



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH KONSENTRASI Na_2SiO_3 TERHADAP
MORFOLOGI DAN KEKERASAN LAPISAN Al_2O_3
PADA AL 2024 MENGGUNAKAN METODE
*PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION***

ALFREDA KRISNA ALTAMA

NRP. 02511440000135

Dosen Pembimbing

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Fakultas Teknologi industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**



(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

EFFECT OF Na_2SiO_3 CONCENTRATION TO MORPHOLOGY AND HARDNESS PROPERTY OF Al_2O_3 COATING ON AL 2024 USING PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD

ALFREDA KRISNA ALTAMA

NRP. 02511440000135

Advisor

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

DEPARTEMENT OF MATERIAL ENGINEERING

Faculty Of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2017



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH KONSENTRASI Na_2SiO_3 TERHADAP
MORFOLOGI DAN KEKERASAN LAPISAN Al_2O_3
PADA AL 2024 MENGGUNAKAN METODE
PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material

Pada

Bidang Studi Metalurgi dan Manufaktur

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Alfreda Krisna Altama

NRP. 02511440000135

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

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





**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**



(halaman ini sengaja dikosongkan)



PENGARUH KONSENTRASI Na_2SiO_3 TERHADAP MORFOLOGI DAN KEKERASAN LAPISAN Al_2O_3 PADA AL 2024 MENGGUNAKAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION

Nama Mahasiswa : Alfreda Krisna Altama
NRP : 0251144000135
Departemen : Teknik Material
Desen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

Abstrak

Aluminium merupakan material yang banyak digunakan dalam aplikasi dirgantara dan satelit. Salah satu jenis yang digunakan dalam aplikasi ini adalah aluminium paduan Cu seri 2024. Untuk aplikasi pada satelit, diperlukan peningkatan sifat mekanik, salah satunya adalah kekerasan. Metode Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) digunakan untuk merekayasa permukaan aluminium agar terbentuk lapisan alumina (Al_2O_3). Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaruh dari variasi komposisi larutan elektrolit Na_2SiO_3 terhadap morfologi dan sifat kekerasan lapisan Al_2O_3 pada aluminium Al 2024. Pengamatan secara visual saat proses didapat hasil penambahan konsentrasi Na_2SiO_3 pada elektrolit menghasilkan intensitas micro discharge plasma yang semakin tinggi dan merata pada awal proses. Hasil karakterisasi SEM/EDX dari spesimen PEO menunjukkan morfologi dengan jumlah micropores yang tinggi. Dari analisa XRD didapat kandungan senyawa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). Peningkatan konsentrasi Na_2SiO_3 menghasilkan ukuran micropores yang semakin besar. Berdasarkan pengujian micro hardness vickers didapatkan proses PEO memberikan nilai kekerasan permukaan untuk setiap spesimen 0,025M, 0,030M, 0,035M, dan 0,040M masing-masing senilai 314,1HV, 499,67HV, 670,86HV, dan 531,10HV.



Kata kunci: aluminium; alumina; plasma electrolytic oxydation (PEO); kekerasan permukaan

(halaman ini sengaja dikosongkan)



EFFECT OF Na_2SiO_3 CONCENTRATION TO MORPHOLOGY AND HARDNESS PROPERTY OF Al_2O_3 COATING ON AL 2024 USING PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION METHOD

Student Name : Alfreda Krisna Altama
NRP : 02511440000135
Departement : Material Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Haniffudin Nurdiansah, S.T.,M.T

Abstract

Aluminium is a material widely used in aerospace and satellites application. One of the types that used in this application is aluminium copper (Cu) alloy, 2024. For satellites application, it needs an increase in mechanical properties, one of them is hardness property. Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) method is used to fabricate alumina ceramic oxide layer (Al_2O_3) on aluminium surface. This experiment is used to analyze the effect of Na_2SiO_3 electrolyte solution composition variation to morphology and hardness property of Al_2O_3 coating on 2024 aluminium alloy. Visual observations during the process indicate the addition of Na_2SiO_3 concentration in electrolytes gave the higher intensity of plasma discharge at the beginning of the process. The SEM / EDX characterization on PEO specimens showed the morphology with many micropores. From XRD analysis, the compounds contained in the PEO specimen are $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ and mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). The increasing concentration of Na_2SiO_3 , resulting in larger pore size. Based on micro hardness vickers testing showed PEO process gave surface hardness value for each specimen 0,025, 0,030, 0,035, and 0,040M are 314,1, 499,67, 670,86, and 531,10HV respectively.

Keywords :aluminum, alumina, plasma electrolytic oxydation (PEO), surface hardness



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**



(halaman ini sengaja dikosongkan)



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena Rahmat dan Hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi Na_2SiO_3 Terhadap Morfologi Dan Kekerasan Lapisan Al_2O_3 Pada Al 2024 Menggunakan Metode *Plasma Electrolytic Oxidation*”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

- Allah Subhanahu Wata'ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih *agar* mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna
- Ayah-Ibu, orang tua tercinta, atas jasa-jasanya yang tak terhingga dalam mendidik dan membesarkan saya.
- Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng dan Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang bapak berikan.
- Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc., Bapak Sungging Pintowantoro, S.T, M.T, PhD., dan Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala masukan, pertanyaan dan pencerahan yang diberikan kepada saya.
- Bapak-bapak dan Ibu-ibu dosen jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
- Staf Laboratorium Konversi Energi Listrik Departemen Teknik Elektro FTI-ITS



- Staf Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS.
- Staf Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS.
- Juga kepada Irvan Kaisar Renaldi serta seluruh teman – teman seperjuanganku MT-16, terima kasih karena sudah saling membantu, berjuang bersama-sama.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena adanya keterbatasan kemampuan penulis. Namun demikian, penulis dapat mewujudkan laporan ini secara lengkap berkat adanya perhatian, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak.

Pastinya dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Untuk itu, saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan.

Demikian penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya khususnya bagi sesama mahasiswa yang menggeluti bidang metalurgi dan manufaktur.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Desember 2017

Penulis



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 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Logam Ringan (<i>Light Metal</i>)	5
2.2 Aluminium	5
2.3 Alumina	8
2.4 Rekayasa Permukaan	9
2.5 Larutan Elektrolit Proses PEO Dan Penelitian Sebelumnya.....	16
BAB 3 METODOLOGI	
3.1 Diagram Alir	21
3.2 Metode Perancangan	22
3.3 Preparasi Substrat Dan Larutan Elektrolit	23
3.4 Proses Rekayasa Permukaan Menggunakan Metode PEO.....	24
3.5 Karakterisasi	26
3.3 Perancangan Pengujian	30
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakterisasi Awal.....	33
4.2 Analisa Hasil Proses <i>Plasma Electrolytic Oxidation</i> (PEO)	35



BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
	Daftar Pustaka	xxi
	Lampiran	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aplikasi Material Pada Bagian Pesawat Boeing 787.....	6
Gambar 2.2	Gambaran Skema Proses Anodising Pada Aluminium.....	11
Gambar 2.3	Skema Proses PEO	13
Gambar 2.4	Skema Ilustrasi (a) Morfologi dan Proses Perpindahan Ion Pada Lapisan dan (b) Terbentuknya Lapisan Al_2O_3	14
Gambar 2.5	Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Terhadap Intensitas <i>Microdischarge</i> Plasma.....	17
Gambar 2.6	Skema Pembentukan Mullite.....	18
Gambar 2.7	Lapisan Oksida Yang Terbentuk Dari Proses PEO Pada Aluminium (A) Morfologi Permukaan (B) Morfologi Melintang.....	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2	Material Substrat.....	23
Gambar 3.3	Rangkaian Elektrik	24
Gambar 3.4	Skema Proses PEO	25
Gambar 3.5	Alat Uji OES.....	26
Gambar 3.6	Alat Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	27
Gambar 3.7	Alat Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	28
Gambar 3.8	Alat Uji Kekerasana	29
Gambar 3.9	Rancangan Titik Indentasi	30
Gambar 4.1	Hasil XRD Base Metal Al 2024	34
Gambar 4.2	Perbandingan Hasil XRD	37
Gambar 4.3	Hasil XRD Spesimen PEO Variasi Konsentrasi Na_2SiO_3 (A) 0,030M,(B) 0,035M, (C) 0,045M.....	38
Gambar 4.4	Hasil SEM Morfologi Permukaan Spesimen PEO Dengan Variasi Na_2SiO_3 A)0,025M, B)0,030M, C)0,035M, dan D)0,040M Perbesaran 500x.....	41



Gambar 4.5	Hasil Karakterisasi EDX A)0,025M, (B)0,030M, (C)0,035M, (D)0,040M	44
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kekerasan Permukaan Spesimen PEO.....	46
Gambar 4.7	Grafik Pola Distribusi Kekerasan Permukaan ..	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Aluminium Murni	6
Tabel 2.2	Sifat Fisik dan Mekanik Alumina	9
Tabel 2.3	Perbandingan PEO Dengan Anodising	16
Tabel 3.1	Rancangan Data Pengujian	30
Tabel 4.1	Hasil Analisa OES Pada Substrat Aluminium	33
Tabel 4.2	Komposisi Al 2024	34
Tabel 4.3	Perubahan Intensitas Micro Discharge Plasma	35
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Kekerasan	45
Tabel 4.5	Data Distribusi Kekerasan Permukaan	47



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Satelit merupakan sebuah benda di angkasa yang berputar mengikuti rotasi bumi. Indonesia yang merupakan negara berkembang juga ikut berperan dalam perkembangan satelit. Sebagian besar satelit milik Indonesia yang pernah beroperasi digunakan untuk menunjang keperluan komunikasi. Perkembangan satelit di Indonesia dimulai dengan diluncurkannya satelit Palapa A1 pada 8 Juli 1976 sampai yang terakhir diluncurkan adalah satelit Telkom 3S pada tahun 2017. Selain satelit komunikasi tersebut, saat ini Indonesia telah mengembangkan satelit terbaru Lapan A3 yang berfungsi sebagai pemantau kondisi maritim, pertanian, dan medan magnet.

Satelit memiliki banyak komponen vital dengan karakteristik dan fungsi tertentu. Secara umum komponen-komponen tersebut digolongkan berdasarkan fungsinya, yaitu *body* dan *armor*, komunikasi, sensor, mesin, dan sistem tenaga. Spesifikasi dasar yang harus dimiliki material untuk komponen-komponen satelit adalah ketahanan terhadap tekanan tinggi, kemampuan bertahan pada kondisi atmosfer dan gravitasi yang rendah, kerapatan yang tinggi serta kemampuan bertahan dari temperatur ekstrim dan gesekan dengan benda angkasa.

Saat ini material yang memenuhi kriteria tersebut adalah komposit dan aluminium, terutama untuk komponen struktur *body* dan *armor* pada satelit. Aluminium masih terus digunakan dalam perkembangan satelit, meskipun pada dasarnya memiliki kekuatan yang rendah. Hal ini dikarenakan aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan unsur lainnya dan dilakukan rekayasa pada struktur baik keseluruhan maupun pada permukaannya, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik yang dimiliki. Jenis aluminium yang digunakan dalam aplikasi ini adalah aluminium paduan Zn-Mg seri 7075 dan paduan Cu seri 2024. Dengan penambahan unsur



tersebut, dapat memberikan kekuatan pada aluminium hingga 280 Mpa. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk peningkatan sifat mekanik adalah rekayasa permukaan.

Rekayasa permukaan yang dapat dilakukan berupa pembentukan oksida keramik (Al_2O_3) melalui penambahan lapisan (*coating*) atau merekayasa struktur metalurgi maupun kimia permukaan material. Metode yang dilakukan diantaranya, *laser melting*, *atmospheric plasma spraying*, *Physical Vapor Deposition* (PVD), dan *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). Metode PEO dipilih karena merupakan teknologi baru untuk menghasilkan lapisan oksida keramik pada logam (aluminium). Selain itu PEO juga memerlukan biaya yang relatif murah dan rangkaian yang sederhana.

Plasma electrolytic oxidation (PEO) dapat meningkatkan sifat ketahanan korosi, kekerasan dan ketahanan aus, serta dapat juga memberi sifat fungsional lainnya seperti anti friksi, perlindungan *thermal*, optik dan dielektrik. Proses PEO berdasarkan proses konvensional anodising logam ringan di dalam larutan elektrolit, tetapi dioperasikan di atas tegangan biasa, yang melepaskan pembentukan mikro plasma, pembentukan mikro plasma menghasilkan tidak hanya lapisan oksida dari substrat tetapi juga oksida kompleks yang mengandung unsur dalam elektrolit. Sifat dan mikrostruktur lapisan dapat disesuaikan dengan memilih elektrolit dan parameter elektrik yang tepat.

