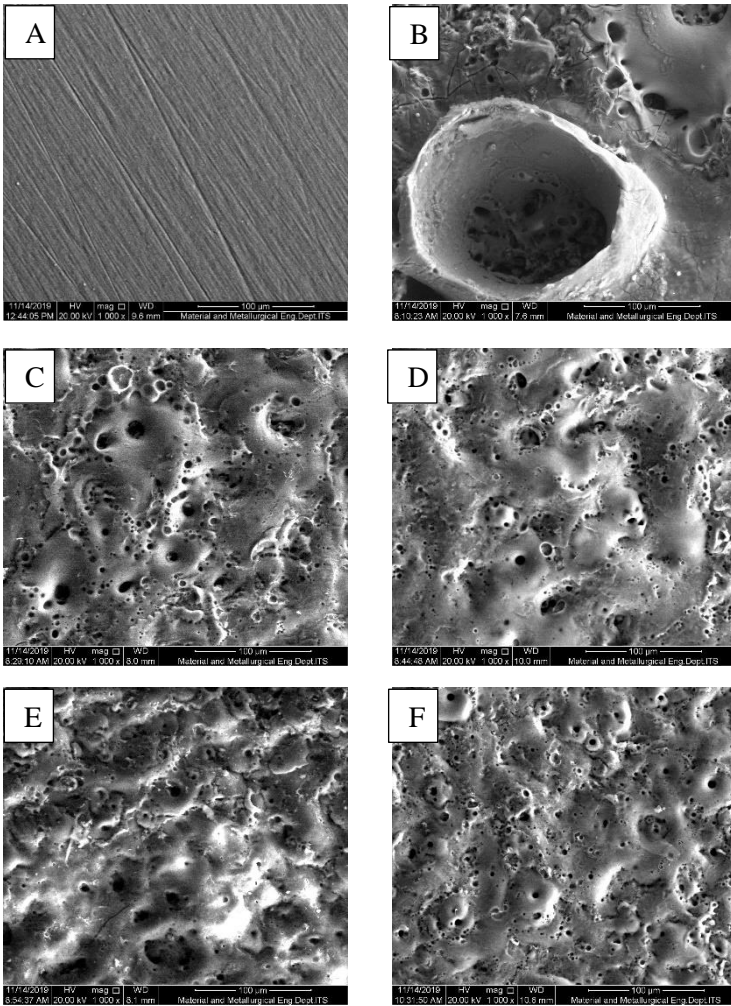


Gambar 4.3 Hasil pengujian EDX spesimen A) sebelum PEO; B) sesudah PEO.

Pada sampel *base* material (Gambar 4.3 A) terdapat unsur titanium, vanadium dan aluminium yang merupakan paduan utama dari material Ti-6Al-4V. Begitu juga pada spesimen yang sudah di PEO terdapat unsur titanium dan aluminium yang merupakan paduan dari substrat Ti-6Al-4V. Sedangkan unsur Na disini berasal dari larutan elektrolit Na_2SiO_3 yang digunakan pada proses PEO. Unsur titanium, oksigen dan silicon merupakan unsur yang mendominasi dengan persentase lebih dari 15%. Hal ini memperkuat analisa XRD sebelumnya bahwa pada lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO terbentuk fasa TiO_2 dan SiO_2 *amorphous*.

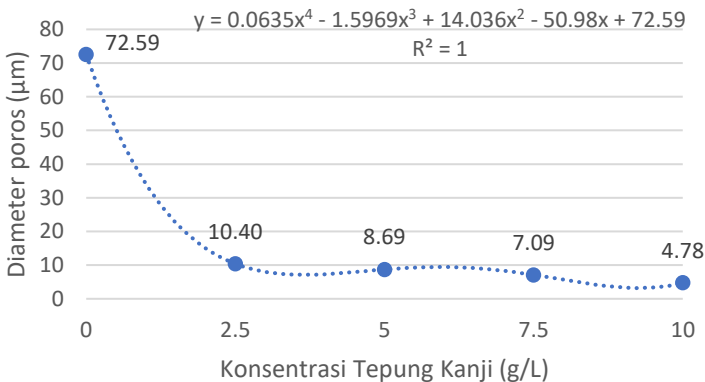
4.4 Analisis Morfologi & Ukuran Mikropori

Perbandingan permukaan spesimen *base* material Ti-6Al-4V dan spesimen yang di PEO dengan variasi penambahan tepung kanji dapat dilihat pada Gambar 4.4. Gambar morfologi permukaan di sini diambil dengan menggunakan SEM perbesaran 1000x. Gambar 4.4 A menunjukkan morfologi permukaan spesimen dari *base* material Ti-6Al-4V yang mempunyai permukaan rata dengan *scratch* searah akibat proses pengamplasan hingga *grade* 1000. Sedangkan Gambar 4.4 B-F menunjukkan spesimen yang di PEO dengan variasi penambahan konsentrasi 0-10 g/L tepung kanji.



Gambar 4.4 Hasil SEM morfologi permukaan spesimen A) *Base* Material Ti-6Al-4V; dan spesimen PEO dengan variasi konsentrasi tepung kanji. B) 0 g/L; C) 2.5 g/L; D) 5 g/L; E) 7.5 g/L; F) 10 g/L (1000x perbesaran).

Dapat dilihat pada sampel yang sudah diproses dengan PEO mempunyai mikropori yang ditunjukkan dengan lingkaran berwarna hitam pada gambar. Menurut Kaseem dkk (2019), mikropori terbentuk akibat adanya percikan plasma pada permukaan spesimen yang dapat melubangi lapisan oksida yang telah terbentuk pada proses PEO. Semakin besar percikan plasma maka mikropori yang terbentuk akan semakin besar.

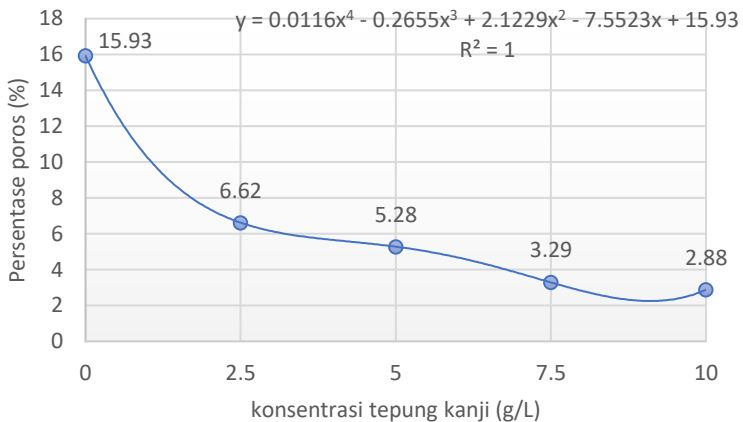


Gambar 4.5 Grafik pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap ukuran mikropori.

Dari analisa ukuran diameter mikropori pada Gambar 4.5 menunjukkan dengan adanya penambahan konsentrasi tepung kanji menyebabkan ukuran mikropori menjadi lebih kecil. Pada mikropori spesimen yang di PEO tanpa menggunakan tepung kanji ukuran mikropori sebesar 72.59 µm, jauh lebih besar daripada spesimen yang di PEO dengan tepung kanji yang hanya sebesar 10.40 µm, 8.69 µm, 7.09 µm dan 4.77 µm secara berurutan. (Kaseem, 2019) Ukuran mikropori ini berbanding lurus dengan ukuran *plasma discharge* yang terbentuk pada saat proses PEO. Dalam tabel 4.1 dapat dilihat bahwa penambahan tepung kanji menurunkan arus yang digunakan dalam proses PEO. Dengan menurunnya intensitas arus yang digunakan menyebabkan ukuran

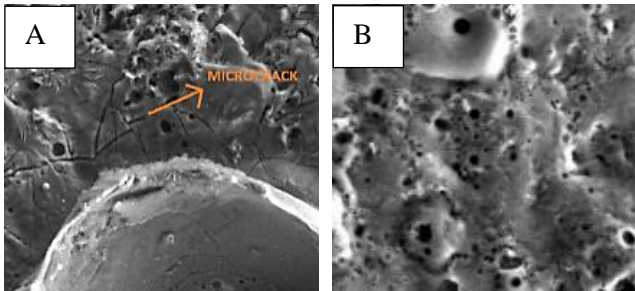
dari *plasma discharge* menjadi lebih kecil dan seragam di permukaan logam. Maka dari itu ukuran dari mikropori menjadi lebih kecil dengan adanya penambahan konsentrasi tepung kanji.

Gambar 4.6 menunjukkan grafik pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap persentase luasan porositas pada permukaan spesimen. Semakin besar ukuran porositas maka semakin besar pula persentase area porositas pada lapisan oksida yang terbentuk. Ukuran dan luasan porositas ini yang akan berpengaruh terhadap sifat ketahanan oksidasi temperatur tinggi paduan Ti-6Al-4V yang di PEO.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap persentase area porositas.

Selain itu penambahan tepung kanji juga mempunyai pengaruh terhadap morfologi lapisan oksida yang terbentuk. Hal ini dapat dilihat dari pengamatan permukaan menggunakan SEM pada spesimen Ti-6Al-4V yang di PEO tanpa penambahan tepung kanji (Gambar 4.7 A) dan dengan penambahan aditif tepung kanji (Gambar 4.7 B).

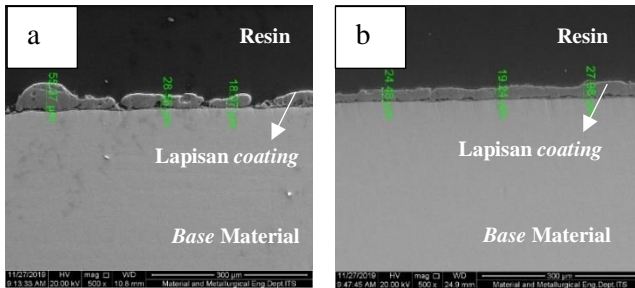


Gambar 4.7 Morfologi permukaan spesimen PEO A) tanpa tepung kanji; B) dengan tepung kanji.

Pada perbandingan morfologi sampel yang di PEO dengan dan tanpa tepung kanji pada Gambar 4.7, terdapat banyak *microcrack* pada permukaan sampel tanpa tepung kanji. Sedangkan pada sampel dengan tepung kanji jarang sekali terdapat *microcrack*. (Fang, 2017) *Microcrack* terjadi karena adanya *thermal stress* yang disebabkan oleh pendinginan cepat lelehan logam oksida dalam elektrolit yang relatif dingin pada proses PEO. Penambahan tepung kanji menyebabkan penurunan intensitas dan ukuran dari *plasma discharge* yang berpengaruh terhadap temperatur proses PEO dan larutan elektrolit sehingga dapat mengurangi risiko adanya *microcrack*.

4.5 Analisis Ketebalan Lapisan *Coating*

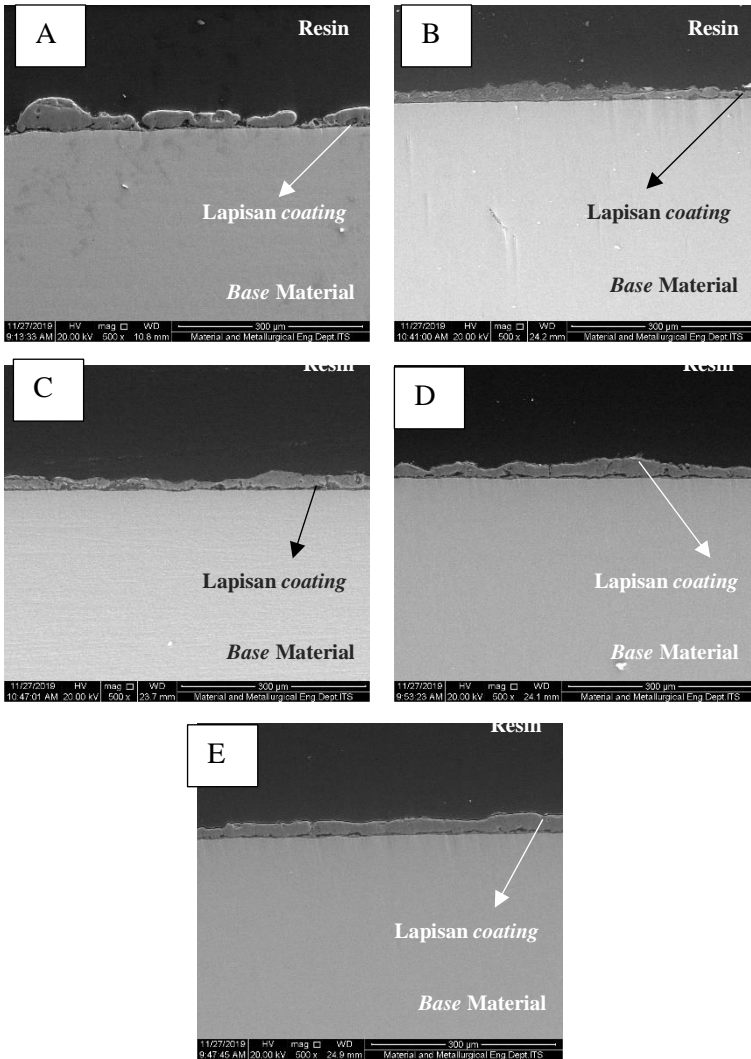
Ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dari proses PEO diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* pada penampang melintang spesimen dengan perbesaran 500x. Penambahan tepung kanji pada larutan elektrolit berpengaruh terhadap morfologi dan ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan gambar penampang melintang spesimen yang di PEO tanpa menggunakan tepung kanji (Gambar 4.8 A) dan dengan menggunakan tepung kanji (Gambar 4.8 B).



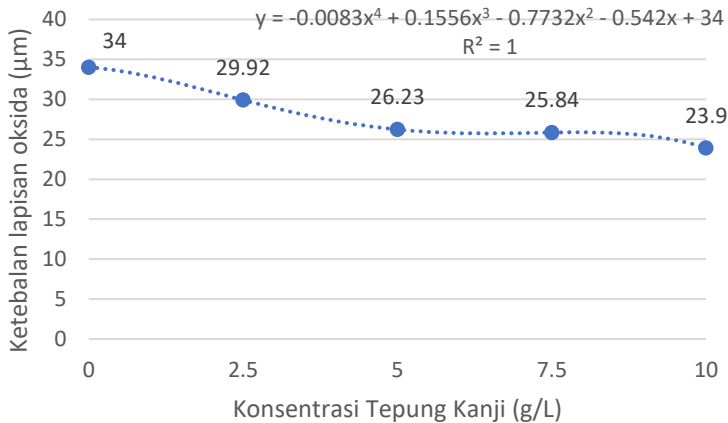
Gambar 4.8 Penampang melintang spesimen PEO A) tanpa tepung kanji; B) dengan tepung kanji (500x perbesaran).

Perbandingan lapisan *coating* pada spesimen yang di PEO dengan dan tanpa menggunakan tepung kanji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa lapisan *coating* yang terbentuk pada spesimen PEO dengan tepung kanji lebih padat dan seragam di permukaan spesimen. Hal ini disebabkan karena penambahan tepung kanji meningkatkan viskositas dari larutan elektrolit yang digunakan, sehingga dapat mengurangi turbulensi pada proses PEO yang disebabkan oleh adanya *plasma discharge*. Oleh karena itu, ion oksigen dari larutan elektrolit dapat lebih mudah menuju permukaan spesimen dan membentuk lapisan oksida yang padat dan seragam (Khorasanian, 2011).

Penambahan konsentrasi tepung kanji dari 0-10 g/L pada larutan elektrolit juga berpengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada pengamatan penampang melintang (Gambar 4.9) dan ketebalan lapisan oksida (Gambar 4.10) dari spesimen yang di PEO dengan variasi penambahan konsentrasi tepung kanji.



Gambar 4.9 Penampang melintang spesimen PEO dengan variasi tepung kanji A) 0 g/L; B) 2.5 g/L; C) 5 g/L; D) 7.5 g/L; E) 10 g/L (500x perbesaran).



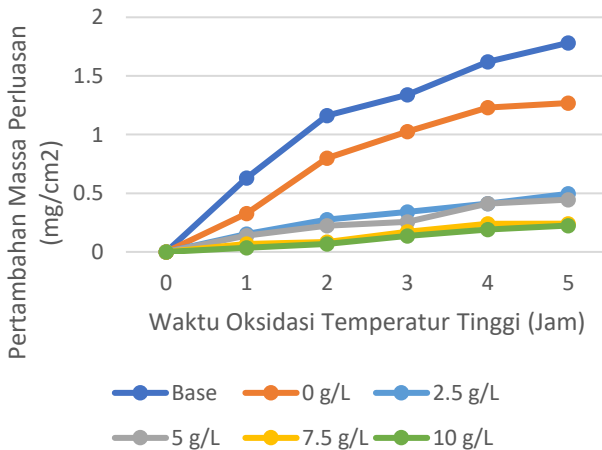
Gambar 4.10 Grafik pengaruh penambahan konsentrasi tepung kanji terhadap ketebalan lapisan oksida PEO Ti-6Al-4V.

Dari Gambar 4.9 dan 4.10 dapat disimpulkan bahwa penambahan tepung kanji mengakibatkan penurunan ketebalan dari lapisan oksida yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena arus yang digunakan pada spesimen PEO tanpa tepung kanji lebih besar daripada spesimen PEO dengan tepung kanji seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Penjelasan dari fenomena ini arus yang sangat besar menyebabkan banyak sekali titik *discharge channel* yang merupakan titik munculnya percikan plasma pada permukaan lapisan saat proses PEO sehingga pertumbuhan lapisan oksida berlangsung cepat. Pertumbuhan dari lapisan ini akan terus terjadi sampai titik maksimum yang bisa dicapai dengan kondisi elektrolit dan potensial yang konstan (Jiang dkk, 2005).

Dari semua sampel didapat ketebalan lapisan oksida berkisar antara 23.9-34 μm. Range ini masih dalam standar ketebalan lapisan *coating* menurut United States Patent No: 9,587,645 B2 berkisar antara 12,7 – 3175 μm. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses PEO ini dapat diaplikasikan sebagai lapisan *coating fan blade* pesawat.

4.6 Analisis Ketahanan Oksidasi Temperatur Tinggi

Pengujian ketahanan oksidasi temperatur tinggi dilakukan menggunakan *furnace* pada temperatur 700°C dengan waktu holding selama 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pertambahan massa spesimen setelah di panaskan selama waktu tertentu yang menandai terbentuknya lapisan terak oksida pada permukaan spesimen. Semakin lama waktu holding maka akan semakin banyak oksigen yang berikatan dengan logam membentuk lapisan terak oksida sehingga makin banyak pertambahan massa dari logam. Semakin sedikit pertambahan massa sampel yang didapatkan setelah dioksidasi di temperatur tinggi maka sampel tersebut mempunyai ketahanan oksidasi temperatur tinggi yang baik. Hasil oksidasi temperatur tinggi dari sampel *base* material Ti-6Al-4V dan sampel yang diPEO dengan variasi konsentrasi tepung kanji ditampilkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik pengaruh konsentrasi tepung kanji terhadap ketahanan oksidasi temperatur tinggi.

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa penambahan tepung kanji meningkatkan ketahanan material *base* Ti-6Al-4V terhadap

oksidasi di temperatur tinggi. Hal ini ditandai dengan penurunan grafik penambahan massa spesimen. Material *base* Ti-6Al-4V mempunyai penambahan massa perluasan yang paling besar yaitu 1.78 mg/cm^2 karena material ini tidak terlapsi sehingga dapat langsung berkontak dengan lingkungan membentuk lapisan terak oksida.

Pada spesimen PEO tanpa tepung kanji pertambahan massa perluasan masih cukup tinggi sebesar 1.27 mg/cm^2 karena spesimen ini mempunyai lapisan oksida yang tidak merata dan mempunyai mikropori sebesar $72.59 \mu\text{m}$. Selain itu, persentase mikropori spesimen ini juga besar yaitu 15.927% . Menurut Song dkk, (2017), mikropori merupakan bagian logam yang tidak terlapsi lapisan *coating* sehingga pada temperatur tinggi molekul oksigen yang berukuran diameter $2.92 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ dapat masuk menyisip ke dalam mikropori dan bereaksi dengan logam membentuk lapisan terak oksida.

Penambahan konsentrasi tepung kanji meningkatkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi yang ditandai dengan menurunnya pertambahan massa perluasan sebesar 0.49 mg/cm^2 , 0.44 mg/cm^2 , 0.24 mg/cm^2 , dan 0.22 mg/cm^2 secara berurutan. Hal ini dapat dijelaskan dari Gambar 4.6 yang memperlihatkan pengaruh penambahan tepung kanji pada proses PEO menurunkan persentase area dari mikropori lapisan oksida. Dengan menurunnya persentase mikropori maka semakin sedikit jalan untuk oksigen dapat menyisip masuk ke dalam lapisan. Hal ini lah yang menyebabkan penambahan tepung kanji pada proses PEO dapat meningkatkan ketahanan oksidasi temperatur tinggi material Ti-6Al-4V.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yao dkk (2011), melakukan uji oksidasi paduan Ti-6Al-4V yang sudah di PEO pada temperatur 800°C dengan waktu oksidasi 5 jam diperoleh penambahan massa perluasan sampel sebesar 5 mg/cm^2 . Selain itu penelitian lain yang dilakukan oleh Zhang 2012 melakukan uji oksidasi pada temperatur 700°C selama 5 jam dari paduan Ti-6Al-

4V yang sudah di beri perlakuan *hot dip aluminizing* diperoleh penambahan massa perluasan sebesar 0.5 mg/cm^2 .

Dari perbandingan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses PEO yang dilakukan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai kandidat lapisan *coating* pada *fan blade* mesin pesawat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Proses PEO material Ti-6Al-4V menghasilkan lapisan oksida yang terdiri dari fasa rutile, anatase, brookite dan SiO₂. Dengan adanya penambahan tepung kanji menyebabkan hilangnya fasa brookite dan meningkatkan persentase fasa rutile dalam lapisan. Persentase fasa rutile tertinggi didapat pada sampel yang di PEO dengan 10 g/L tepung kanji yaitu sebesar 49.67%.
2. Pada morfologi lapisan oksida, penambahan konsentrasi tepung kanji menurunkan persentase dan ukuran mikropori yaitu paling optimal pada sampel 10 g/L tepung kanji sebesar 2.88% dan 4.77 μm . Selain itu, dengan penambahan tepung kanji lapisan oksida yang terbentuk menjadi lebih tipis tapi padat dan seragam di permukaan. Ketebalan lapisan oksida tertinggi didapat pada sampel yang di PEO tanpa 0 g/L tepung kanji yaitu sebesar 34 μm .
3. Berdasarkan hasil uji oksidasi temperatur tinggi material Ti-6Al-4V yang di PEO, penambahan konsentrasi tepung kanji berpengaruh terhadap meningkatnya ketahanan oksidasi pada temperatur 700^oC dari material Ti-6Al-4V. Ketahanan oksidasi paling baik didapat pada sampel yang di PEO dengan 10 g/L tepung kanji dengan penambahan massa sebesar 0.22 mg/cm².