Sampai saat ini masih dipelajari hubungan antara komposisi elektrolit dengan metode *Plasma electrolytic oxidation* (PEO). Sehingga, penelitian ini akan menganalisa tentang pengaruh konsentrasi elektrolit Na_2SiO_3 terhadap morfologi dan sifat kekerasan dari lapisan Al_2O_3 yang terbentuk pada substrat Al 2024 melalui metode *Plasma electrolytic oxidation* (PEO).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dianalisis pada penelitian ini adalah :



1. Bagaimana pengaruh dari variasi konsentrasi larutan elektrolit Na_2SiO_3 terhadap morfologi lapisan Al_2O_3 pada aluminium Al 2024?
2. Bagaimana pengaruh dari variasi konsentrasi larutan elektrolit Na_2SiO_3 terhadap sifat kekerasan lapisan Al_2O_3 pada aluminium Al 2024?

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. Komposisi material substrat dianggap sama atau homogen
2. Parameter proses beda potensial dan arus dianggap stabil dalam semua proses
3. Temperatur substrat dianggap stabil dalam proses

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah :

1. Menganalisa pengaruh dari variasi konsentrasi larutan elektrolit Na_2SiO_3 terhadap morfologi lapisan Al_2O_3 pada aluminium Al 2024
2. Menganalisa pengaruh dari variasi konsentrasi larutan elektrolit Na_2SiO_3 terhadap sifat kekerasan lapisan Al_2O_3 pada aluminium Al 2024

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan referensi dalam metode rekayasa permukaan untuk pembentukan lapisan oksida keramik pada aluminium untuk aplikasi material struktur pada dirgantara dan satelit



2. Dapat dijadikan referensi untuk metode *Plasma electrolytic oxidation* (PEO) lain dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komferhensif dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya terkait rekayasa permukaan dengan metode *Plasma electrolytic oxidation* (PEO)



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Ringan (*Light Metal*)

Istilah 'logam ringan' secara tradisional diberikan pada aluminium dan magnesium karena sering digunakan untuk mengurangi berat komponen dan struktur. Atas dasar ini, titanium dan berilium juga memenuhi syarat kriteria logam ringan. Keempat logam tersebut memiliki kerapatan relatif berkisar antara 1,7 (magnesium) sampai 4,5 (titanium). Sedangkan bila dibandingkan dengan nilai 7,9 dan 8,9 untuk logam struktural yang lebih tua, yaitu besi dan tembaga, serta 22,6 untuk osmium logam berat. Hal dasar inilah yang menjadikan logam-logam tersebut terutama aluminium dan magnesium digunakan dalam banyak aplikasi logam ringan, baik untuk material utama maupun sebagai paduan (Polmear, 2006).

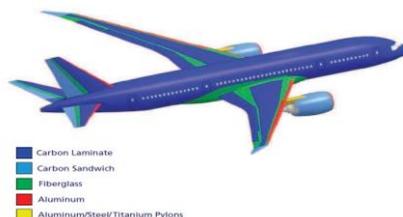
2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam non-ferrous berwarna putih keperakan dengan sifat ringan, kuat, dan mudah dibentuk. Aluminium memiliki nomor atom 13. Aluminium memiliki simbol Al. Aluminium merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Titik lebur logam ini adalah 660,3 °C. Logam ini merupakan elemen yang sangat reaktif dan membentuk ikatan kimia yang kuat dengan oksigen. Aluminium dengan densitas 2,7 g/cm³ sekitar sepertiga dari densitas baja (8,83 g/cm³), tembaga (8,93 g/cm³), atau kuning (8,53 g/cm³), mempunyai sifat yang unik, yaitu: ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia. Sifat tahan korosi ini dikarenakan aluminium akan membentuk lapisan oksida aluminium ketika bereaksi dengan udara yang melindungi dari lingkungan (Rahmawati, 2010).

Tabel 2.1 Karakteristik Aluminium Murni (Rahmawati, 2010)

Sifat	Nilai
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20 °C (g/cm ³)	2,698
Titik lebur (°C)	660,3
Modulus Elastisitas (GPa)	70,5
Hardness (HV)	75

Aluminium telah menjadi bahan kerangka pesawat utama sejak mulai mengganti kayu pada awal 1920an. Dominasi paduan aluminium dalam aplikasi aerospace mencakup berbagai hal diantaranya untuk pesawat dan satelit. Alasan aluminium masih banyak digunakan adalah harga yang relatif rendah dibanding material lain (komposit dan paduan Ti), merupakan logam ringan yang dapat diberikan perlakuan panas sampai tingkat kekuatan yang cukup tinggi, dapat diberikan rekayasa struktur baik untuk permukaan ataupun keseluruhan, serta memiliki sifat fabrikasi paling mudah, dimana fabrikasi yang mudah biasanya berkorelasi langsung dengan biaya yang lebih rendah. Untuk pesawat baik komersial maupun keperluan perang, aluminium banyak digunakan sebagai material kerangka, sirip sayap, ujung sayap, bodi depan dan pelapis turbin. Untuk keperluan satelit, material aluminium masih sangat digunakan untuk *armor* dan kerangka utama. (Campbel, 2006).



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



2.2.1 Paduan Aluminium Untuk Aplikasi Dirgantara

Begitu pesawat dan satelit berada di luar angkasa, ia harus mempertahankan fungsinya dalam kondisi gravitasi dan lapisan atmosfer rendah, di mana bahan komponennya akan memiliki berat yang jauh lebih rendah dibanding ketika berada di bumi. Variasi kekuatan gravitasi dan atmosfer ini berarti bahwa bahan yang digunakan harus sangat serbaguna dan “unik” dalam integritasnya. Struktur juga harus bisa menahan tekanan kabin yang berasal dari dalam satelit. Pada Stasiun Luar Angkasa Internasional, oksigen di dalamnya dapat memberikan tekanan hingga 15 lbs per inci pada struktur permukaan. Ketika material yang digunakan terutama untuk struktur body dan *armor* tidak cukup kuat untuk menahan tekanan sebesar 15 lbs per inch dapat menyebabkan kebocoran, yang mengganggu fungsi komponen lain dan mengancam kehidupan setiap penumpang.

Bahaya lain yang perlu dipertimbangkan untuk aplikasi aerospace adalah gesekan udara dengan kecepatan tinggi dan jumlah proyektil yang akan bersentuhan dengan strukturnya. Sampai saat ini, pecahan peluru satelit buatan lama yang sudah tidak berfungsi masih mengorbit di sekitar bumi saat ini sebagai sampah luar angkasa. Potongan logam berkecepatan tinggi tersebut bisa menghancurkan satelit yang masih berfungsi jika material yang digunakan tidak cukup kuat untuk menahan abrasi dari udara dan proyektil tersebut. (Maini, dkk, 2014).

Saat meluncurkan objek ke orbit bumi merupakan proyek dengan biaya mahal, sehingga selain kriteria bahan yang memenuhi juga perlu dipertimbangkan secara ekonomis. Kondisi ini yang mengakibatkan aluminium masih menjadi pilihan utama selain material inovatif seperti komposit. Rekayasa komposisi maupun struktur masih terus dilakukan untuk aluminium. Paduan aluminium tembaga (seri 2xxx) dan paduan aluminium-zinc (seri 7xxx) adalah paduan utama yang digunakan dalam aplikasi aerospace.



Al-Cu (seri 2xxx)

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

Al-Zn (seri 7xxx)

Pada seri ini ditambahkan paduan unsur berupa Zn dan sedikit Mg. Penambahan unsur ini memberikan penambahan kekuatan yang lebih tinggi dibanding pada seri 2xxx. Hal ini yang mengakibatkan paduan 7xxx digunakan untuk aplikasi dengan kekuatan lebih tinggi dan saat ini lebih sering digunakan. Aplikasi kekuatan yang tinggi dibutuhkan pada kerangka dan *armor* satelit. Selain keperluan kekuatan yang tinggi, material untuk aplikasi body dan armor harus memiliki ketahanan abrasi yang tinggi. Ketika mengudara dengan kecepatan tinggi, body dan *armor* akan mengalami gesekan besar dengan udara maupun benda angkasa, sehingga rekaya perlu dilakukan (Maini, dkk, 2014).

2.3 Alumina

Alumina (Al_2O_3) atau aluminium oksida adalah satu-satunya oksida yang terbentuk oleh logam aluminium dan terbentuk di alam dalam bentuk mineral korundum (Al_2O_3); *diaspore* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$); *gibbsite* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) dan yang paling umum sebagai *bauksit*, yang merupakan bentuk tidak murni dari *gibbsite*.

Alumina adalah salah satu keramik yang digunakan untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Alumina memiliki struktur yang keras, abrasif, inert, wear resistan yang baik, dan penahan korosi yang sangat baik (Karaoglanli dkk., 2011). Sifat fisik dan mekanik alumina (ditunjukkan oleh tabel 2.2).



Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Mekanik Alumina (Auerkari, 2006)

Sifat	Satuan	Nilai
Temperatur Leleh	$^{\circ}\text{C}$	2040
Densitas pada 20°C	g/cm^3	3.95
Konduktivitas Panas	W/mK	30
Modulus Elastisitas	GPa	398
Hardness	HV	1500

Terdapat dua jenis alumina, α -alumina yang mempunyai luar permukaan kecil, atau korundum, dan γ -alumina yang sangat *porous* (Maciver, dkk, 2003). γ -alumina adalah fasa metastabil yang pertama terbentuk dari proses kalsinasi sulfat, hidroksida, dan garam-garam lain sebelum membentuk fasa stabil α -alumina. Perubahan ke α -alumina berupa proses pengasaran dan ditandai dengan menurunnya luas permukaan alumina (Dynys dan Halloran, 2002)

2.4 Rekayasa Permukaan (*Surface Engineering*)

Rekayasa permukaan adalah kegiatan multidisiplin yang dimaksudkan untuk menyesuaikan sifat permukaan komponen teknik sehingga fungsi dan kemampuan mereka dapat ditingkatkan sesuai aplikasinya. Definisi lain dari rekayasa permukaan yaitu sebagai "perlakuan bagian permukaan dan bagian dekat permukaan dari suatu material untuk memungkinkan permukaan dari material tersebut memiliki sifat dan fungsi yang berbeda dari sifat aslinya". (ASM Handbook)

Sifat atau karakteristik yang diinginkan dari rekayasa permukaan suatu komponen meliputi:

- Meningkatkan ketahanan korosi melalui pelindung dengan membentuk pembatas dengan lingkungan
- Peningkatan ketahanan terhadap oksidasi dan / atau sulfidasi
- Peningkatan ketahanan aus



- Mengurangi kerugian kehilangan energi akibat gesekan
- Meningkatkan sifat mekanik yang ditingkatkan, misalnya kekuatan atau kekerasan
- Peningkatan sifat elektronik atau listrik
- Peningkatan isolasi termal
- Peningkatan estetika

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

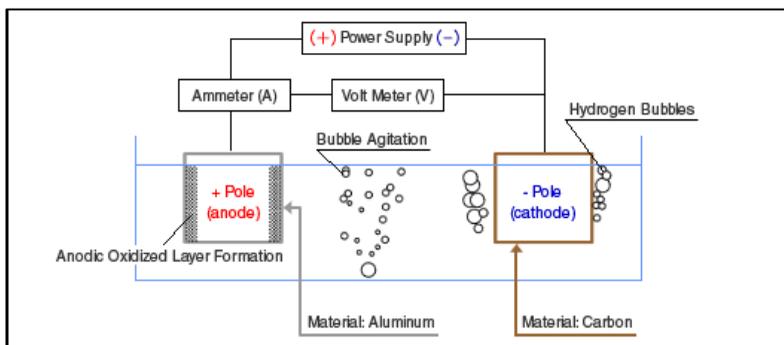
2.4.1 Anodising

Anodising / rekayasa dengan prinsip elektrokimia merupakan jenis teknik rekayasa permukaan. Logam ringan, seperti aluminium dan paduannya memiliki kemampuan untuk menahan korosi oleh atmosfer karena lapisan pelindungnya dalam bentuk oksida Al_2O_3 atau hidroksida Al_2O_3 , lapisan pasif yang segera terbentuk setelah logam terekspos udara. Lapisan oksida setebal 2,5 hingga 10 nm hanya dapat memberikan perlindungan terbatas pada lingkungan agresif (Henley, 2002). Sifat perlindungan dari aluminium dapat ditingkatkan dengan mengoksidasi permukaan lebih lanjut, baik secara thermal, kimiawi, ataupun elektrokimia. Anodising merupakan jenis yang berbeda dari proses pelapisan konversi kimia, pada anodising permukaan di oksidasi secara elektrolitik sehingga lapisan yang jauh lebih tebal akan terbentuk (Sheasby, 2001). Proses anodising mendapat nama dari prosesnya berupa substrat yang menjadi anoda pada sel elektrolitik, dibandingkan dengan teknik rekayasa permukaan lainnya, anodising memiliki perbedaan, dengan cara memanfaatkan

oksidasi terkontrol pada substrat logam yang akan menghasilkan perubahan lapisan logam menjadi lapisan oksida. Lapisan oksida anoda aluminium memiliki ketebalan dari 5 hingga 25 mm; oleh karena itu anodising tidak hanya digunakan untuk kebutuhan perlindungan tetapi juga dapat untuk kebutuhan estetika. Proses anodising sering digunakan untuk perlindungan korosi pada kendaraan, bangunan, pesawat, alat olahraga serta alat elektronik (ASM, 2003)

2.4.2 Proses Anodising

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



Gambar 2.2 Gambaran Skema Proses Anodising Pada Aluminium (Kumar dkk., 2014)

Ketika aluminium terpolarisasi secara anodik pada elektrolit, anion muatan negatif pada larutan berpindah ke anoda dimana anoda dilepaskan dengan melepas elektron. Pada larutan encer, anion mengandung oksigen, yang akan bereaksi secara kimia dengan aluminium.