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan analisis yang didapatkan, maka saran-saran yang dapat diberikan, antara lain:

1. *Power Supply* yang digunakan pada proses PEO sebaiknya mempunyai kemampuan arus yang lebih tinggi sehingga dapat menggunakan larutan elektrolit yang membutuhkan arus dan tegangan yang lebih tinggi.

2. Dapat digunakan metode PEO menggunakan variabel *current density* agar mengetahui pengaruh larutan elektrolit terhadap voltase dimana mulai terbentuknya plasma.
3. Kondisi oksigen saat pengambilan sampel dari *furnace* pada pengujian oksidasi temperatur tinggi perlu dikontrol karena sangat berpengaruh terhadap hasil yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM B265. 2009. "Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet, and Plate". West Conshohocken: ASTM International.
- Altama, Alfreda, Kresna., dan Purniawan, Agung. 2017. "Morphology and Hardness Analysis of Al₂O₃ Coating on Aluminum 2024 by Plasma Electrolytic Oxidation Method". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Amoo, Leye. 2013. "On the Design and Structural Analysis of Jet Engine Fan Blade Structures". **Progress in Aerospace Sciences**. USA: United Technologies Corporation (UTC). 2.
- ATSB.2001. "Examination of a Failed Fan Blade Rolls-Royce RB211 Trent 892 Turbo Fan Engine Boeing 777, A6-EMM" Australia: Australia Transport Safety Bureau.
- Brice, D, A., Samini, P., Ghamarian, I., Liu, Y., Brice, R, M., Reidy, R, F., Cotton, J, D., Kaufman, M, J., dan Collins, P, J. 2016. "Oxidation Behavior and Microstructural Decomposition of Ti-6Al-4V and Ti-6Al-4V-1B Sheet". **Corrosion Science**. USA: Elsevier. 338–346
- Cassanova, Cano, L., Perez, Amoros, A., Ouzzinne, M., Rodenas, M A Lillo., dan Martinez, M C Roman., 2017. "One Step Hydrothermal Synthesis of TiO₂ with Variable HCl Concentration: Detailed Characterization and Photocatalytic Activity in Propene Oxidation". Spain: University of Alicante.
- Chen, Jing., Xu, Jinyong., Zhao, Jiachen., Gao, Cheng., dan Wang, Gui. 2012. "Influence of KF Concentration on Thickness and Energy Consumption of Micro-Arc Oxidation Coatings on LY12 Aluminum Alloy Substrate". **Advanced Material Research**. Vol 430-432. Switzerland: Trans Tech Publication

-
- Dai, Jingjie., Zhu, Jiyun., Chen, Chuanzong., dan Weng, Fei. 2016. "High Temperature Oxidation Behavior and Research Status of Modifications on Improving High Temperature Oxidation Resistance of Titanium Alloys and Titanium Aluminides". China: Qingdao Binhai University. 2-3.
- Fang, Yinyu., Tu, Xiaohua., Miao, Chengping., Xu, Yaling., Xie, Wei., Chen, Fangda., Zhang, Yang., dan Li, Jiayou. 2017. "Effect of Starch Addition in Alkaline Electrolyte on the Characteristics of Plasma Electrolytic Oxidation Coating on AZ31B Mg Alloy". China: Jiaying University. 11475-11476.
- Fischer, Kristina., Gawel, Alina., Rosen, David., Krause, Maria., Latif, Amira Abdul., Griebel, Jan., Prager, Andrea., dan Schulze, Agnes. 2017. "Low-Temperature Synthesis of Anatase/Rutile/Brookite TiO₂ Nanoparticles on a Polymer Membrane for Photocatalysis". Germany: Leibniz-Institute of Surface Modification, Permoserstr.
- Han, Jun-Xiang., Cheng, Yu-Lin., Tu, Wen-bin., Zhan, Thing-Yan., dan Cheng, Ying-Liang. 2017. "The Black and White Coatings on Ti-6Al-4V Alloy or Pure Titanium by Plasma Electrolytic Oxidation in Concentrated Silicate Electrolyte". **Applied Surface Science**. 684-697. China: Human University.
- Inagaki, Ikuhiro., dan Shirai, Yoshihisa. 2014. "Application and Features of Titanium for the Aerospace Industry". **Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report**. 23.
- Imanningsih, Nelis. 2012. "Profil Gelatinisasi Beberapa Formulasi Tepung-tepungan untuk Pendugaan Sifat Pemasakan". Jakarta: Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan, Badan Litbangkes, Kemenkes R.I.
- Jiang, Zhaohua., Sun, Xuotong., Li, Yanping., Wang, Fuping., dan Lu, Yandong. 2004. "Effect of the Oxidation Time on Properties of Ceramic Coatings Produced on Ti-6Al-4V by Micro-Arc Oxidation". **Journal Material Science Technology**. Volume 21. 281.
-

-
- Kaseem, Mosab., dan Ko, Young-Gun. 2019 "Effect of Starch on the Corrosion Behaviour of Al-Mg-Si Alloy Processed by Micro Arc Oxidation from an Ecofriendly Electrolyte System". Republic of Korea: Sejong University
- Khanna, Anand. 2018. **Handbook of Environmental Degradation of Materials: Chapter 6 High-Temperature Oxidation**. India: Indian Institute of Technology. 117.
- Khorasanian, M., Dehghan, A., Shariat, M, H., Bahrololoom, M, E., dan Javadpour, S. 2011. "Microstructure and Wear Resistance of Oxide Coatings on Ti-6Al-4V Produced by Plasma Electrolytic Oxidation in An Inexpensive Electrolyte". Iran: Elsevier. 1499.
- Krzakała, Agnieszka., Kazek-Kesik, Alicja., dan Simka Wojciech. 2013. "Application of Plasma Electrolytic Oxidation to Bioactive Surface Formation on Titanium and Its Alloys". Poland: Silesian University of Technology. 45.
- Li, Qingbiao., Liang, Jun., dan Wang, Qing. 2013. **Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Lightweight Metals**. licensee InTech. 76-77.
- Lugovskoy, Alex., dan Zinigrad, Michael. 2013. **Plasma Electrolytic Oxidation of Valve Metals**. licensee InTech. 85-86.
- Mansor, M, R., Nufaizey, A, H., Tamaldin, N., dan Nordin, M, N, A. 2019. **Natural Fiber Polymer Composites: Utilization in Aerospace Engineering**. Melaka: Woodhead Publishing. 208.
- Motwani, Tanuj., Seetharaman, Koushik., dan Anantheswaran, Ramaswamy, C. 2006. "Dielectric Properties of Starch Slurries as Influenced by Starch Concentration and Gelatinization". USA: The Pennsylvania State University. 76.
- Oi, Lee, Eng., Choo, Min-Yee., Lee, Hwei, Voon., Ong, Hwai, Chyuan., Hamid, Sharifah, Bee, Abd., dan Juan, Joon, Ching., 2016. "Recent Advances of Titanium Dioxide
-


- (TiO₂) for Green Organic Synthesis”. **The Royal Society of Chemistry**. 108742.
- Prabhu, Srikanth., Vimallesh, M., Sushinder, K., Shivaram, P, R., Nivedh, Kannaa, S, B., Nisarg, Gupta., dan Sekar, Vijay. 2015. “Comparative Study on the Machining of Ti-6al-4v Titanium Alloy and Inconel 718 Super Alloy”. India: SSN College of Engineering. 3.
- Reda, Reham. 2015. “Effect of Welding Processes and Postweld Heat Treatment on the Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Castings”. **International Journal of Materials Engineering and Technology**. India: Pushpa Publishing House.
- Rachtanapun, P., P, Simasatitkul., W, Chaiwan dan Y, Watthanaworasakun. 2012. "Effect of Sodium Hydroxide Concentration on Properties of Carboxymethyl Rice Starch". **International Food Research Journal** **19** (3). 923-931
- Raj, Srijith. 2017. “Advanced Material for Front Fan Blade Manufacturing”. **Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)**. Vol-3, Issue-5. 80-81.
- Renganathan, Gunarajulu., Tanneru, Narasimhaswamy., dan Maduari, Suguna, Lakshmi. 2018. “Orthopedical and Biomedical Applications of Titanium and Zirconium Metals”. India: Anna University. 214.
- Song, B., Bai, M., Voisey, K T., dan Hussain, T. 2017. "Role of Oxides and Porosity on High-Temperature Oxidation of Liquid-Fueled HVOF Thermal-Sprayed Ni50Cr Coatings". **Journal Thermal Spray Technology**. 554-568.
- Stojadinovic, Stevan. 2012. **Plasma electrolytic oxidation of metals**. Serbia: University of Belgrade. 713-714.
- Tako, Masakuni., Tamaki, Yukihiro., Teruya, Takeshi., dan Takeda, Yasuhito. 2012. “The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation”. Japan: Kagoshima University

-
- Uhi, Harry, 2006. "Pemanfaatan Gelatin Tepung Sagu (*Metroxylon sago*) sebagai Bahan Pakan Ternak Ruminansia". **Jurnal Ilmu Ternak**. Vol 6 No 2. 108-111
- Yao, Zhongping. 2007. "Oxidation Behavior of Ceramic Coatings on Ti-6Al-4V by Micro-Plasma Oxidation." Harbin: Elsevier.
- Zhang, Z.G, Peng Y.P, Mao, Y.L, Pang, C.J, Lu, L.Y. "Effect of Hot-Dip Aluminizing on the Oxidation Resistance of Ti-6Al-4V Alloy at High Temperature". **Corrosion Science**. 55: 187-193

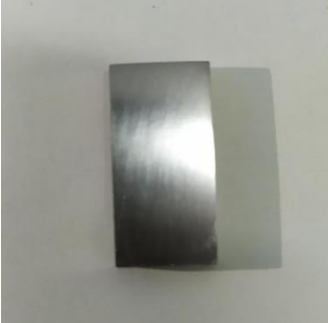


(Halaman ini sengaja dikosongkan)




LAMPIRAN

a. Komposisi Material

		XIAN OCEAN TRADING CO., LTD			
<small>Xian Ocean Trading</small>		Material Certificate ACC. TO EN 10204 - 3.1			
Commodity & Specification					
Titanium Sheet as ASTM B265-15					
Grade	Size (mm)	Quantity (kg/Pcs)	Heat No.	Lot No.	
Gr5	3.0x200x400	1.1KGS/1PCS	T8105-09	P5190824-01	
Chemical Composition (wt%)					
Element	Requirement	Top			
Al	5.5-6.75	6.24			
V	3.5-4.5	4.02			
Fe	0.40	0.182			
C	0.08	0.0110			
N	0.05	0.024			
H	0.015	0.0011			
O	0.20	0.140			
Each	0.10	0.10			
Total	0.40	0.40			
Ti	Balance	Balance			
Mechanical Property					
Items	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength(0.2% offset) (Mpa)	Elongation(4D) (%)	Reduction of area Z %	Bend Test 105 o/T
Standard	895	828	10.0	/	/
Results	935	897	15.0	/	/
Other Inspections					
Dimensional			ACCEPTABLE		
PMI Inspection			ACCEPTABLE		
NDT/NDE			ACCEPTABLE		
Surface			ACCEPTABLE		
Appearance quality			ACCEPTABLE		
We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order confirmation. Inspection and dimensional control without complaints.					
Manager of Quality Department			Date: Aug.23, 2019		

b. Pengamatan Visual Permukaan

Sampel	Gambar Visual
<i>Base Material Ti-6Al-4V</i>	
Spesimen PEO 0 g/L Tepung Kanji	
Spesimen PEO 2.5 g/L Tepung Kanji	