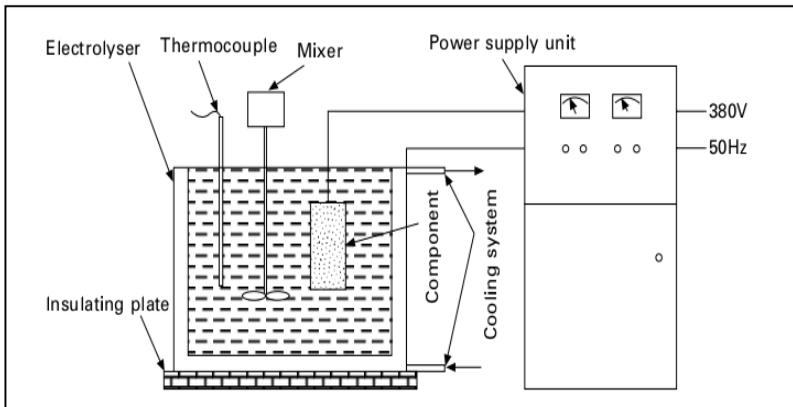
Hasil dari oksidasi anodik tergantung dari beberapa faktor, terutama elektrolit (komposisi, konsentrasi, dan temperatur) dan juga kondisi elektrolisis (arus dan tegangan). Proses berikut dapat terjadi di anoda jika:

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

- (iii) Jika produk reaksi sedikit banyak larut pada elektrolit, electropolishing logam aluminium dapat dilakukan pada kondisi ini, jika elektrolit yang tepat digunakan
- (iv) Jika produk reaksi seluruhnya larut pada elektrolit, logam akan larut hingga larutan menjadi jenuh. Jenis seperti ini terjadi pada beberapa asam dan basa anorganik kuat yang digunakan untuk manufaktur elektrokimia logam aluminium (Sheasby., 2001).

2.4.3 Plasma Electrolytic Oxidation

Plasma electrolytic oxidation (PEO) Sebuah teknologi rekayasa permukaan relatif baru, biasa juga disebut *microarc oxidation* (MAO) mulai mengalami peningkatan dalam pembuatan lapisan oksida keramik untuk logam ringan seperti aluminium, titanium dan magnesium. PEO dapat meningkatkan sifat ketahanan korosi dan ketahanan aus, serta dapat juga memberi sifat fungsional lainnya seperti anti - friksi, perlindungan *thermal*, optik dan dielektrik. (Jiang., 2010).



Gambar 2.3 Skema Proses PEO (Jiang, 2010)

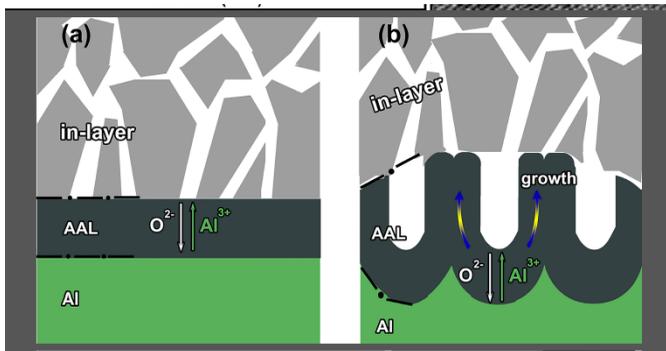
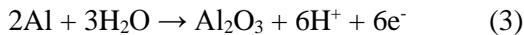
Proses PEO berdasarkan proses konvensional anodising logam ringan di dalam larutan elektrolit, tetapi dioperasikan di atas tegangan biasa, yang melepaskan pembentukan mikro - plasma, pembentukan mikro - plasma menghasilkan tidak hanya lapisan oksida dari substrat tetapi juga oksida kompleks yang mengandung unsur dalam elektrolit. Sifat dan mikrostruktur lapisan dapat disesuaikan dengan memilih elektrolit dan parameter elektrik yang tepat, sehingga PEO dapat diterapkan untuk berbagai macam aplikasi yang luas, otomotif, dirgantara, kelautan, tekstil, elektronik, biomedis, dan material katalis (Jiang., 2010). Reaksi pembentukan oksida logam dapat dianggap terjadi melalui pelarutan logam anodik untuk membentuk kation yang sesuai :



Diikuti dengan reaksi antara kation logam dengan ion oksigen :



Reaksi total dari oksidasi anodik aluminium :



Gambar 2.4 Skema Ilustrasi (a) Morfologi dan Proses Perpindahan Ion Pada Lapisan Dan (b) Terbentuknya Lapisan Al_2O_3 (Zhu, 2016)

Proses pembentukan lapisan alumina dimulai dengan proses pemecahan dan pelelehan lapisan aluminium sehingga



terbentuk lapisan alumina amorf (AAL). Pada kondisi awal akan terjadi migrasi ion pada anoda yang mengakibatkan proses pemecahan Al (reaksi 1) dan O^{2-} terbentuk pada daerah interface akibat discharge saat proses. Al^{3+} dan O^{2-} dibawa oleh *electrical migration* (*microdischarge* plasma) sehingga pembentukan Al_2O_3 beriringan dengan persebaran plasma pada permukaan spesimen mulai dasar pori hingga dinding pori. (Zhu,2016)

2.4.4 Keuntungan Proses PEO

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

Jika dibandingkan dengan anodising konvensional dan hard anodising, PEO menunjukkan banyak keunggulan (Volynets dkk., 1991). Walaupun anodising konvensional pada larutan alkalin dapat memberikan lapisan dengan tebal beberapa mikron, lapisan ini masih terlalu tipis untuk memberikan proteksi efektif untuk keausan dan korosi, dan anodising ini biasanya hanya digunakan untuk kebutuhan dekorasi. Metode PEO, yang diturunkan dari anodising konvensional tetapi ditingkatkan dengan pelepasan percikan plasma ketika voltase yang besar dapat menghasilkan lapisan keramik yang lebih tebal dengan sifat yang sangat baik seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan aus dan ketahanan korosi yang sangat baik, serta ikatan yang kuat antara lapisan dengan substrat jika dibandingkan dengan anodising konvensional. Proses PEO telah menunjukkan sukses besar dalam meningkatkan



rekayasa permukaan dari logam magnesium, aluminium dan titanium, menggantikan proses anodising konvensional dengan elektrolit asam yang mengandung zat berbahaya terhadap lingkungan (Jiang., 2010).

Tabel 2.3 Perbandingan PEO Dengan Anodising (Kumar dkk., 2014)

Sifat	Anodising	Plasma Electrolytic Oxidation
Tegangan sel	Rendah ~ 20 – 80 V	Tinggi ~ 100 – 400 V
Densitas arus	Rendah ~ 10A/dm ²	Tinggi ~ 20A/dm ²
Elektrolit	Asam, berbahaya	Alkaline, ramah lingkungan
Ketebalan lapisan oksida	10µm atau kurang	100µm atau lebih
Sifat lapisan	Kekerasan sedang, dielektrik rendah	Kekerasan tinggi, padat (dense), dielektrik tinggi
Sifat lapisan oksida	Amorphous, kasar, berporous	Kristalin tinggi, halus, berporous pada permukaan, padat dibawah permukaan
Kontrol temperatur	Ketat	Cukup didinginkan dengan <i>chiller</i>
Biaya	Rendah, hard anodising tinggi	Relatif rendah

2.5 Larutan Elektrolit Proses PEO Dan Penelitian Sebelumnya

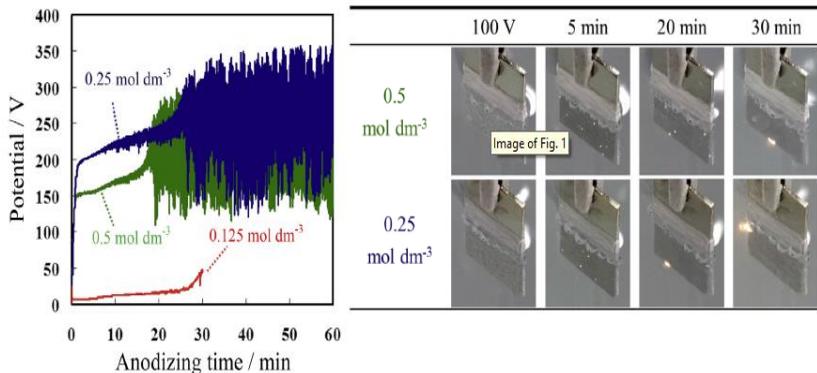
2.5.1 Konstrasi Larutan Elektrolit

Efek dasar dari elektrolit bisa diringkaskan sebagai berikut :

- (i) Pertama dan paling penting, mengembangkan pasivasi logam

untuk membentuk lapisan, dimana lapisan tersebut penting untuk syarat terjadinya induksi percikan listrik ; (ii) sebagai media untuk menghantarkan arus dan untuk mentransmisikan energi yang dibutuhkan oleh proses untuk mengoksidasi permukaan logam anoda ; (iii) menyediakan sumber oksigen dalam bentuk garam oksigen (oxysalt), garam yang mengandung anion oksigen yang dibutuhkan untuk terjadinya oksidasi ; (iv) memungkinkan unsur yang ada dalam elektrolit untuk bergabung dalam lapisan yang terbentuk, bahkan dapat memodifikasi atau memperbaiki sifat dari pelapisan PEO (Jiang dkk, 2010).