Sampel	Gambar Visual
Spesimen PEO 5 g/L Tepung Kanji	
Spesimen PEO 7.5 g/L Tepung Kanji	
Spesimen PEO 10 g/L Tepung Kanji	

c. Data JCPDS

1. Anatase (JCPDS 00-021-1272)

Date: 10/15/2021 Time: 2:38:51 PM User: Teknik Material

File: 00-009-0117

Job: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-021-1272
 Mineral name: Anatase_syn
 Compound name: Titanium Dioxide
 Empirical formula: TiO_2
 Chemical formula: TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
 Space group: $I4_1/amd$
 Space group number: 141
 a (Å): 3.7883
 b (Å): 3.7883
 c (Å): 9.5139
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Calculated density (g/cm³): 3.89
 Volume of cell (10³ Å³): 136.811
 Z: 4.00
 PIR: 1 30

Subfiles and quality

Subfile: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Fundamental pattern
 BulkPow
 Feroenc
 Inorganic
 Mineral
 NBS pattern
 Pharmaceutical

Quality: Refined type
 Star (S)

Comments

Color: Colorless
 Creation Date: 1/17/570
 Modifier Date: 1/11/031
 additional Patterns: See PDF (0-071-1165, validated by calculated pattern)
 Colorless
 General Comments: Pattern reviewed by Hozar, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grantham-oid (1990), across wall with experimental and calculated patterns.
 Polymorphism/Phase Transition: Anatase and another polymorph, brookite (orthorhombic), are converted to rutile (tetragonal) by heating above 700 C.
 Sample Source or Locality: Rutile obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA.
 Temperature of Data collection: Pattern taken at 298 K.
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. Ser. 7, 86, (1959)*

Peak list

h	k	l	d [Å]	2 Theta [deg]	I (%)
1	1	0	3.521000	25.495	100.0
2	1	0	2.421100	37.597	10.0
3	0	0	2.378000	37.701	50.0
4	1	0	2.332000	38.576	10.0
5	2	0	1.892000	49.150	35.0
6	1	0	1.699000	53.129	20.0
7	2	0	1.668500	55.162	20.0
8	2	0	1.491000	62.121	4.0
9	2	0	1.401000	65.690	14.0
10	1	0	1.364100	68.762	6.0
11	2	0	1.337800	70.311	6.0
12	1	0	1.279800	74.212	2.0
13	2	0	1.261000	75.132	10.0
14	3	0	1.250900	76.720	4.0
15	0	0	1.249400	80.127	2.0
16	3	0	1.172500	82.139	2.0
17	2	2	1.169400	82.662	6.0
18	3	0	1.160800	83.148	4.0
19	4	0	1.081000	89.221	2.0

2 of 4

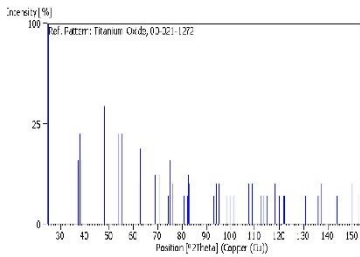
Date: 10/15/2017 Time: 2:39:51 PM User: Teknik Material

File: 00-008-C117

Job: Teknik Material

22	3	0	5	1.05170	84.102	4.0
21	1	2	1	1.04560	85.143	4.0
22	1	0	9	1.01920	98.319	2.0
23	2	0	9	1.00700	89.204	2.0
24	3	2	0	0.99570	101.222	2.0
25	1	-	5	0.99350	127.946	4.0
26	4	0	0	0.96340	108.463	4.0
27	3	0	7	0.92400	110.242	2.0
25	1	2	5	0.91800	113.562	2.0
29	4	-	1	0.91380	114.659	2.0
30	2	-	9	0.89560	118.459	4.0
31	2	0	9	0.88000	120.104	2.0
32	4	-	3	0.86190	121.725	2.0
33	4	0	4	0.84920	122.636	2.0
34	1	2	0	0.81540	131.236	2.0
35	1	0	7	0.81000	132.599	2.0
36	4	-	5	0.82380	137.392	4.0
37	3	0	9	0.81020	149.488	2.0
32	4	2	4	0.79740	120.229	4.0
38	0	0	12	0.79280	152.654	2.0

Stick Pattern



2. Brookite (JCPDS 00-029-1360)

Date: 10/15/2017 Time: 2:39:22 PM User: Teknik Material

File: 00-009-1317

Jenis: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-029-1360
 Mineral name: Brookite
 Compound name: Titanium Dioxide
 Empirical formula: Ti_2O_3
 Chemical formula: TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
 Space group: Pcab
 Space group number: 61
 a (Å): 5.4558
 b (Å): 5.1210
 c (Å): 5.5428
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Calculated density (g/cm³): 4.122
 Measured density (g/cm³): 4.124
 Volume of cell (10⁻⁶ cm³): 157.463
 Z: 6.00

REF:

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Equatorial pattern
 Single phase
 Ferrous
 Inorganic
 Mineral
 Rbbs pattern
 Parametrical
 Star (5)
 Quality: Star (5)

Comments

Origin:
 Creator: Data
 Modifier: Data
 Additional Pattern
 analysis:

Ref: 1/1/570
 To: reaction 00-010-7017 and validated by calculated pattern. See PDF 01-070-1924
 Spectrographic analysis: 0.3-1.5% Si; 0.01-0.1% Fe, Pb, and V; 0.001-0.01% Mg, Ni, Bi, Sn, brookite from Musambique (Chemical analysis (wt.%): Ti 82.7807, TiO₂ 85.141, FeO 5.53). Carvalho et al., Rev. Bras. Geol. Ser. A, 7 61 (1974) reports an identical pattern. Color: Black.
 Control Comments: Identities verified by calculated pattern. Sample Source or Locality: Specimen from Magnet Cove, Arkansas, USA (USNM 97653). Temperature of Data Collection: Pattern taken at 230 K. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

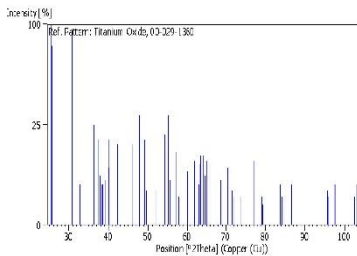
Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr.*, 25 (A), 57, (1954)
 Critical data: *Dunn's System of Mineralogy*, 7th ed., 1, 570, (1944)

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2 Theta (deg)	I (%)
1	1	2	0	2.51200	20.340	100.0
2	1	-1	1	2.46800	20.698	80.0
3	1	2	1	2.49000	20.208	90.0
4	2	0	0	2.76900	18.792	4.0
5	0	-1	2	2.47500	20.852	15.0
6	2	0	1	2.40900	21.297	18.0
7	1	3	1	2.37000	21.504	6.0
8	2	2	0	2.34800	20.372	4.0
9	2	-4	1	2.33200	20.476	4.0
10	0	4	0	2.29300	19.208	8.0
11	1	1	2	2.25800	19.567	10.0
12	0	2	2	2.24800	19.633	18.0
13	2	2	1	2.23000	19.340	18.0
14	0	3	2	2.19880	18.772	18.0
15	2	2	1	2.18360	18.912	20.0
16	1	3	2	2.16140	18.973	18.0
17	2	2	2	2.15220	18.898	3.0
18	2	4	0	2.12580	18.212	3.0
19	3	2	0	2.09000	18.205	20.0
20	2	4	1	2.06470	18.234	30.0
21	1	5	1	2.04880	18.211	8.0

23	1	1	3	1.60900	27.176	13.0
23	3	3	3	1.59488	27.168	2.0
24	1	2	3	1.54080	39.492	7.0
25	0	5	2	1.49420	62.265	10.0
26	1	6	0	1.47290	63.205	4.0
27	3	-	2	1.44560	63.646	9.0
28	2	5	1	1.46090	63.643	12.0
29	2	0	0	1.45150	64.104	12.0
30	1	3	3	1.44150	64.603	6.0
31	2	1	3	1.43360	65.203	10.0
32	1	6	1	1.41370	65.276	9.0
33	4	0	0	1.36100	69.768	5.0
34	3	3	2	1.35560	70.432	8.0
35	4	0	1	1.33860	71.990	3.0
36	4	3	3	1.31160	71.292	2.0
37	0	0	4	1.28320	73.646	2.0
38	0	2	4	1.23810	76.649	10.0
39	4	3	1	1.23070	79.225	2.0
40	1	2	4	1.20760	79.203	1.0
41	3	3	3	1.15320	83.643	4.0
42	0	8	0	1.14900	84.886	2.0
43	4	4	1	1.10320	84.724	2.0
44	0	4	4	1.12170	85.743	4.0
45	5	2	1	1.03890	85.590	3.0
46	5	2	3	1.02350	85.590	3.0
47	2	0	1	1.05260	86.590	2.0
48	3	2	4	1.02370	87.609	4.0
49	1	2	5	0.98720	122.539	2.0
50	3	7	2	0.98090	123.302	4.0
51	2	5	4	0.98290	123.201	4.0

Stick Pattern



3. Rutile (JCPDS 00-021-1276)

Date: 10/15/2015 Time: 2:39:02 PM User: Teknik Material

File: 00-008-017

User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-021-1276
 Mineral name: Rutile, syn
 Compound name: Titanium(IV) Oxide
 Common name: Rutile
 Empirical formula: O_2Ti
 Chemical formula: TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
 Space group: $P4_2/mnm$
 Space group number: 136
 a (Å): 4.5933
 b (Å): 4.5933
 c (Å): 3.2392
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Calculated density (g/cm³): 4.23
 Measured density (g/cm³): 4.23
 Volume of cell (Å³): 62.49
 Z: 2.00
 R_F: 0.40

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Educational pattern
 Element:
 Forensic
 Inorganic
 Mineral
 RFT pattern
 Pharmaceutical
 Pigment/dye
 Star (G)
 Quality:

Comments

Color: White
 Creation Date: 1/1/1920
 Modification Date: 1/11/2011
 Additional Patterns: Validated by calculated pattern
 Analysis: No impurity over 0.01%
 Color: White
 General Comments: Pattern reviewed by Synthesis, W. McCaffery, S., North Dakota State Univ., Fargo, North Dakota, USA, JCPDS Grant #841 (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns. Additional weak reflections (indicated by braces) were observed. Naturally occurring material may be reddish brown.
 Optical Data Spectrometry: Optical data on specimens from Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I, 700
 Polymorphism/Phase Transition: Two other polymorphs, anatase (tetragonal) and brookite (orthorhombic), converted to rutile on heating above 700 °C.
 Reflectance: Opaque mineral optical data on specimen from Sweden; $\text{R}(\lambda)=0.3$, $\lambda_{\text{ref}}=510$ nm. Sample source or locality: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 290 K. Vickers Hardness Number: $\text{VHN}(10)=1332-1387$. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

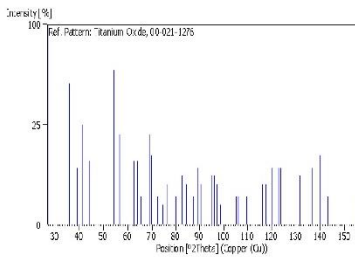
Primary reference: Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 7, 83, (1968)
 Optical data: Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., 1, 575

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta(deg)	I (%)
1	1	1	0	3.24720	27.447	100.0
2	1	0	1	2.43720	36.086	90.0
3	2	0	0	2.29720	39.100	0.0
4	1	1	1	2.19050	41.226	25.0
5	2	1	0	2.05430	44.052	10.0
6	2	1	1	1.95740	48.323	60.0
7	2	2	0	1.82370	56.542	20.0
8	0	0	2	1.47910	62.742	10.0
9	3	1	0	1.45320	64.045	10.0
10	2	2	1	1.42430	65.480	2.0
11	3	0	1	1.39900	68.000	20.0
12	1	1	2	1.34650	69.790	10.0
13	3	1	1	1.30410	72.410	2.0

14	3	2	0	1.27350	74.113	1.0
15	2	0	2	1.24410	76.503	4.0
16	2	1	2	1.20060	79.822	2.0
17	3	2	1	1.17020	82.235	6.0
17	4	0	0	1.14020	84.263	4.0
18	4	1	0	1.11430	87.464	2.0
23	2	2	2	1.03960	89.557	8.0
24	3	3	0	1.03270	90.703	4.0
25	4	1	1	1.04260	88.275	6.0
25	3	1	2	1.03840	96.027	6.0
24	4	2	0	1.02710	97.177	4.0
25	3	3	1	1.01670	98.523	1.0
26	4	2	1	1.07030	105.099	2.0
27	1	0	3	1.05440	106.052	2.0
28	1	1	3	1.01930	109.406	2.0
23	4	0	2	1.07020	116.227	4.0
30	5	1	0	1.00080	117.527	4.0
31	2	1	3	1.08920	110.053	8.0
32	4	3	1	1.07740	122.788	8.0
33	3	3	2	1.07330	123.663	8.0
34	4	2	2	1.04370	131.847	6.0
35	3	0	3	1.03230	136.545	8.0
36	5	2	1	1.01960	140.052	12.0
37	4	4	0	1.01220	143.116	2.0
38	5	3	0	1.02770	136.4870	2.0

Stick Pattern



4. Silicon Oxide (JCPDS 00-029-0085)

Date: 10/15/2019 Time: 2:30:12 PM User: Teknik Material File: 00-009-01:7 User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-029-0085
Compound name: Silicon Oxide
Empirical formula: Si_2O_3
Chemical formula: SiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown

RR: -

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Especimen: Inorganic
Quality: Pharmaceutical
Low precision (Q)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/1/2011
General Comments: *SiO₂* (L=O)*Al₂O₃*. Compositions given in weight percent of oxides. Coprecipitated mixtures, fired to 900 C. Non-crystalline phase
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

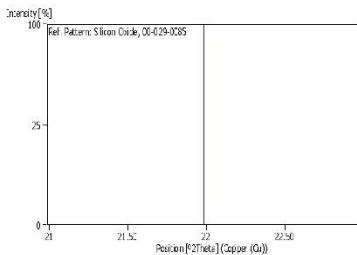
References

Primary reference: Brindley, G., Penn State Univ., University Park, PA, USA., *JCSO Grant-6-148*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2 Theta [deg]	I (%)
1				4.04000	21.984	100.0

Stick Pattern



5. Titanium (JCPDS 00-044-1294)

Date: 10/17/2019 Time: 2:30:45 PM User: Teknik Material

File: 00-005-0117

User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-044-1294
Compound name: Titanium
Empirical formula: Ti
Chemical formula: Ti

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
Space group: P63/mmc
Space group number: 194
a (Å): 2.9505
b (Å): 2.9505
c (Å): 4.6826
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000
Calculated density (g/cm³): 4.50
Volume of cell (Å³): 38.30
Z: 2.00
HkL: 0, 0, 0

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
Exclusive
Forensic
Inorganic
Star (S)
Quality:

Comments

Color: Grey
Creation Date: 7/26/1991
Modification Date: 1/11/2011
Additional Patterns: Validated by calculated pattern. To replace 00-005-0582
Code: G91
General Comments: Average relative standard deviation in intensity of the two strongest reflections for three specimens is 0.7%. Component of pyrochlore TiO₂ powder.
Sample Source or Location: Sample was obtained from A.J. Mackay Inc.
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

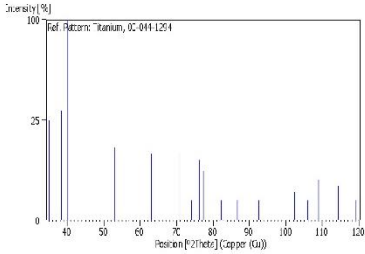
References

Primary reference: Sailer, R., McCarthy, G., North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA., *JCPD Grant #91-14*, (1993)

Peak list

h	k	l	d (Å)	2 θ (deg)	I (%)
1	1	0	2.85510	35.094	25.0
2	0	2	2.24220	39.422	30.0
3	1	0	2.24300	40.171	100.0
4	1	0	1.72620	53.009	13.0
5	1	1	1.72550	52.953	11.0
6	1	0	1.23220	70.165	11.0
7	2	0	1.27760	74.160	1.0
8	1	1	1.24810	76.221	9.0
9	2	0	1.23240	77.375	6.0
10	0	4	1.17070	82.292	1.0
11	2	0	1.32150	86.762	1.0
12	1	0	1.04650	92.722	1.0
13	2	0	1.06860	102.372	2.0
14	2	1	0.95520	105.799	1.0
15	2	1	0.94560	109.048	4.0
16	1	1	0.91700	114.388	3.0
17	2	1	0.88280	119.243	1.0

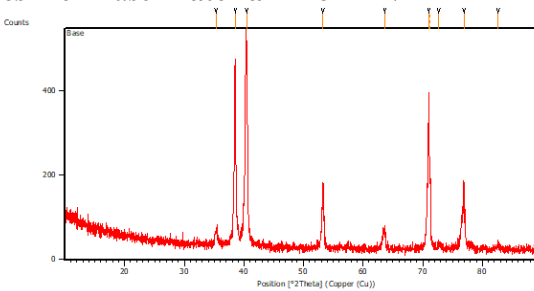
Stick Pattern



3 of 3

d. Hasil Pengujian XRD

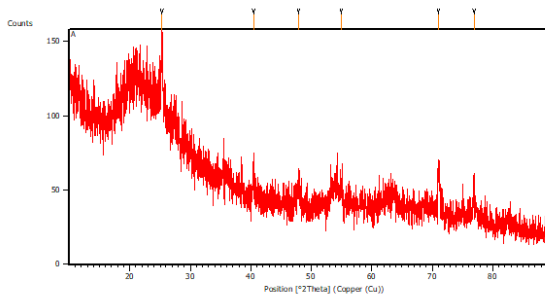
1. Spesimen *Base* Material Ti-6Al-4V



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.3238	31.51	0.4015	2.54100	6.80
38.5467	386.98	0.1338	2.33564	83.52
40.4286	463.33	0.3346	2.23115	100.00
53.3171	151.09	0.0612	1.71684	32.61
63.6681	41.62	0.5353	1.46160	8.98
71.0400	366.10	0.0816	1.32585	79.01
71.2421	168.31	0.0816	1.32587	36.32
72.7295	7.15	0.6528	1.29915	1.54
76.9066	146.80	0.1632	1.23867	31.68
82.6574	15.28	0.4896	1.16645	3.30

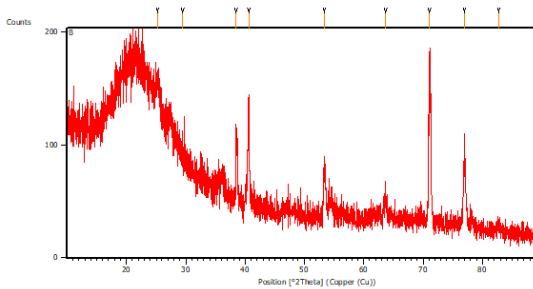
2. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Kanji



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.3167	46.56	0.2007	3.51806	100.00
40.4194	22.67	0.2676	2.23164	48.70
47.9715	19.16	0.4015	1.89648	41.16
55.0228	7.98	0.4684	1.66897	17.13
71.0214	27.78	0.3346	1.32724	59.68
76.9275	15.39	0.4015	1.23941	33.05

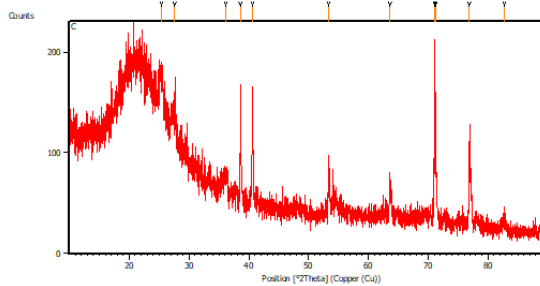
3. Spesimen PEO dengan 2.5 g/L Tepung Kanji



Peak List: (Bookmark 3)

Pos [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.2310	19.73	0.6691	3.52981	14.51
29.4578	17.37	0.1004	3.05225	12.78
38.3183	50.42	0.2342	2.33729	37.09
40.5805	93.88	0.3011	2.22316	69.05
53.3866	39.91	0.2676	1.71619	29.36
63.7092	24.36	0.2007	1.46076	17.92
71.0937	135.94	0.1673	1.32607	100.00
76.9433	62.75	0.1673	1.23919	46.16
82.7318	6.29	0.8029	1.16656	4.63

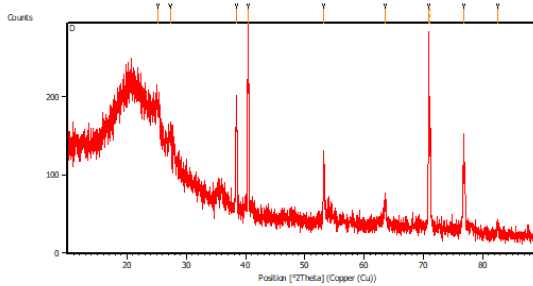
4. Spesimen PEO dengan 5 g/L Tepung Kanji



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.3806	27.74	0.8029	3.50935	16.69
27.6135	24.71	0.8029	3.23044	14.87
36.1191	14.00	0.4015	2.48685	8.42
38.5877	73.96	0.0669	2.33325	44.50
40.5713	103.67	0.1673	2.22364	62.37
53.3932	41.50	0.1673	1.71599	24.97
63.6329	36.31	0.1338	1.46232	21.84
71.0799	166.21	0.0816	1.32520	100.00
71.3014	113.82	0.1004	1.32272	68.48
76.9280	77.96	0.1224	1.23838	46.90
82.7055	8.93	0.8029	1.16686	5.37

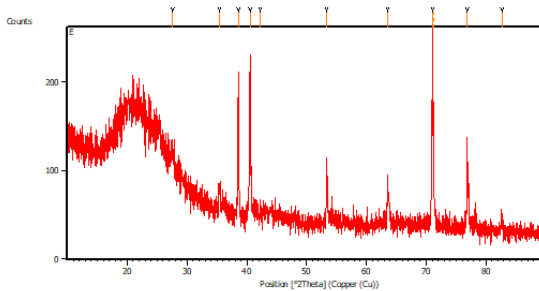
5. Spesimen PEO dengan 7.5 g/L Tepung Kanji



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.1585	30.31	0.5353	3.53982	12.48
27.2809	19.94	0.6691	3.26906	8.21
38.4446	126.28	0.1171	2.34161	52.01
40.3893	242.82	0.0669	2.23324	100.00
53.2289	87.11	0.0669	1.72090	35.87
63.5876	29.54	0.2007	1.46326	12.16
70.9260	211.93	0.1224	1.32770	87.28
71.1657	140.08	0.1224	1.32710	57.69
76.8005	118.68	0.1632	1.24011	48.88
82.6204	9.50	0.4896	1.16688	3.91