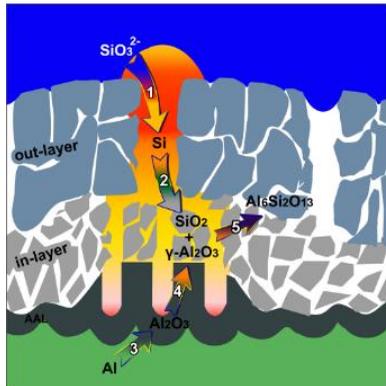
Mikrostruktur (misalnya, diameter dan jumlah pori-pori / rongga bulat) dari lapisan anodik yang terbentuk pada proses PEO sangat dipengaruhi oleh intensitas *micro discharge* plasma, seperti ukuran, jumlah, dan frekuensi *micro discharge* yang muncul, tidak hanya oleh tegangan pembentuk itu sendiri (Asoh, 2010)



Gambar 2.5 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Terhadap Intensitas *Microdischarge* Plasma (Ono,2016)

Dari gambar 2.5 , dapat dilihat pengaruh konsentrasi elektrolit dan waktu terhadap intensitas *micro discharge* plasma pada permukaan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi Na_3PO_4 terhadap *spark* yang terbentuk pada proses PEO aluminium. Tegangan mengalami peningkatan hampir secara

linear seiring waktu karena terbentuknya lapisan oksida padat yang terjadi mulai proses pertumbuhan sampai tegangan bending (breakdown) pertama. Hal ini yang menentukan apakah lapisan yang terbentuk menunjukkan perubahan dalam struktur film berupa ketebalan dan jenis atau jumlah pori. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa pengingkatan konsentrasi elektrolit, meningkatkan intensitas *micro discharge* pada menit awal sehingga dapat meningkatkan ukuran *micropores*. Semakin bertambahnya waktu proses maka *micro discharge* plasma yang terbentuk juga semakin menurun. Mereka menemukan bahwa evolusi oksigen akan semakin menurunkan efisiensi arus saat ini. (Ono, dkk, 2016). Selain itu jenis larutan juga mempengaruhi fasa atau senyawa yang terbentuk dari proses PEO. Penelitian menunjukkan, bila diaplikasikan pada aluminium dan paduannya, proses PEO dalam larutan Na_2SiO_3 dapat menghasilkan lapisan keramik dengan ketebalan 10-100 mikron, yang terdiri dari $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, korundum, dan mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) tergantung pada lamanya proses. Mullite memiliki densitas 6,7 kali lebih tinggi dibanding Al sehingga dapat meningkatkan kekerasan permukaan pada komposisi tertentu. (Zhu,2016)

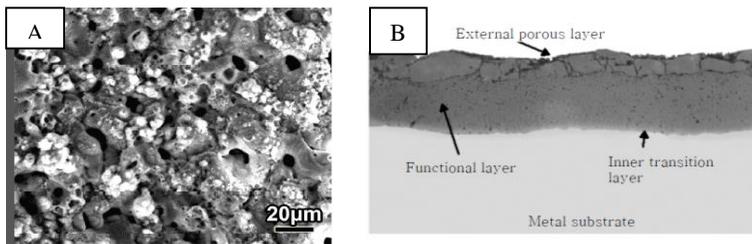


Gambar 2.6 Skema Pembentukan Mullite (Zhu,2016)

Permasalahan dari penggunaan elektrolit dalam proses PEO adalah konsumsi elektrolit yang tinggi serta umurnya yang pendek, sehingga mempengaruhi produktivitas proses pelapisan dan menambah biaya untuk penggantian elektrolit. Hingga saat ini, banyak penelitian dan literatur mencari dan mengembangkan elektrolit yang optimum baik komposisi dan konsentrasi untuk mendapatkan sifat lapisan yang diinginkan (Jiang dkk, 2010)

2.5.2 Properti Lapisan PEO

Lapisan PEO biasanya terdapat 3 lapisan, berdekatan dengan substrat, terdapat lapisan dalam yang tipis yang biasa disebut lapisan penghalang diikuti dengan lapisan tengah dengan ketebalan bervariasi dan porositas relatif rendah, dinamakan functional layer, yang memberikan sifat termo-mekanik dan fungsi - fungsi tribologi dari lapisan. Lapisan ketiga yang memiliki porositas tinggi dan lapisan yang longgar, terletak di atas functional layer terdapat pada beberapa sampel. Lapisan fungsional ini mencapai 70 sampai 80% dari total ketebalan lapisan. Lapisan terluar dapat digunakan sebagai dasar dari sealant serta fungsi utama untuk meningkatkan ketahanan korosi (Yerokhin, 2005).



Gambar 2.7 Lapisan Oksida yang Terbentuk Dari Proses PEO Pada Aluminium (A) Morfologi Permukaan (B) Morfologi Melintang

(Sumber : Kumar dkk., 2014)

Modulus elastisitas dan kekerasan lapisan PEO ditemukan lebih tinggi dibandingkan paduan aluminium 6082 yang di hard

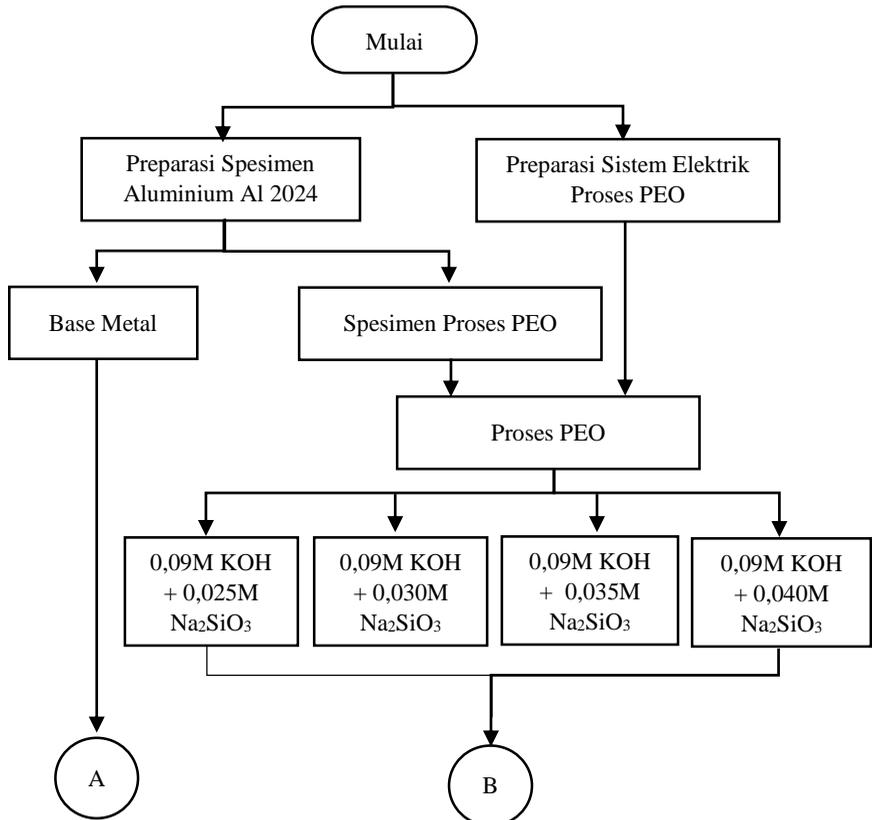


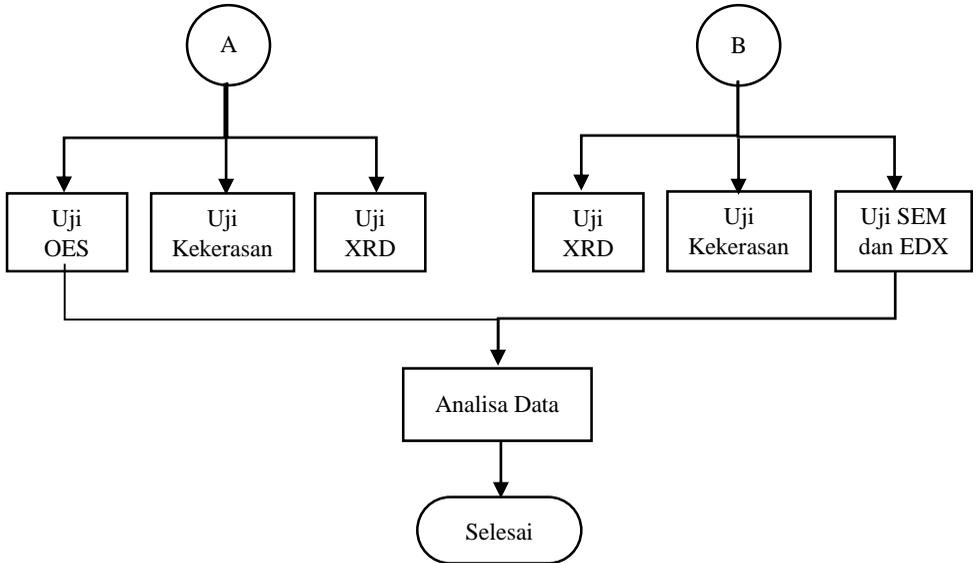
anodizing. Fasa kristalin pada lapisan menghasilkan kekerasan yang tinggi dibandingkan oksida amorfus pada anodizing konvensional. Beberapa studi melaporkan kekerasan lapisan PEO pada aluminium bervariasi dari 900 hingga 2000 HV (Snizhko,2003).

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Metode ini mengacu pada buku – buku dan jurnal, informasi dan penelitian dari situs yang mempelajari permasalahan ketahanan aus/abrasi, lapisan oksida Al_2O_3 , metode rekayasa permukaan *plasma electrolytic oxidation* (PEO), dan pengaruh elektrolit pada proses pelapisan aluminium.

2. Diskusi

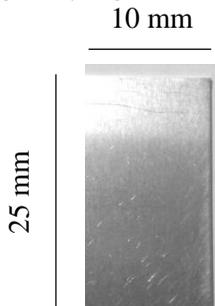
Pada tahapan ini dilakukan diskusi untuk menambah wawasan agar lebih memahami permasalahan dan solusi pada penelitian. Diskusi ini dilakukan dengan pihak – pihak terkait dengan penelitian.

3. Eksperimen

Metode ini dilakukan melalui proses percobaan sesuai prosedur dan analisa dari hasil pengujian OES, XRD, SEM, dan kekerasan permukaan.

3.3 Preparasi Substrat dan Larutan Elektrolit

Dalam penelitian ini digunakan substrat berupa paduan aluminium seri Al 2024. Paduan ini dipilih karena merupakan material yang sering digunakan dalam struktur satelit dan aplikasi aerospace lainnya. Komposisi unsur paduan pada Al 2024 dalam persen adalah sebagai berikut :3,8-4,9 Cu, 0,3 – 0,9 Mn,0,max 0,15 Cr, max 0,25 Zn, max 0,5 Mg, Max 0,5 Fe, Max 0,15Ti. Substrat dipotong menjadi balok tipis menggunakan gergaji mesin dengan ukuran permukaan 25 mm x 10 mm dengan ketebalan 3,5mm, seperti pada gambar 3.2. Setelah substrat dipotong, substrat dibersihkan dari kotoran (*oil,gram* dan debu) menggunakan detergen hingga bersih. Melakukan pengamplasan hingga *grade* 1200 pada permukaan substrat agar setiap substrat memiliki kekasaran awal yang homogen. Tahapan akhir adalah membersihkan permukaan spesimen dengan alkohol untuk menghilangkan pengotor yang tersisa.



Gambar 3.2 Material Substrat

Larutan elektrolit yang digunakan pada proses PEO untuk aluminium adalah larutan alkali. Larutan KOH + Na₂SiO₃ dipilih karena dalam penelitian sebelumnya larutan ini menunjukkan hasil

yang optimal untuk aplikasi peningkatan sifat mekanik untuk material aluminium. Untuk menemukan konsentrasi larutan yang optimal digunakan untuk proses PEO pada aluminium, konsentrasi larutan (Na_2SiO_3) menjadi variabel bebas atau variabel yang akan divariasikan dalam penelitian ini. Untuk konsentrasi KOH digunakan satu jumlah yang sama sebesar 0,09 M. Sedangkan untuk Na_2SiO_3 digunakan empat variasi konsentrasi 0,025M, 0,030M, 0,035M, dan 0,040M.

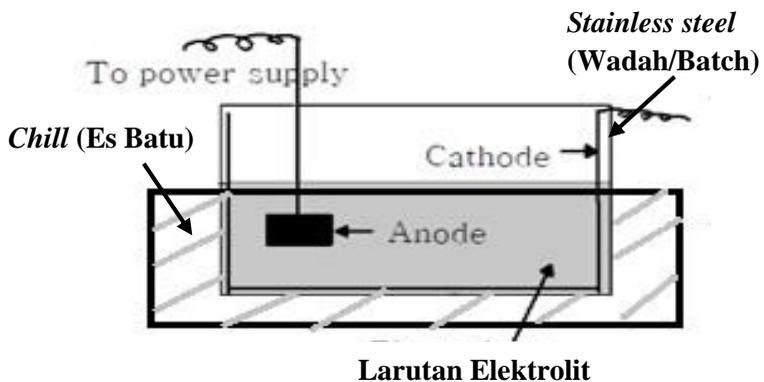
3.4 Proses Rekayasa Permukaan Menggunakan Metode PEO

Setelah melakukan preparasi substrat dan larutan elektrolit, dilakukan proses rekayasa permukaan menggunakan metode *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO). Proses PEO ini digunakan untuk menciptakan lapisan oksida Al_2O_3 pada substrat aluminium. Sumber tegangan berasal dari power supply DC merek LANGLOIS tipe Compak20. Spesifikasi power supply ini adalah mampu menghasilkan tegangan atau voltage maksimum 250V dan arus maksimum 8A. Untuk proses PEO yang dilakukan, tegangan yang digunakan sebesar 250 V dan arus 4A. Sehingga kerapatan arus yang digunakan sebesar $53,69 \text{ A/dm}^2$. Rangkaian elektrik yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Rangkaian Elektrik

Untuk membantu pengukuran elektrik, digunakan alat volt meter dan ampere meter. Dalam proses PEO menggunakan prinsip dasar anodising. Anoda berupa substrat itu sendiri (Al 2024) dan katoda yang digunakan berupa *stainless steel* yang juga digunakan sebagai wadah. Pada sistem diberikan pendingin untuk menjaga temperatur elektrolit kurang dari 30 °C. Hal ini bertujuan agar elektrolit tidak menguap dengan cepat akibat peningkatan temperatur akibat plasma. Proses dilakukan selama 30 menit. Skema rangkaian yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema Proses PEO

Reaksi elektrokimia yang diharapkan terbentuk yaitu :

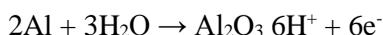
Anoda (Substrat aluminium) :



Diikuti dengan reaksi antara kation logam dengan ion oksigen :



Reaksi total dari oksidasi anodik aluminium :



Katoda (Wadah *stainless steel*) :



3.5 Karakterisasi

3.5.1 Pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES)

Pengujian OES dilakukan sebagai proses karakterisasi awal pada spesimen untuk memastikan kandungan unsur sesuai dengan standar yang ada. Pada emission spectroscopy, energi yang diperoleh dari atom yang mengemisikan radiasi elektromagnetik dikumpulkan dan dianalisis oleh spektrometer.. Emisi yang terbentuk pada frekuensi tertentu dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis unsur pada spesimen uji. Berdasarkan teori kuantum, elektron menempati level energi yang terendah saat kondisi normal (ground state). Namun, ketika atom diberi energi potensial dari luar maka elektron dapat tereksitasi keluar kulit menempati tingkat energi yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dinamakan kondisi tereksitasi. Elektron yang keluar ditangkap oleh detektor dan sistem komputer akan mengenalinya melalui konfigurasi energi dari elektronnya. Jadi unsur yang terdapat pada spesimen dapat diketahui baik secara kualitatif maupun kuantitatif.



Gambar 3.5 Alat Uji OES

Tahapan pengujian adalah membersihkan permukaan spesimen yang telah dipreparasi dengan alkohol untuk menghilangkan kotoran. Selanjutnya pengujian dilakukan pada tiga titik untuk mendapatkan hasil komposisi unsur rata-rata. Gambar alat uji OES yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.5

3.5.1 Pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk substrat dan hasil proses PEO. Data hasil XRD berupa grafik dengan puncak intensitas terhadap 2θ . Data XRD ini digunakan untuk perhitungan komposisi unsur dan senyawa. Pengujian XRD ini menggunakan alat merk Xper pro analytical yang ditunjukkan gambar 3.6. Mekanisme Pengamatan XRD yaitu X-Ray (sinar X) di tembakan dari X-Ray source ke sampel. Hasil dari tembakan akan dipantulkan menuju X-Ray detector untuk dikonversikan dalam bentuk kurva agar dapat dianalisis.



Gambar 3.6 Alat Uji X-Ray Diffraction (XRD)

3.5.2 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)

Alat uji SEM (Scanning Electron Microscopy) digunakan untuk mengetahui morfologi dari substrat. Pengujian pada SEM dilakukan pada sampel setelah proses PEO. Pengamatan morfologi dilakukan pada permukaan.



Gambar 3.7 Alat Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Langkah pengujian SEM dimulai dengan menyiapkan sampel yang akan diamati, yaitu empat sampel setelah proses PEO. Mengusap permukaan spesimen dengan kapas beralkohol untuk membersihkan dari kotoran yang tersisa. Selanjutnya merekatkan sampel yang akan diuji dengan menggunakan selotip karbon pada tempat sampel, hal ini dilakukan agar ketika pengamatan sampel tidak akan tergelincir saat proses vacuum. Setelah sampel siap, memasukkan sampel ke dalam alat pengujian SEM dan melakukan proses vacuum. Mengamati hasil gambar dari sampel dengan

mencari lokasi dengan perbesaran hingga 1000x. Tahapan terakhir pengujian SEM adalah mengambil gambar yang diinginkan setelah ditemukan yang sesuai.

3.5.3 Uji Kekerasan

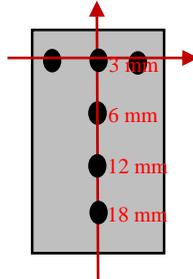
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan pada permukaan sampel yang telah mengalami proses PEO. Uji kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan *microhardness* Vickers. Tahapan pengujian ini adalah: meletakkan sampel (material) pada landasan yang telah tersedia. Kemudian mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar. Area peninjauan pada sampel ditentukan dengan memutar spindel mikrometer. Memberi beban sebesar 300 gf terhadap permukaan sampel selama 30 detik. Mengukur diameter jejak arah horisontal (d1) dan diameter jejak arah vertikal (d2). Nilai kekerasan secara otomatis muncul pada layar monitor.



Gambar 3.8 Alat Uji Kekerasan

Proses pengujian kekerasan dilakukan pada dua arah indentasi. Indentasi searah sumbu X (horisontal) dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata kekerasan maksimum. Indentasi searah

sumbu Y (vertikal) untuk mendapatkan data distribusi kekerasan pada permukaan. Rancangan indentasi dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Rancangan Titik Indentasi

3.6 Perancangan Pengujian

Rancangan pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut

Tabel 3.1 Rancangan Data Pengujian

Spesimen	OES	SEM	XRD	Hardness
Tanpa PEO	✓	-	✓	✓
PEO dengan elektrolit 0,09M KOH + 0,025M Na ₂ SiO ₃	-	✓	✓	✓
PEO dengan elektrolit 0,09M KOH + 0,030M Na ₂ SiO ₃	-	✓	✓	✓
PEO dengan elektrolit 0,09M KOH +	-	✓	✓	✓



0,035M Na ₂ SiO ₃				
PEO dengan elektrolit 0,09M KOH +0,040M Na ₂ SiO ₃	-	✓	✓	✓



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Awal

4.1.1 Komposisi Substrat

Karakterisasi pertama yang dilakukan berupa karakterisasi komposisi substrat aluminium atau *base metal* menggunakan alat uji *optical emission spectrometer (OES)*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian material yang digunakan dengan standar aluminium paduan Al 2024.

Karakterisasi dilakukan pada 3 (tiga) titik untuk mendapatkan hasil rata-rata. Dari hasil karakterisasi didapat komposisi unsur tertinggi berupa Aluminium (Al) dengan nilai rata-rata 93,9% dan tembaga (Cu) dengan nilai rata-rata 4,66% Hasil lengkap karakterisasi OES ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisa OES Pada Substrat Aluminium

Unsur	Rata-rata (Wt %)
Al	93,9 ± 0,01
Cu	4,66 ± 0,07
Si	0,206 ± 0,005
Fe	0,119 ± 0,003
Mn	0,540 ± 0,003
Mg	0,356 ± 0,083
Zn	0,0818 ± 0,003
Cr	0,0185 ± 0,0006
Ti	0,0180 ± 0,001

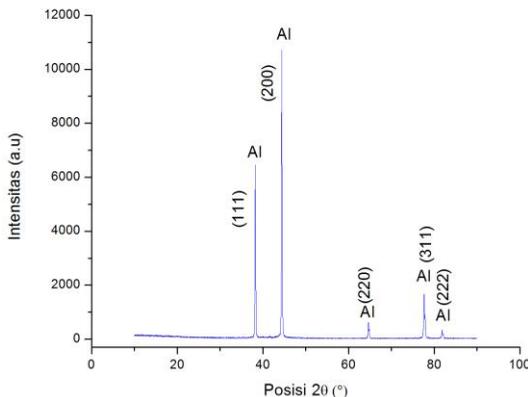
Dari data yang karakterisasi di atas, dapat disimpulkan bahwa substrat atau spesimen uji memiliki komposisi sesuai dengan standar Al 2024.

Tabel 4.2 Komposisi Al 2024
(ASM Al 2000 Series Data Base)

Unsur	Rata-rata
Al	90,7-94,7
Cu	3,8-4,9
Si	Max 0,5
Fe	Max 0,5
Mn	0,3 – 0,9
Mg	Max 0,5
Zn	Max 0,25
Cr	Max 0,1
Ti	Max 0,15

4.12 Analisa Senyawa

Untuk mengetahui senyawa yang terdapat pada substrat dilakukan karakterisasi menggunakan alat X-Ray Diffraction (XRD). Hasil karakterisasi dapat dilihat pada gambar 4.1 yang menunjukkan kandungan senyawa pada substrat atau sampel Al 2024.



Gambar 4.1 Hasil XRD Base Metal Al 2024

Pada analisa XRD didapatkan 5 peak utama yaitu pada 2θ $38,32^\circ$, $44,41^\circ$, $65,65^\circ$, $77,66^\circ$, dan $81,84^\circ$. Analisa menggunakan data JCPDS 00-004-0787 untuk aluminium didapat hasil 2θ $38,32^\circ$, $44,41^\circ$, $65,65^\circ$, $77,66^\circ$, dan $81,84^\circ$ secara berurutan adalah Al (111), Al(200), Al (220), Al(311), dan Al(222).

4.2 Analisa Hasil Proses *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO)

4.2.1 Pengamatan Visual

Pengamatan secara visual dilakukan pada proses PEO dengan waktu 30 menit untuk mengamati perubahan selama proses berlangsung. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan elektrolit terhadap intensitas *micro discharge* plasma dari setiap proses. Pengamatan terhadap proses dilakukan pada menit ke 5 dan ke 25. Pada menit ke 5 menunjukkan waktu awal *micro discharge* plasma terlihat jelas, sedangkan menit ke 25 menunjukkan intensitas *micro discharge* plasma tertinggi untuk setiap proses. Selain itu, juga terdapat perubahan warna *micro discharge* plasma dari berwarna putih menjadi kemerahan.

Tabel 4.3 Perubahan Intensitas Micro Discharge Plasma

	Konsentrasi larutan	Intensitas <i>micro discharge</i> plasma	
		Menit ke-5	Menit ke-25t
A	0,025 M Na_2SiO_3		

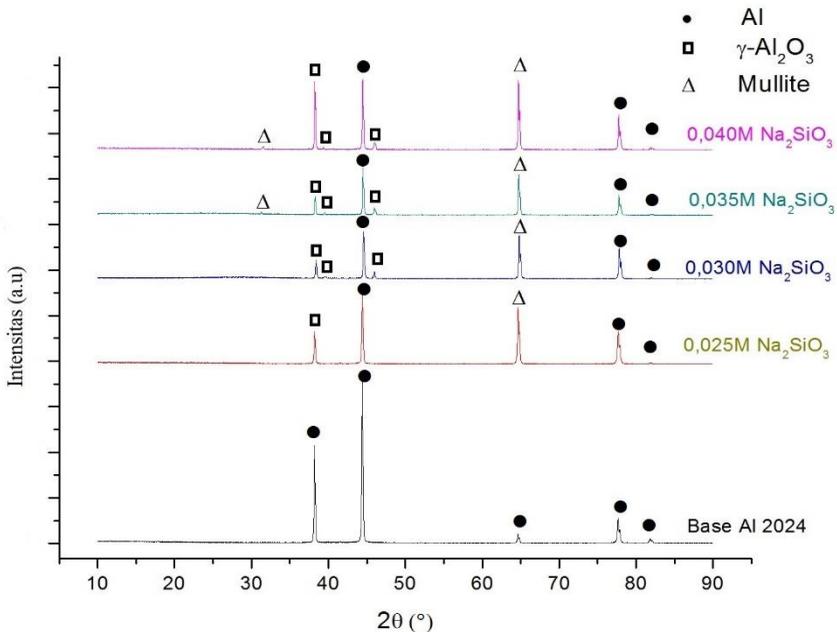
B	0,030 M Na_2SiO_3		
C	0,035 M Na_2SiO_3		
D	0,040 M Na_2SiO_3		

Dapat dilihat pada tabel 4.3, penambahan konsentrasi Na_2SiO_3 pada elektrolit menghasilkan spark awal (menit ke 5) yang semakin merata pada ujung spesimen. Pada menit ke 25 secara keseluruhan intensitas yang dihasilkan terlihat sama dan merata ke seluruh spesimen untuk setiap variasi.

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses dan hasil dari PEO adalah jenis dan konsentrasi elektrolit, waktu proses, dan faktor elektrik. Jenis dan konsentrasi elektrolit dapat mempengaruhi konduktivitas listrik dari proses PEO. Pada umumnya semakin tinggi konsentrasi elektrolit akan mempermudah proses ionisasi hingga pada batas tertentu. Semakin mudah terionisasi maka semakin cepat terbentuknya *initial* elektron yang memicu proses pemecahan (Ono, 2017). Ketika *initial* elektron terbentuk, maka plasma akan lebih mudah masuk dan menyebar ke

dalam batas butir material. Hal ini yang menyebabkan pada menit ke 5, proses dengan menggunakan konsentrasi Na_2SiO_3 lebih tinggi memiliki intensitas *micro discharge* plasma yang lebih merata.