6. Spesimen PEO dengan 10 g/L Tepung Kanji

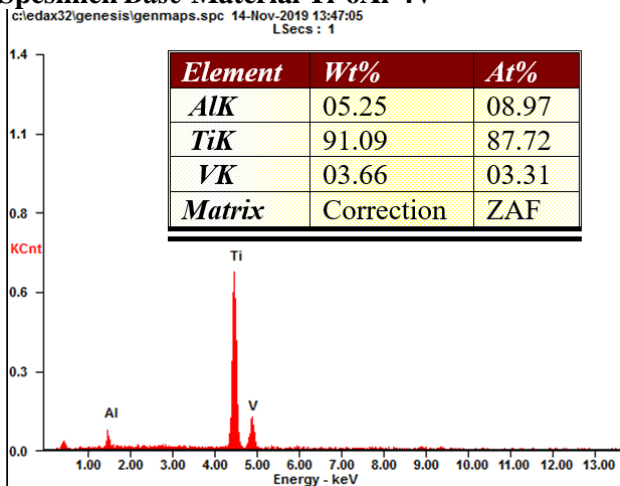


Peak List: (Bookmark 3)

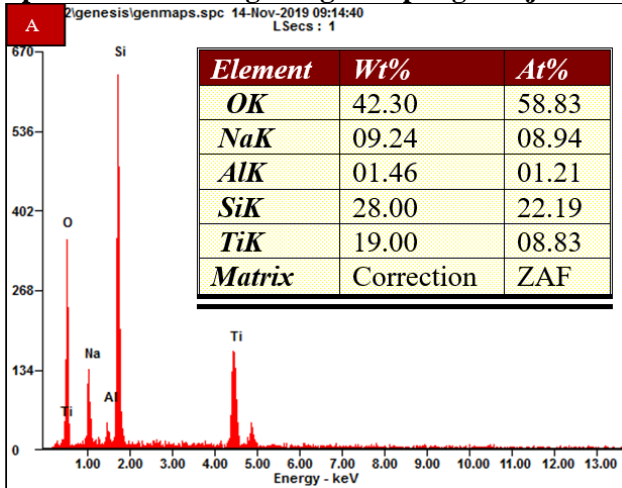
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.5884	14.20	0.5353	3.23332	6.41
35.4118	25.20	0.2007	2.53488	11.38
38.5340	137.21	0.1004	2.33638	61.94
40.4855	169.77	0.1004	2.22815	76.64
42.2107	10.25	0.2342	2.14099	4.63
53.3493	67.25	0.1338	1.71730	30.36
63.6078	47.59	0.1004	1.46284	21.48
71.0600	221.51	0.1632	1.32552	100.00
71.2834	120.92	0.1020	1.32520	54.59
76.9082	98.84	0.0612	1.23865	44.62
82.6720	12.86	0.3264	1.16628	5.80

e. Hasil Pengujian EDX

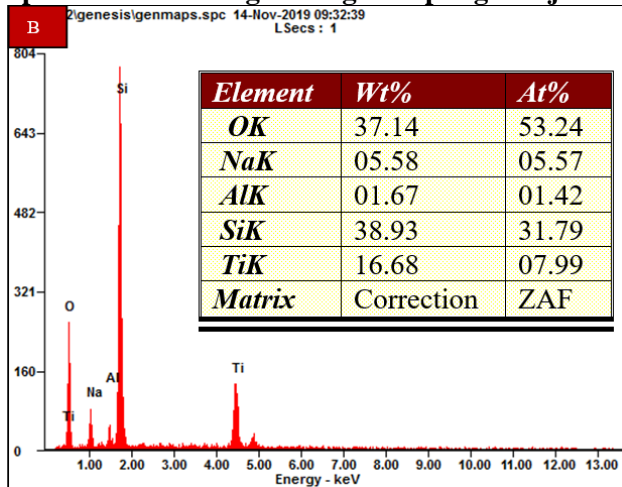
1. Spesimen Base Material Ti-6Al-4V



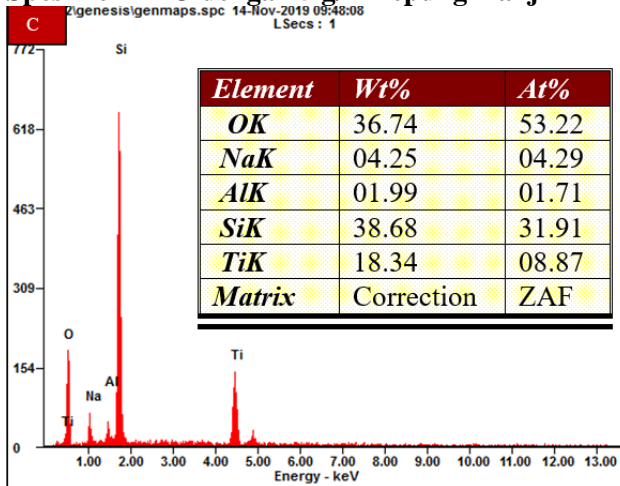
2. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Kanji



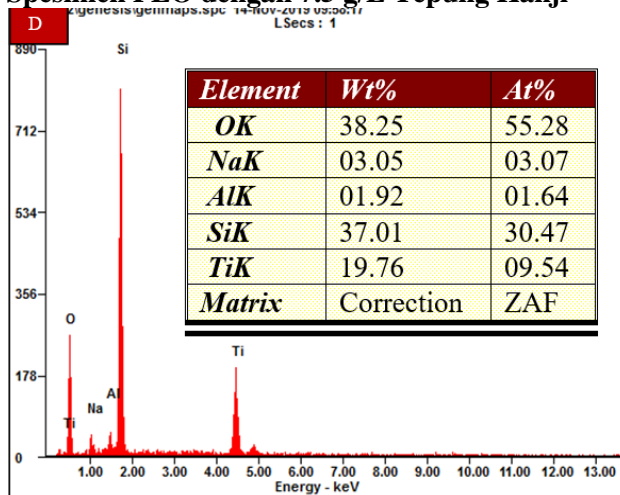
3. Spesimen PEO dengan 2.5 g/L Tepung Kanji



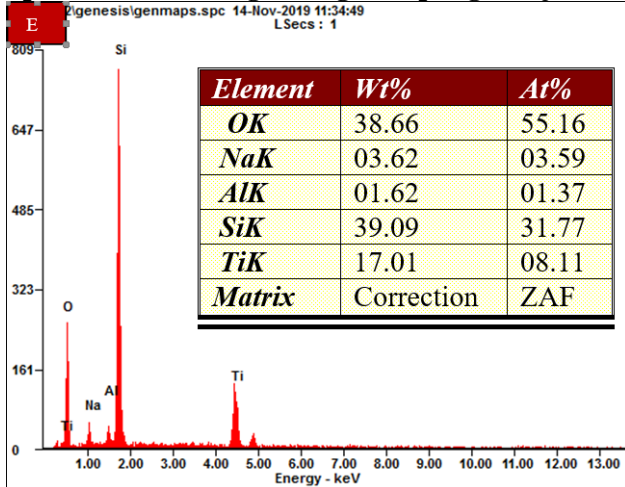
4. Spesimen PEO dengan 5 g/L Tepung Kanji



5. Spesimen PEO dengan 7.5 g/L Tepung Kanji

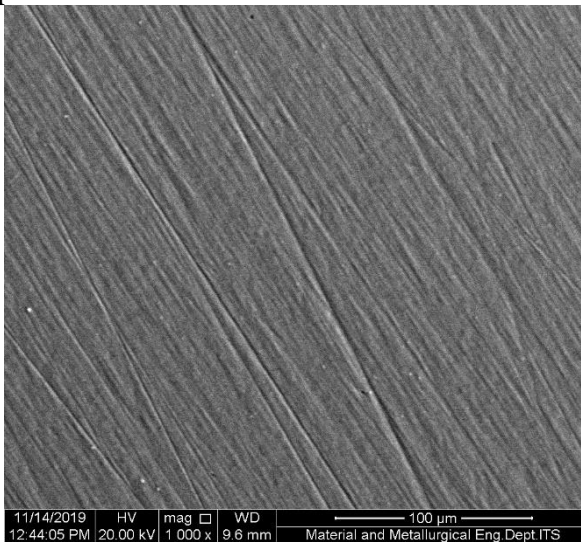


6. Spesimen PEO dengan 10 g/L Tepung Kanji

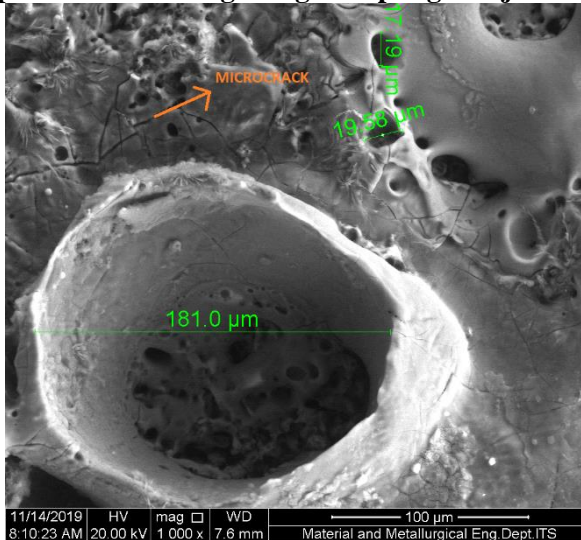


f. Morfologi dan Ukuran Mikropori Permukaan

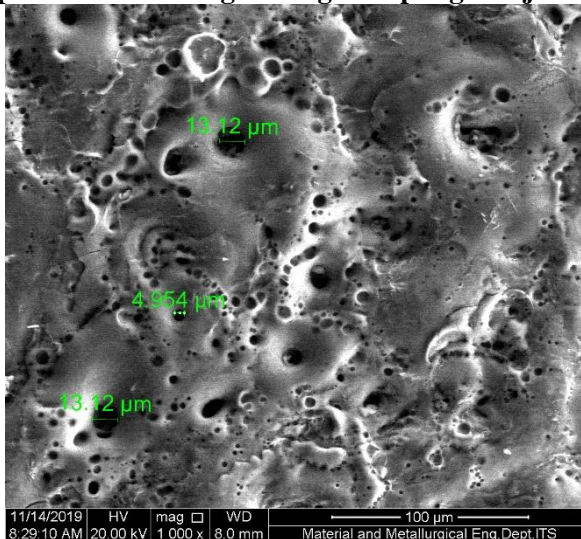
1. Spesimen *Base* Material Ti-6Al-4V



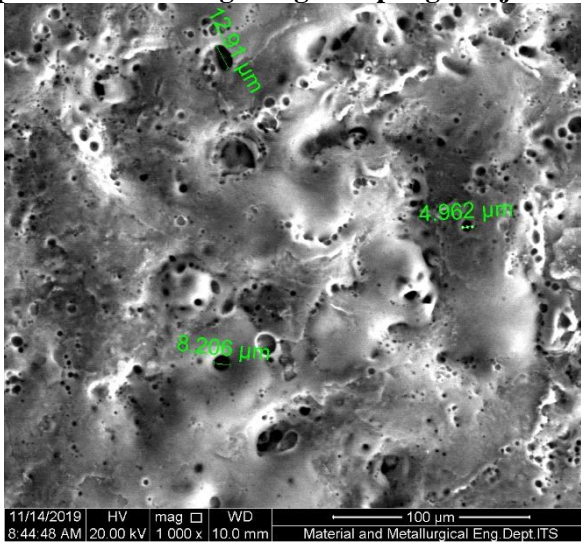
2. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Kanji