4.2.2 Analisa XRD

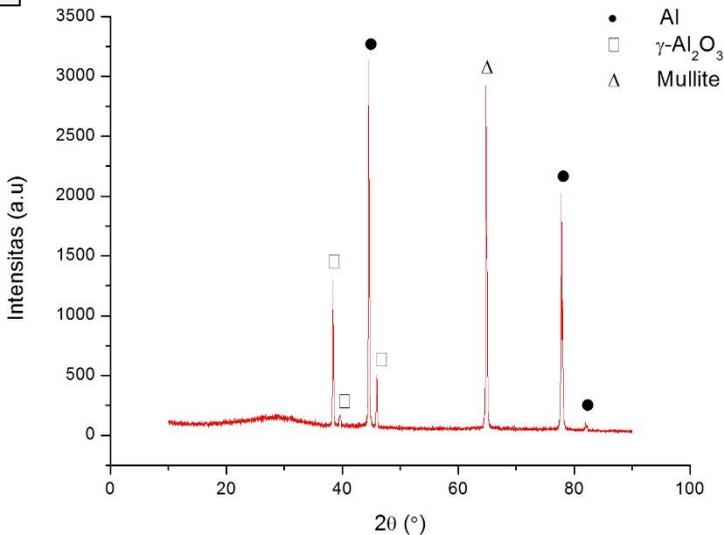


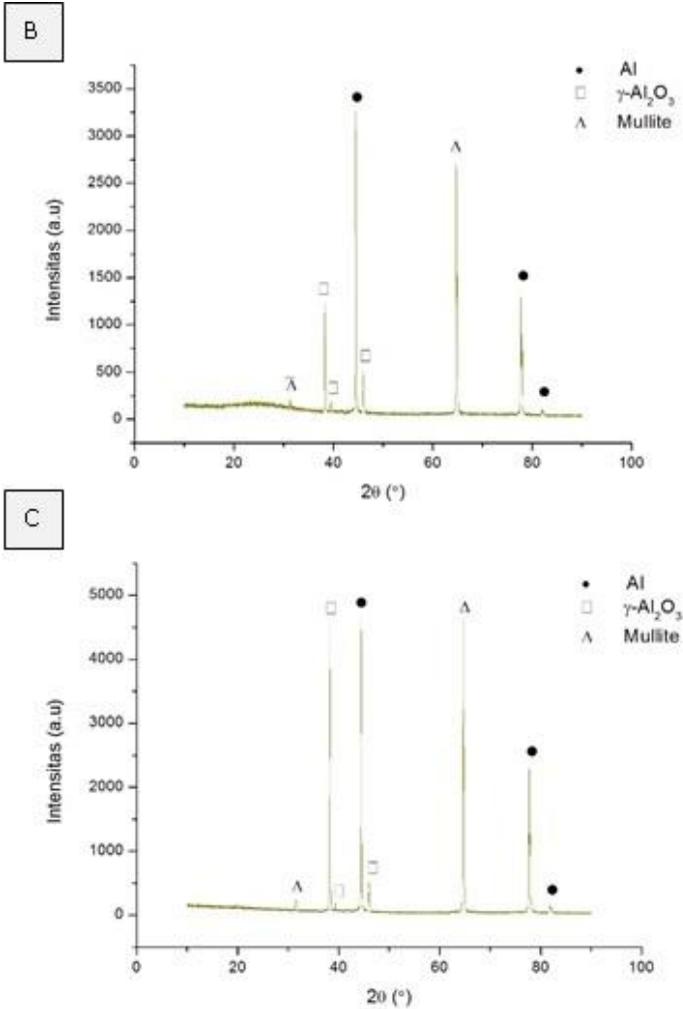
Gambar 4.2 Perbandingan Hasil XRD

Perbandingan hasil karakterisasi XRD setiap spesimen hasil proses PEO dengan base material Al 2024 pada gambar 4.2 menunjukkan beberapa peak pada posisi 2θ yang sama. Peak berbetuk runcing dan sempit yang menunjukkan kristalinitas yang tinggi pada senyawa yang terbentuk. Pada spesimen proses PEO dengan variasi konsentrasi elektrolit terbentuk senyawa baru berupa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$).

Adanya senyawa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ditunjukkan dengan pergeseran peak Al pada posisi 2θ $38,21^\circ$ pada seluruh spesimen PEO, dimana terjadi penurunan intensitas jika dibandingkan dengan peak Al pada base metal Al 2024. Pada spesimen PEO dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit 0,030 M, 0,035 M, dan 0,040M Na_2SiO_3 ditemukan lebih banyak peak $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Pada ketiga spesimen tersebut peak $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ditemukan pada posisi 2θ $39,43^\circ$ dan $45,97^\circ$.

A





Gambar 4.3 Hasil XRD Spesimen PEO Variasi Konsentrasi Na_2SiO_3 (A) 0,030 M, (B) 0,035 M, dan (C) 0,045M



Penurunan intensitas peak Al pada posisi 2θ $44,41^\circ$ juga menunjukkan adanya perubahan Al menjadi Al_2O_3 . Perubahan fasa atau senyawa dari proses *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) atau yang juga biasa disebut *Micro Arc Oxidation* (MAO) dapat ditunjukkan dengan penurunan intensitas peak base aluminium. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada gambar 4.2, dimana terjadi perubahan peak dari Al menjadi $\gamma-Al_2O_3$ pada posisi 2θ yang sama. (Zhang, 2013)

Pada konsentrasi 0,030M, 0,035M dan 0,040M peak $\gamma-Al_2O_3$ juga ditemukan pada posisi 2θ yang berdekatan dengan peak Al. Proses PEO merupakan proses pemecahan yang terjadi pada permukaan logam (aluminium) akibat intensitas *micro discharge* dari plasma yang dihasilkan selama proses. Peak alumina muncul berdekatan dengan peak aluminium akibat proses perubahan tersebut. Masih terdapatnya peak Al menandakan masih terdapat bagian permukaan yang belum terlapisi alumina secara sempurna (Zhu, 2016).

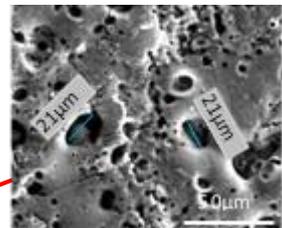
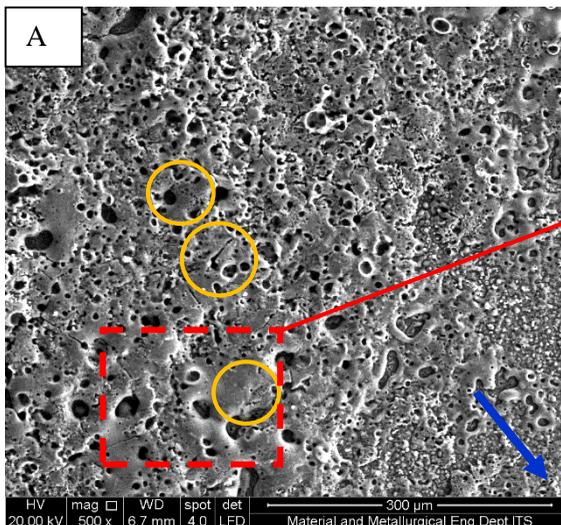
Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi Na_2SiO_3 pada larutan, secara umum menghasilkan intensitas *micro discharge* yang semakin tinggi dan merata. Seperti yang telah disebutkan, pembentukan alumina dipengaruhi intensitas *micro discharge* dari plasma yang dihasilkan selama proses. Hal ini yang mengakibatkan dapat ditemukan lebih banyak peak $\gamma-Al_2O_3$ seiring bertambahnya konsentrasi larutan.

Peak senyawa mullite ($Al_6Si_2O_{13}$) pada spesimen PEO berada pada posisi 2θ $64,79^\circ$ dan 2θ $31,25^\circ$ pada konsentrasi Na_2SiO_3 0,035M dan 0,004M. Pada umumnya mullite dapat dihasilkan melalui proses sintering Al_2O_3 dan SiO_2 , namun penggunaan larutan $KOH + Na_2SiO_3$ sebagai larutan elektrolit proses PEO dapat mengakibatkan reaksi antara Al_2O_3 dengan SiO_3^{2-} dari larutan. Ketika gas yang dihasilkan selama proses masuk ke dalam batas butir, SiO_3^{2-} dari elektrolit mengalami disosiasi menjadi atom Si ke dalam inti plasma. Plasma masuk ke dalam

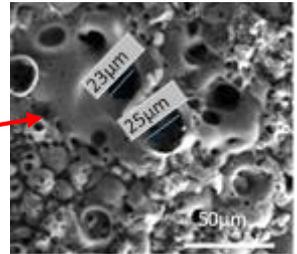
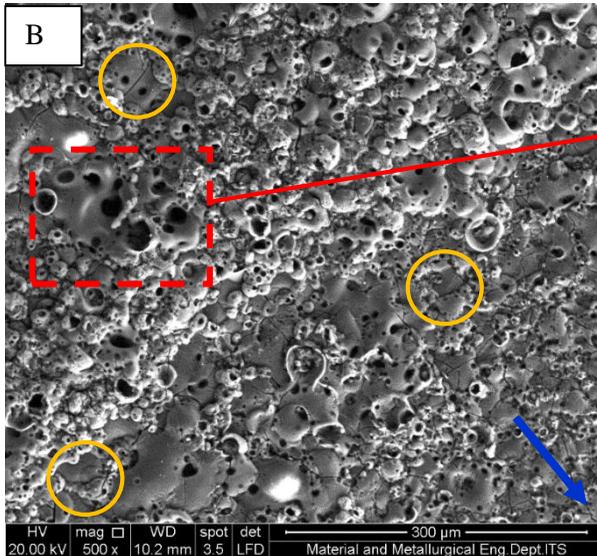
lapisan bawah membawa atom O dan Si. Setelah proses *discharge*, terjadi reaksi pembentukan kembali menjadi O^2 dan SiO_2 . Aluminium teroksidasi akibat reaksi dengan O^{2-} membentuk $\gamma-Al_2O_3$ dan bereaksi dengan SiO_2 membentuk mullite (Zhu, 2016). Kondisi ini menjelaskan bahwa reaksi Si dengan Al_2O_3 disebabkan difusi plasma selama proses PEO.

4.2.3 Analisa Morfologi

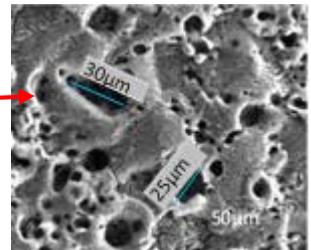
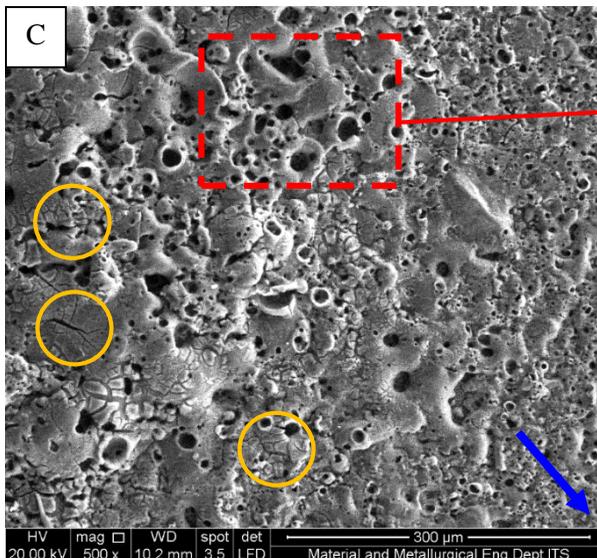
Untuk mengetahui morfologi lapisan alumina yang terbentuk pada proses PEO dilakukan karakterisasi menggunakan alat *Spectroscopy Electron Microscop* (SEM). Selain itu, karakterisasi EDX juga dilakukan untuk mengetahui unsur yang terdapat pada permukaan lapisan yang terbentuk.



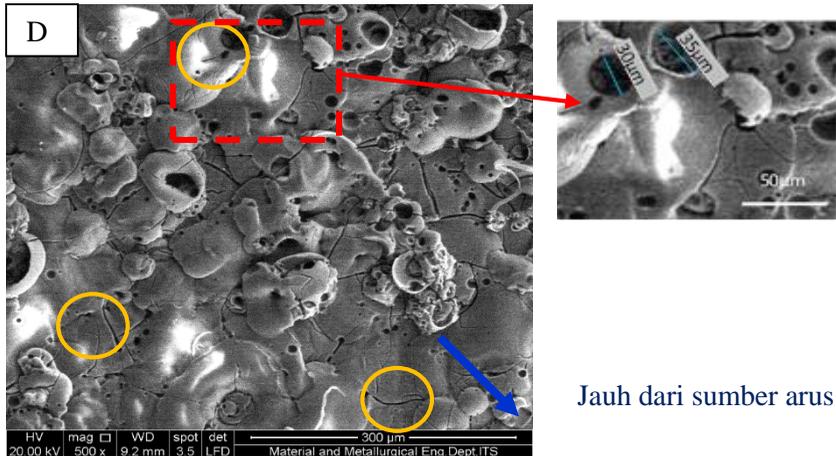
Jauh dari sumber arus



Jauh dari sumber arus



Jauh dari sumber arus

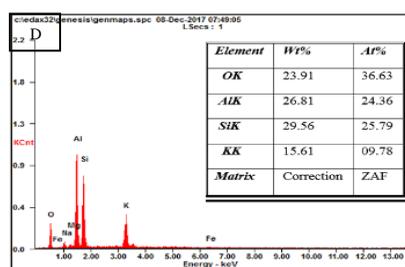
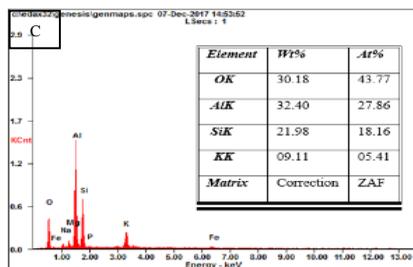
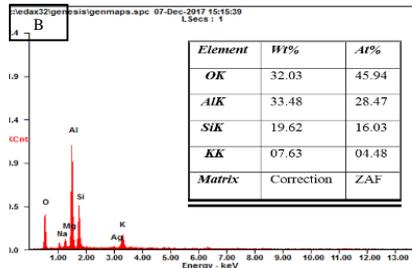
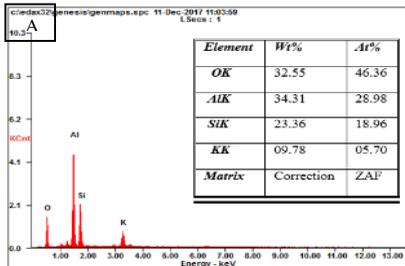


Gambar 4.4 Hasil SEM Morfologi Permukaan Spesimen PEO Dengan Variasi Na_2SiO_3 A)0,025M, B)0,030M, C)0,035M, dan D)0,040M Perbesaran 500x

Hasil morfologi yang didapat pada proses PEO menunjukkan morfologi alumina dengan jumlah *micropores* yang tinggi. Terlihat pada gambar 4.4, persebaran *micropores* lebih banyak pada daerah kiri yang merupakan daerah paling dekat dengan sumber arus. Panah biru menandakan daerah yang semakin menjauhi arus. Selain itu, semakin meningkatnya konsentrasi Na_2SiO_3 terbentuk ukuran butir yang semakin besar. Peningkatan konsentrasi elektrolit, meningkatkan intensitas *micro discharge* pada menit awal sehingga dapat meningkatkan ukuran *micropores*. (Ono,2016) Dari analisa, didapat rata-rata ukuran *micropores* terbesar dari setiap sampel A,B,C,D secara berurutan 21µm, 24µm, 27,5 µm, dan 32,5 µm..Selain itu juga ditemukan sejumlah *crack* (lingkaran kuning) pada beberapa bagian permukaan. Hal ini menunjukkan adanya kandungan mullite pada lapisan yang terbentuk. Mullite memiliki morfologi yang lebih rata namun rapuh bila dibandingkan dengan alumina. Pada proses PEO semakin



tinggi kandungan mullite akan menghasilkan *micro crack* pada lapisan (Wen,2010. Morfologi alumina ditunjukkan dengan bagian yang mengandung *micropores*. Proses pembentukan lapisan alumina dimulai dengan proses pemecahan dan pelelehan lapisan aluminium sehingga terbentuk lapisan alumina amorf (AAL). Pada kondisi awal akan terjadi migrasi ion pada anoda yang mengakibatkan proses pemecahan Al dan O^{2-} terbentuk pada daerah interface akibat discharge saat proses. Al^{3+} dan O^{2-} dibawa oleh *electrical migration (microdischarge plasma)* sehingga pembentukan Al_2O_3 beriringan dengan persebaran plasma pada permukaan spesimen mulai dasar pori hingga dinding pori (Zhu,2016). Kondisi yang menyebabkan morfologi alumina proses PEO berbentuk “gundukan” dengan *micropores*. (Wen,2010)



Gambar 4.5 Hasil Karakterisasi EDX (A) 0,025M, (B)0,030M, (C)0,035M, (D)0,040M

Dari hasil karakterisasi EDX dapat dilihat bahwa lapisan yang terbentuk didominasi unsur O dan Al dengan perbandingan $\pm 1,5$ serta Si. Hasil ini memperkuat analisa XRD sebelumnya bahwa proses PEO menghasilkan senyawa alumina dan mullite. Proses PEO menggunakan elektrolit $\text{KOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ menghasilkan morfologi permukaan dengan banyak *micropores* akibat pengaruh *discharge* yang terbentuk. Proses menghasilkan butir yang besar dan bentuk “gundukan” akibat adanya senyawa mullite (Wen,2010). Kondisi ini sesuai dengan hasil yang didapat pada sub bab 4.2.1 dan 4.2.2, yang menjelaskan tentang peningkatan intensitas *micro discharge* plasma seiring peningkatan konsentrasi dan terbentuknya senyawa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan mullite selama proses.

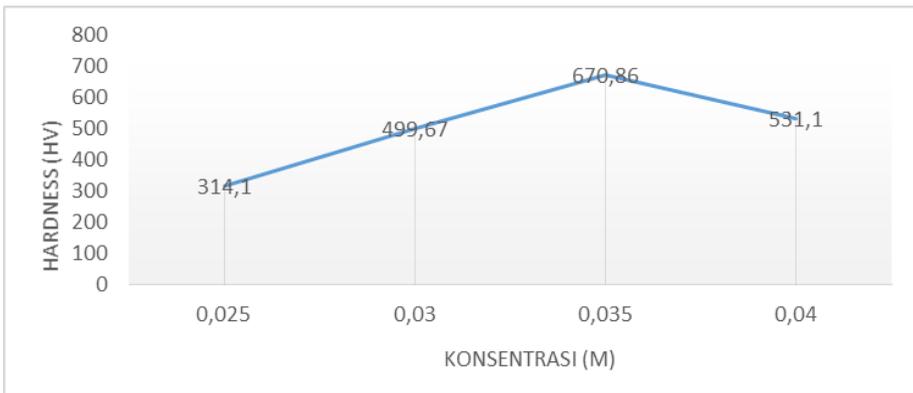
4.2.4 Pengaruh Terhadap Sifat Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji *microhardness vickers* dengan pembebanan 300gf. Indentasi dilakukan secara horisontal untuk mendapatkan rata-rata kekerasan maksimum. Selain itu dilakukan indentasi sepanjang garis vertikal untuk mendapatkan distribusi kekerasan disepanjang permukaan.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan

	Spesimen	Kekerasan (HV)
-	Base metal	$92,03 \pm 8,20$
A	0,025M Na_2SiO_3	$314,1 \pm 20,20$
B	0,030M Na_2SiO_3	$499,67 \pm 15,17$
C	0,035M Na_2SiO_3	$670,86 \pm 15,10$
D	0,040M Na_2SiO_3	$531,10 \pm 15,40$

Kekerasan permukaan yang dihasilkan pada proses PEO terhadap aluminium dapat mencapai 1200 HV. Kekerasan permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya porositas, kekasaran permukaan, dan fasa atau senyawa yang terbentuk (Snizhko, 2003). Dari tabel 4.4 dapat dilihat secara umum terjadi peningkatan kekerasan permukaan pada spesimen dengan proses PEO dibandingkan dengan base metal. Kekerasan permukaan tertinggi didapat pada spesimen dengan konsentrasi Na_2SiO_3 0,035 M. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kekerasan seiring penambahan konsentrasi Na_2SiO_3 pada elektrolit hingga konsentrasi 0,035M dan mengalami penurunan pada konsentrasi 0,040M.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kekerasan Permukaan Spesimen PEO

Senyawa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki densitas yang lebih tinggi dibanding $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sehingga memiliki kekerasan yang lebih tinggi (Zhang, 2013). Dari hasil karakterisasi XRD yang telah dilakukan, proses PEO dengan variasi konsentrasi menghasilkan kandungan

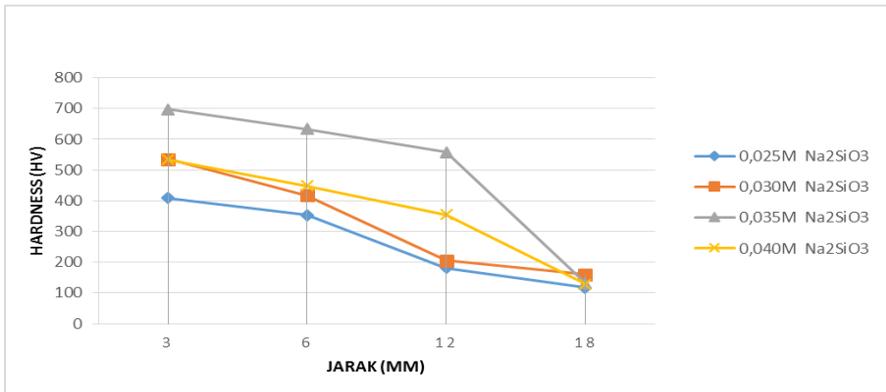
senyawa γ - Al_2O_3 dan mullite. Dengan dihasilkannya mullite pada proses PEO menggunakan larutan Na_2SiO_3 dapat memberikan peningkatan kekerasan permukaan, dikarenakan senyawa mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) memiliki densitas 6,7 kali lebih tinggi dibanding aluminium. Namun, penggunaan konsentrasi di atas 0,005M menghasilkan lapisan rapuh yang mudah rontok. Hal ini dapat menurunkan nilai kekerasan permukaan lapisan yang terbentuk (Zhu, 2016). Jika dibandingkan hal ini sesuai dengan hasil pada gambar 4.4, spesimen konsentrasi 0,040M memiliki morfologi permukaan dengan ukuran *micro pores* lebih besar dan retak yang lebih besar dan menyebar dibanding konsentrasi 0,035M yang disebabkan kandungan mullite. Sehingga 0,040M merupakan batas terjadinya penurunan nilai kekerasan pada penelitian ini.

Tabel 4.5 Data Distribusi Kekerasan Permukaan

	Spesimen	Nilai Kekerasan (HV) Pada Jarak			
		3mm	6mm	12mm	18mm
A	0,025M Na_2SiO_3	408,1	353,0	181,2	117,7
B	0,030M Na_2SiO_3	535,9	417,0	206,2	160,5
C	0,035M Na_2SiO_3	697,1	632,9	557,7	131,4
D	0,040M Na_2SiO_3	534,5	448,0	354,2	129,3

Indentasi sepanjang arah vertikal juga dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan permukaan. Indentasi dilakukan pada jarak 3mm hingga 18 mm dari ujung daerah pusat arus. Desain indentasi ditunjukkan seperti pada gambar 3.9. Dari hasil pada tabel 4.5, didapat nilai kekerasan permukaan tertinggi pada jarak 3mm untuk semua spesimen proses PEO. Semakin jauh jarak

dari pusat arus, maka kekerasan semakin turun. Kondisi ini menunjukkan distribusi lapisan alumina yang terbentuk kurang merata. Jika dilihat pada hasil analisa SEM, gambar 4.6 menunjukkan morfologi butir yang semakin kecil dan tipis pada daerah menjauhi sumber arus. Pertumbuhan lapisan alumina pada permukaan aluminium dipengaruhi oleh faktor elektrik, larutan elektrolit dan waktu. Berdasarkan fungsi waktu, tahapan proses PEO dibagi menjadi tahapan *formation* dan *continuous growth*. Tahapan *formation* merupakan tahap pembentukan *micro discharge* plasma dan tahap *continuous growth* merupakan tahap persebaran *micro discharge* untuk membentuk lapisan oksida (Jayaraj, 2017). Hal ini menunjukkan waktu *continuous growth* proses PEO yang dilakukan belum mencukupi untuk keseluruhan permukaan spesimen.