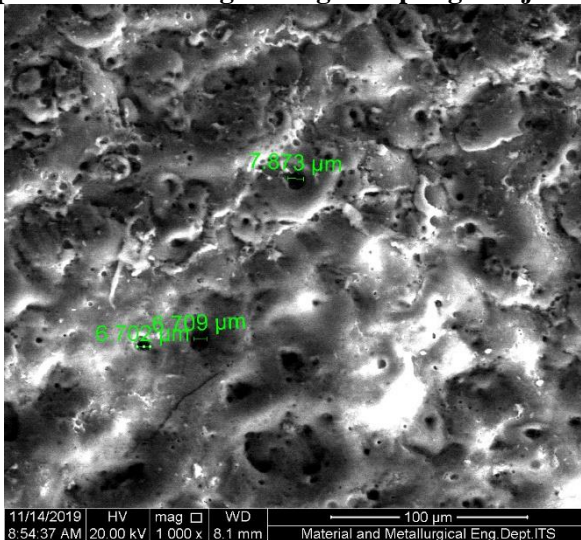
3. Spesimen PEO dengan 2.5 g/L Tepung Kanji



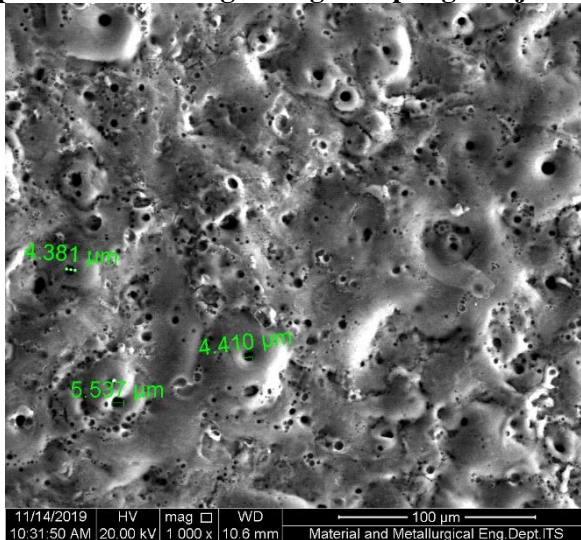
4. Spesimen PEO dengan 5 g/L Tepung Kanji



5. Spesimen PEO dengan 7.5 g/L Tepung Kanji



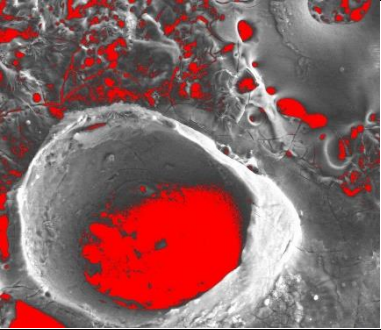
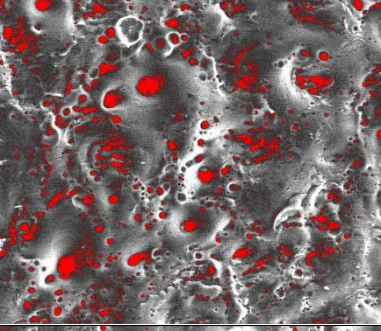
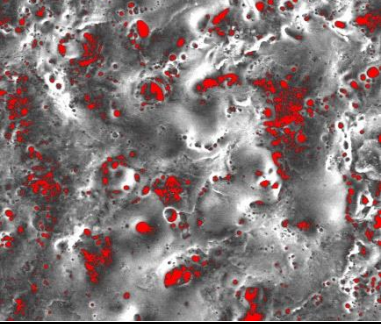
6. Spesimen PEO dengan 10 g/L Tepung Kanji

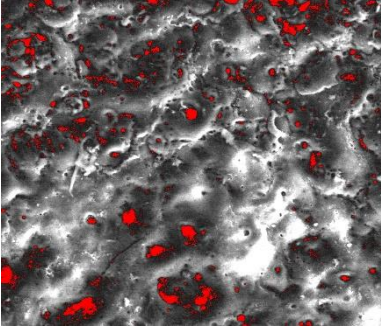
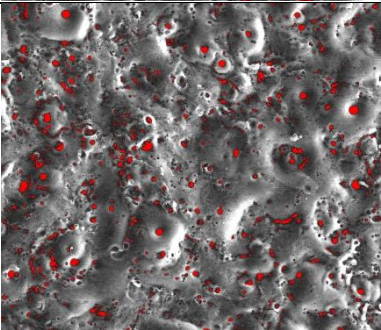


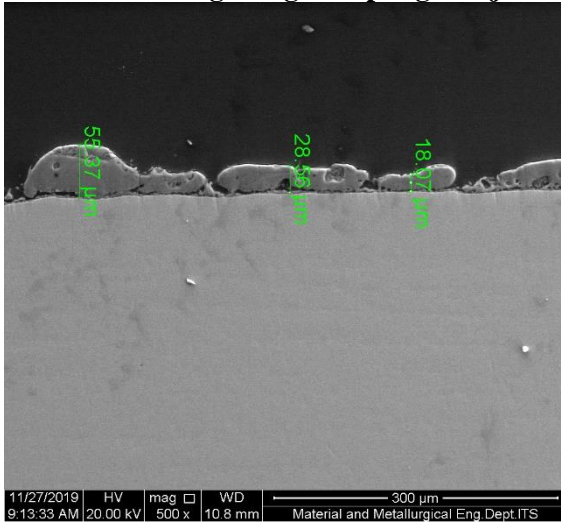
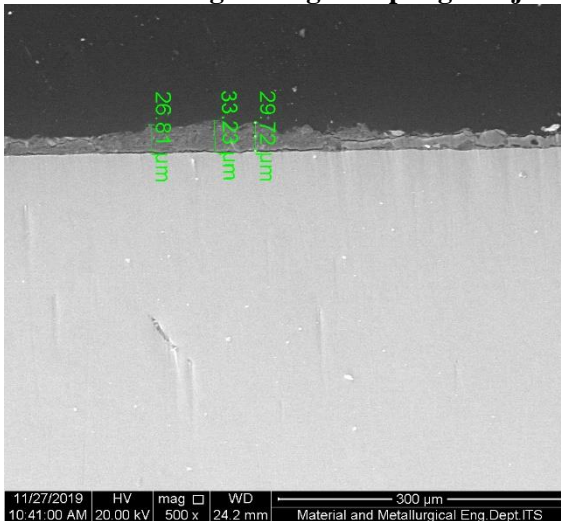
7. Diameter Mikropori Rata-Rata

Konsentrasi Tepung Kanji (g/L)	Diameter Mikropori (μm)			
	D1	D2	D3	Rata-rata
0	181	19.58	17.19	72.59
2.5	13.12	13.12	4.954	10.40
5	12.91	4.962	8.206	8.69
7.5	6.702	7.873	6.709	7.09
10	4.381	5.537	4.410	4.78

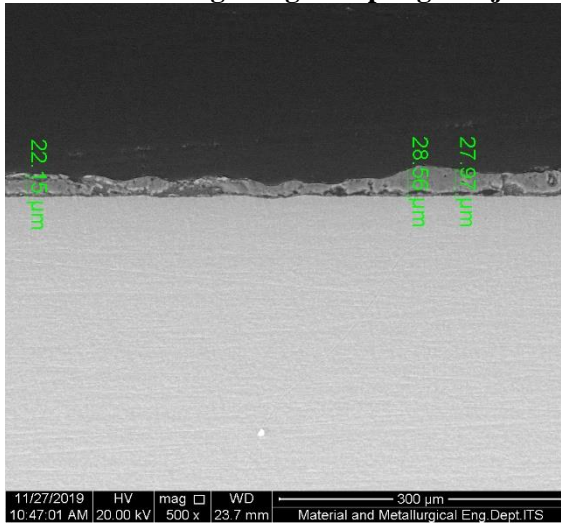
g. Persen Porositas

Konsentrasi Tepung Kanji (g/L)	Persen porositas (%)	Visual ImageJ
0	15.927	
2.5	6.621	
5	5.28	

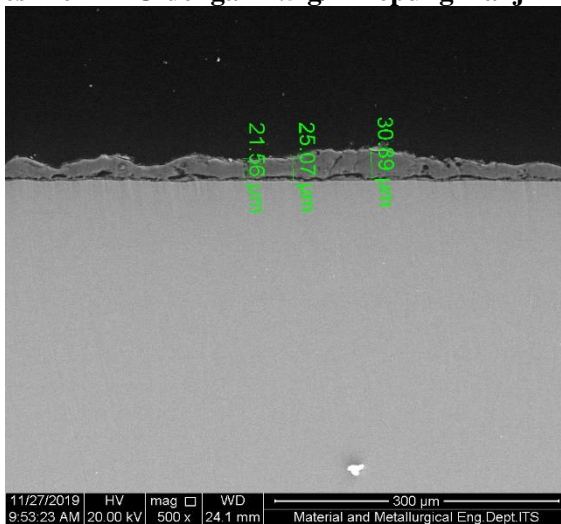
7.5	3.294	
10	2.877	

h. Ketebalan Lapisan oksida**1. Spesimen PEO dengan 0 g/L Tepung Kanji****2. Spesimen PEO dengan 2.5 g/L Tepung Kanji**

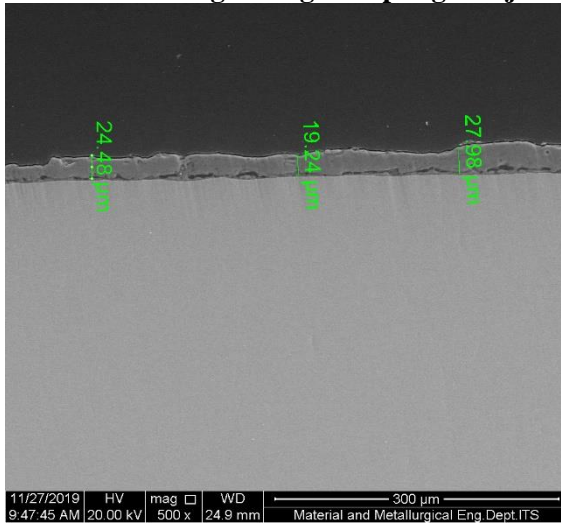
3. Spesimen PEO dengan 5 g/L Tepung Kanji



4. Spesimen PEO dengan 7.5 g/L Tepung Kanji





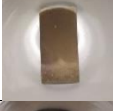


5. Spesimen PEO dengan 10 g/L Tepung Kanji

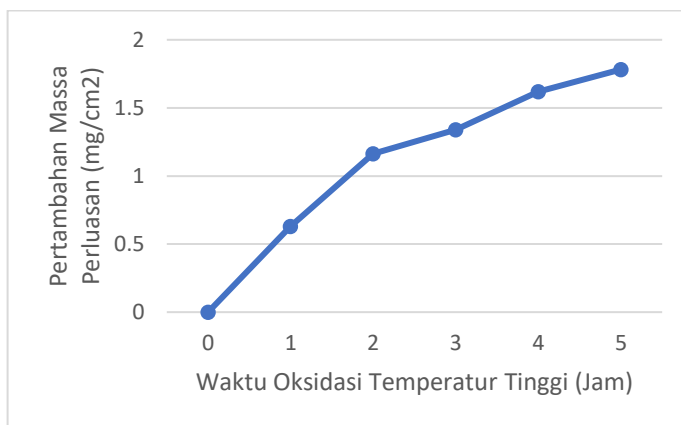


6. Ketebalan Rata-rata






Konsentrasi Tepung Kanji (g/L)	Ketebalan Lapisan (μm)			
	t1	t2	t3	Rata-rata
0	55.37	28.56	18.07	34
2.5	26.81	33.23	29.72	29.92
5	27.97	28.56	22.15	26.23
7.5	30.89	25.07	21.56	25.84
10	27.98	19.24	24.48	23.9

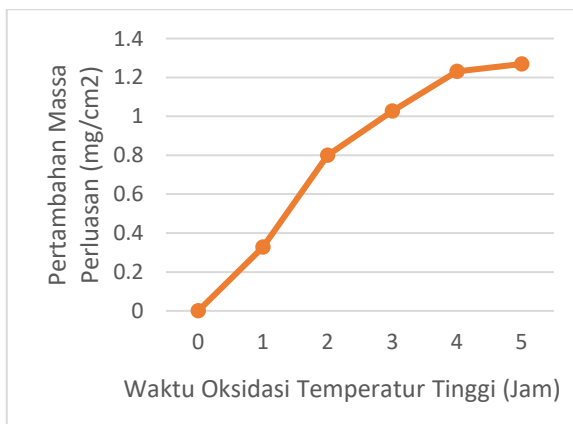
i. Hasil Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi
1. Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi Sampel *Base* Material Ti-6Al-4V

Waktu (jam)	Luas (cm ²)	Massa			Massa / luas (mg/cm ²)	Visual
		sebelum	sesudah	selisih		
1	571.9575	2.6017	2.6053	0.0036	0.6294	
2	567.5773	2.8095	2.8161	0.0066	1.1628372	
3	574.6025	2.5928	2.6005	0.0077	1.3400568	
4	586.4098	2.8339	2.8434	0.0095	1.6200276	
5	555.5283	2.5235	2.5334	0.0099	1.7820873	








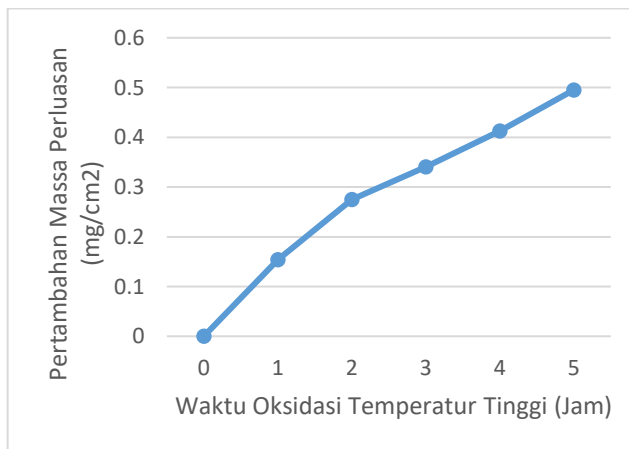
2. Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi Sampel PEO dengan 0 g/L Tepung Kanji

Waktu (jam)	Luas (cm ²)	Massa			Massa / luas (mg/cm ²)	Visual
		sebelum	sesudah	selisih		
1	611.1008	2.6413	2.6433	0.002	0.3273	
2	612.1986	2.3699	2.3748	0.0049	0.8003939	
3	623.4702	2.4033	2.4097	0.0064	1.0265125	
4	609.3681	2.7323	2.7398	0.0075	1.2307832	
5	598.8359	2.1821	2.1897	0.0076	1.269129	








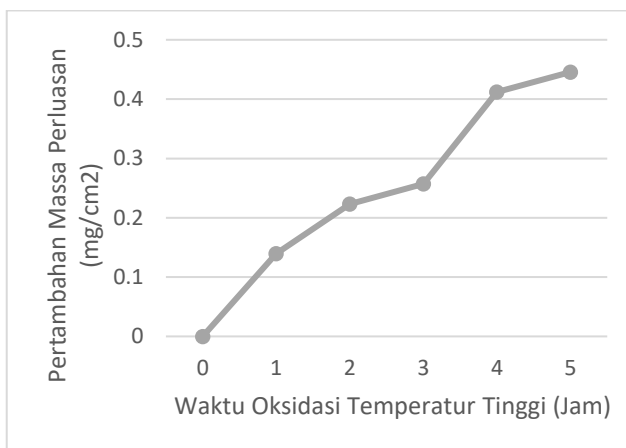
3. Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi Sampel PEO dengan 2.5 g/L Tepung Kanji

Waktu (jam)	Luas (cm ²)	Massa			Massa / luas (mg/cm ²)	Visual
		sebelum	sesudah	selisih		
1	584.9815	2.6329	2.6338	0.0009	0.1539	
2	581.375	2.301	2.3023	0.0013	0.2228645	
3	587.2533	2.2879	2.2894	0.0015	0.2570648	
4	581.5026	2.287	2.2894	0.0024	0.4121744	
5	585.7136	2.3046	2.3072	0.0026	0.4455983	


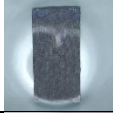





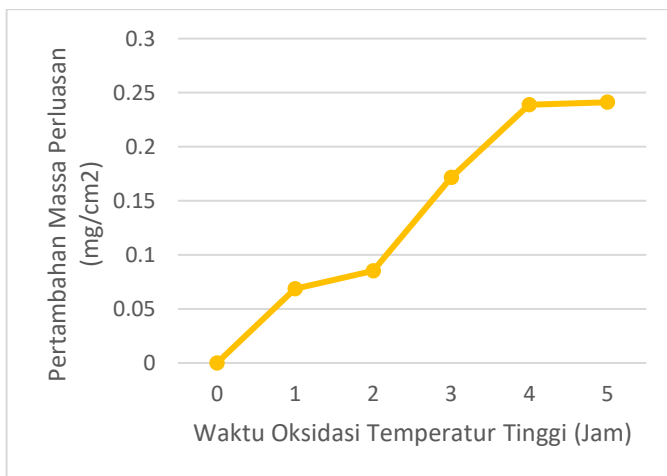
4. Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi Sampel PEO dengan 5 g/L Tepung Kanji

Waktu (jam)	Luas (cm ²)	Massa			Massa / luas (mg/cm ²)	Visual
		sebelum	sesudah	selisih		
1	573.8034	2.5729	2.5737	0.0008	0.1394	
2	583.314	2.301	2.3023	0.0013	0.2228645	
3	583.5105	2.2879	2.2894	0.0015	0.2570648	
4	582.2778	2.287	2.2894	0.0024	0.4121744	
5	583.4851	2.3046	2.3072	0.0026	0.4455983	


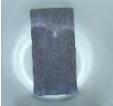





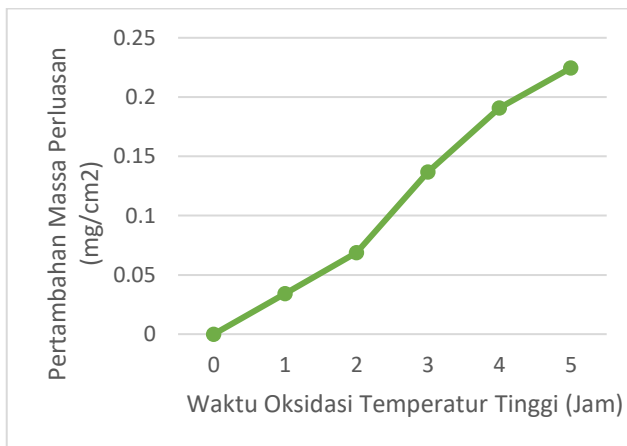
5. Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi Sampel PEO dengan 7.5 g/L Tepung Kanji

Waktu (jam)	Luas (cm ²)	Massa Sebelum	Massa sesudah	selisih	Massa / luas (mg/cm ²)	Visual
1	582.0784	2.6364	2.6368	0.0004	0.0687	
2	587.0779	2.3044	2.3049	0.0005	0.0851676	
3	582.3568	2.2773	2.2783	0.001	0.171716	
4	586.5368	2.3021	2.3035	0.0014	0.2386892	
5	580.6818	13.2927	13.2941	0.0014	0.2410959	



6. Pengujian Oksidasi Temperatur Tinggi Sampel PEO dengan 10 g/L Tepung Kanji

Waktu (jam)	Luas (cm ²)	Massa			Massa / luas (mg/cm ²)	Visual
		sebelum	sesudah	selisih		
1	585.9793	2.653	2.6532	0.0002	0.0341	
2	582.75	2.1439	2.1443	0.0004	0.0686401	
3	584.3074	2.1494	2.1502	0.0008	0.1369142	
4	576.2242	2.1403	2.1414	0.0011	0.1908979	
5	578.7819	2.0969	2.0982	0.0013	0.2246097	



UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini penulis sadar atas banyaknya kekurangan yang dimiliki penulis. Banyak pihak yang membantu penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Dengan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak yang telah membantu penulis diantaranya:

1. Terimakasih kepada Allah SWT yang memberikan pertolongan dan rahmat-Nya setiap waktu sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir
2. Kedua orang tua, saudara serta keluarga yang selalu memberikan dorongan dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir
3. Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah menuangkan ilmu, waktu dan bimbingan kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir
6. Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan tugas akhir
7. Ir. Mohammad Farid, DEA selaku Dosen Wali yang membantu penulis dalam menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Material
8. Seluruh Dosen dan Tenaga Pendidik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis selama menjalani perkuliahan
9. Angkatan MT18 yang menemani penulis dalam suka duka masa perkuliahan dari tahun pertama hingga tahun terakhir

-
10. Fatima Fajar Yuliasri selaku orang yang banyak menemani dan memberikan dukungan kepada penulis hingga saat ini
 11. Mahesa Anggara Sakti selaku partner penulis dalam mengerjakan tugas akhir
 12. Mong, Maul, Azmi, Septi, Amel, Ichi, Alfi, Saroh, Melda, Denis dkk selaku teman Forum Daerah Magelang yang bersama dengan penulis menjalani perkuliahan dan kegiatan di Surabaya.
 13. Rekan-rekan Grader Meralurgi, Kesma HMMT dan Ash-Haabul Kahfi selaku wadah pengembangan softskill penulis di jenjang perkuliahan
 14. Gacleng, Agoy, Ucup, Nanda, Ari, Mahesa, Gary dan Nail selaku teman-teman kontrakan Om Jess yang menemani keseharian penulis di tahun ketiga masa perkuliahan.
 15. Vito ticol, Satrio, Kepinbob, Safira, Mahanaim, Nanda, Henokh, Saiful, Kristin, Triska, Dayan, Monge, Aden, Wor, Ghozi, Riyan dkk selaku teman-teman yang menemani di lab ketika penulis mengerjakan laporan.
 16. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu per satu.

BIODATA PENULIS



Bayu Murti Wicaksono lahir di Magelang pada 22 Mei 1998 merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Subroto dan Ibu Purwanti. Penulis menempuh Pendidikan mulai dari SD Negeri 7 Magelang (*lulus tahun 2010*), melanjutkan ke SMP Negeri 1 Magelang (*lulus tahun 2013*), SMA Negeri 1 Magelang (*lulus tahun 2016*) dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (*hingga sekarang*). Dalam kehidupan organisasi kampus penulis pernah aktif di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi, Departemen Ukhuwah LDJ Ash-Haabul Kahfi dan Grader Metalurgi. Tugas Akhir ini merupakan bentuk kontribusi penulis dalam penelitian di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang teknologi pelapisan serta sebagai syarat kelulusan penulis. Jika ada pertanyaan, kritik, dan saran mengenai penulisan laporan ini dapat menghubungi penulis melalui email (bayuwicaksono689@gmail.com) atau no *handphone* (081228969478).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)