Gambar 4.7 Grafik Pola Distribusi Kekerasan Permukaan

Dari gambar 4.7, dapat dilakukan analisa terhadap pola distribusi kekerasan permukaan. Pada spesimen dengan konsentrasi elektrolit 0,035M dan 0,040M Na₂SiO₃, (C dan D) penurunan kekerasan secara signifikan terjadi pada jarak 18mm.



Untuk spesimen dengan konsentrasi elektrolit 0,025M dan 0,030M Na_2SiO_3 (A dan B), penurunan secara signifikan terjadi pada jarak 12mm. Hal ini mengindikasikan spesimen dengan konsentrasi C dan D memiliki persebaran lapisan alumina yang lebih merata dibanding konsentrasi A dan B. Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.2.1, konsentrasi Na_2SiO_3 yang lebih tinggi pada elektrolit akan mempermudah terbentuknya *initial* elektron untuk menghasilkan *micro discharge* plasma (Ono,2017). Kondisi ini mempersingkat tahapan *formation* dan mengoptimalkan tahapan *continous growth* pada proses PEO sehingga distribusi kekerasan permukaan lebih merata.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Hasil karakterisasi SEM/EDX dari spesimen PEO menunjukkan morfologi dengan jumlah *micropores* yang tinggi yang disebabkan intensitas *micro discharge* plasma. Lapisan yang terbentuk didominasi kandungan O, Al, dan Si. Dari analisa XRD didapat kandungan senyawa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). Peningkatan konsentrasi Na_2SiO_3 menghasilkan ukuran *micropores* yang semakin besar. Nilai ukuran *micropores* rata-rata yang didapat untuk spesimen dengan konsentrasi elektrolit 0,025 M, 0,030 M, 0,035 M, dan 0,040M secara berurutan adalah 21, 24, 27,5, dan 32,5 μm .
2. Berdasarkan pengujian *micro hardness vickers* proses PEO yang dilakukan memberikan kenaikan nilai kekerasan permukaan secara signifikan dibandingkan kondisi awal. Didapatkan nilai kekerasan permukaan maksimum senilai 670,86 HV, pada spesimen dengan konsentrasi larutan 0,035 M.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil-hasil yang didapatkan maka saran-saran yang dapat diambil, antara lain:

1. *Power supply* yang digunakan dalam proses *Plasma Electrolytic Oxidation* (PEO) sebaiknya memiliki spesifikasi tegangan tinggi dan pengaturan arus konstan. Hal ini akan mempermudah penyesuaian parameter elektrik dengan spesimen yang digunakan.



2. Kelengkapan peralatan K3 selama proses harus diperhatikan karena menggunakan listrik bertegangan tinggi.
3. Adanya studi lebih lanjut mengenai proses rekayasa permukaan menggunakan metode PEO dengan parameter dan variasi lainnya perlu dilakukan untuk mendapatkan sifat yang sesuai dalam berbagai aplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1994. **ASM Handbook of Surface Engineering**. ASM Internasional
- _____. 2004. **ASM Handbook of Aluminium 2000 Series**. ASM Internasional
- Asoh H., S. Matsuoka, H. Sayama, S. Ono. “Anodizing under sparking of AZ31 B magnesium alloy in Na₃PO₄ electrolyte”. **J.Jpn. Inst. Light Met.** 60 (2010) 608
- Auerkari, Pertti. 2006. “Mechanical and Physical Properties of Engineering Alumina Ceramics”. **Technical Research Center of Finland**
- Campbel, Flake C. 2006. **Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials**. Elsevier : USA
- Davis, J.R, dkk. 2001. **Surface Engineering For Corrosion and Wear Resistance**. ASM Internasional.
- Dynys, F.W., dan J.W. Halloran. 2002. “Alpha Alumina Formation in Alum Derived Gamma Alumina”. **Journal of American Ceramic Society** 65(2): 442-448
- Jayaraj, R.Kamal, dkk. 2017. “Optimizing The Micro-Arc Oxidation (MAO) Prameters To Attain Coating With Minium Porosity And Maximum Hardness On The Friction Stir Welded AA6061 Aluminium Alloy Welds”. **Defence Technology**, 111-117.
- Jiang, B.L. 2010. “Plasma Electrolytic Oxidation Treatment of Aluminium and Titanium Alloys”. **Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering** 2010: 110–154
- Henley V. 2002. **Anodic oxidation of aluminium and its alloys**. Pergamon Press. England
- Karaoglanli, A.C, E. Altuncu, I. Ozdemir, A. Turk, dan F. Ustel. 2011. “Structure and Durability Evaluation of YSZ + Al₂O₃ Composite TBCs with APS and HVOF Bond Coats



- Under Thermal Cycling Conditions”. **Surface & Coatings Technology** 205: S369–S373
- Kumar, M.S., dkk. 2014. “Plasma Electrolytic Oxidation in Surface Modification of Metals for Electronics”. **Journal of Welding and Joining** 32, 3:27-33
- Maciver, D.S., H. H. Tobin, dan R. T. Barth. 2003. “Catalyst Aluminas I. Surface Chemistry of Eta and Gamma Alumina”. **Journal of Catalyst** 2: 485-497
- Maini, Anil K., dkk. 2014. **Satellite Techonology**. John Wiley & Sons Ltd : UK
- Ono, Sachiko, dkk. 2016. “Effect of Electrolyte Concentration on the Structure and Corrosion Resistance of Anodic Films Formed on Magnesium Through Plasma Electrolytic Oxidation”. **Electrochimica Acta** 240: 415–423
- Patel J L., Saka N. 2001. “Microplasmic coatings”. **Am Ceram Soc Bull** 80 4 27–29.
- Polmear, Ian J. 2006. “Light Alloys From Traditional Alloys to Nanocrystals”. **Department of Materials Engineering, Monash University**, Australia
- Rahmawati, Zuliana Sari. 2010. “Pengaruh Ti Terhadap Ketahanan Korosi Pada Paduan Aluminium”. **Fakultas Teknologi Industri, Universitas Indonesia**
- Sheasby P.G., Pinner R. 2001. **The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys** Vol. 1 6th Ed. Finishing Publications Ltd. UK
- Snizhko L.O, dkk. 2003. “Anodic processes in plasma electrolytic oxidation of aluminium in alkaline solutions”. **Electrochimica Acta** 49 (2004) 2085–2095
- Wen, Lei, dkk. 2010. “Corrosion Evaluation Of Microarc Oxidation Coating Formed On 2024 Alumnum Alloy”. **Corrosion Science**, 2687-2696
- Yerokhin, dkk. 2005. “Alumina- zirconia coatings produced by Plasma Electrolytic Oxidation on Al alloy for corrosion resistance improvement” **Journal of Alloys and Compounds**



- Yao Z P, Jiang Y L, Jia F Z, Jiang Z H, Wang F P. 2008. "Growth characteristics of plasma electrolytic oxidation ceramic coatings on Ti-6al-4V alloy". **Applied Surface Science** 254 4084 – 4091
- Zhang, R.F, dkk. 2013. "Property Of Anodic Coating Obtained in An Organic Environmental Friendly Electrolyte On Aluminium Alloy 2024-T3". **Applied Surface Science**, 326-331.
- Zhu, Lujun, dkk. 2016. "A mechanism for the growth of a plasma electrolytic oxide coating on Al". **Electrochimica Acta** 27251



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

A. Perhitungan Molaritas Na_2SiO_3

$$M = \frac{\textit{massa}}{\textit{MrNa2SiO3} \times \textit{volume}}$$

1. $M = \frac{3,05 \text{ g}}{122 \times 1} = 0,025 \text{ M}$
2. $M = \frac{3,66 \text{ g}}{122 \times 1} = 0,030 \text{ M}$
3. $M = \frac{4,27 \text{ g}}{122 \times 1} = 0,035 \text{ M}$
4. $M = \frac{4,88 \text{ g}}{122 \times 1} = 0,040 \text{ M}$

B. Hasil Uji OES Substrat Al 2024

Unsur	Uji 1 (Wt %)	Uji 2 (Wt %)	Uji 3 (Wt %)	Rata-rata (Wt %)
Al	93,9	93,9	93,9	93,9
Cu	4,73	4,67	4,58	4,66
Si	0,211	0,207	0,201	0,206
Fe	0,122	0,116	0,117	0,119
Mn	0,537	0,542	0,539	0,540
Mg	0,274	0,354	0,439	0,356
Zn	0,0784	0,0837	0,0832	0,0818
Cr	0,0181	0,0184	0,0191	0,0185
Ti	0,0177	0,0192	0,0170	0,0180



C. Data JCPDS

1. Aluminium (JCPDS 004-0787)

Date: 12/22/2017 Time: 7:56:06 AM User: Teknik Material File: 00-004-0787 User: Teknik Material

Quality: Star (5)

Comments

Color: Light gray metallic
Creation Date: 2/12/2009
Modification Date: 2/11/2011
Additional Patterns: See PDF 01-089-1327
analysis: The chemical analysis (%): Si 0.0011, Cu 0.006, Fe 0.0009, Ti 0.0001, Zr 0.0003, Ga 0.0004, Mo 0.00006, S 0.00001. Al 99.99 (by difference). Color: Light gray metallic. General Comments: Mineral species of doubtful validity. Am. Mineral., 60 205 (1980). Sample Preparation: The material used for the XRD sample was a melting point standard sample of aluminum, prepared at NIST, Gaithersburg, Maryland, USA. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298.15 K in Cu K α radiation.

References

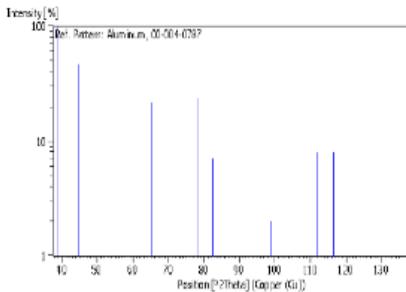
Primary reference: Shanon, Tazuo, *Natl. Bur. Stand. (U.S.)*, **68**, 11, (1958)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2 θ (deg)	I (%)
1	1	1	1	3.53500	39.473	100.0
2	2	0	0	3.53400	94.960	57.0
3	2	3	0	1.93100	65.135	32.0
4	3	1	1	1.52400	78.250	24.0
5	2	3	2	1.16900	60.489	7.0
6	4	0	0	1.02340	99.685	2.0
7	3	3	1	0.92890	112.096	8.0
8	4	2	0	0.90550	116.574	8.0
9	4	2	2	0.82660	127.462	8.0

Stick Pattern

Date: 12/22/2017 Time: 7:56:06 AM User: Teknik Material File: 00-004-0787 User: Teknik Material





2. Alumina(JCPDS 056-0457)

Date: 12/22/2017 Time: 6:07:02 AM User: Teknik Material File: 00-004-0207 User: Teknik Material
 Creation Date: 7/22/2015
 Modification Date: 3/12/2014
 Sample Preparation: Obtained from a one-shot calibration of deuterated boehmite at 873 K in air for 8 hours
 Unit Cell Data Source: Rietveld fit profile fit analysis.

References

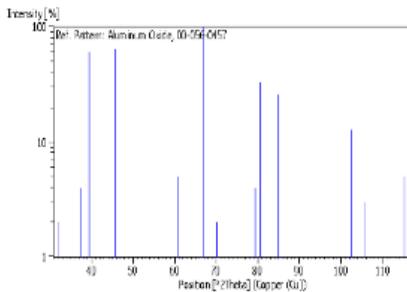
Primary reference: Zhou, R.-S., Snyder, R., *Acta Crystallogr., Sec. B: Struct. Sci.*, 47, 617, (1991)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2θ(hkl) [deg]	I [a.u.]
1	2	2	0	2.179500	81.973	2.0
2	3	3	1	2.181520	81.683	4.0
3	2	2	2	2.28960	80.427	80.0
4	4	0	0	1.97770	85.846	84.0
5	3	3	1	1.92480	89.252	4.0
6	4	2	2	1.62480	86.983	1.0
7	3	3	1	1.52240	89.793	5.0
8	4	4	0	1.34040	86.850	100.0
9	3	3	1	1.33750	89.387	2.0
10	4	4	2	1.15050	71.486	1.0
11	6	2	0	1.28080	76.627	1.0
12	5	5	3	1.10540	79.362	4.0
13	6	2	2	1.19260	89.466	31.0
14	4	4	4	1.14100	84.052	26.0
15	5	5	1	1.10970	88.139	1.0
16	6	4	2	1.05710	85.054	1.0
17	5	5	3	1.02980	86.824	1.0
18	0	0	0	0.89000	102.943	12.0
19	7	3	3	0.86640	105.905	1.0
20	8	3	3	0.82330	111.420	1.0
21	7	5	1	0.82340	114.907	5.0
22	6	6	2	0.80740	116.186	6.0

Stick Pattern

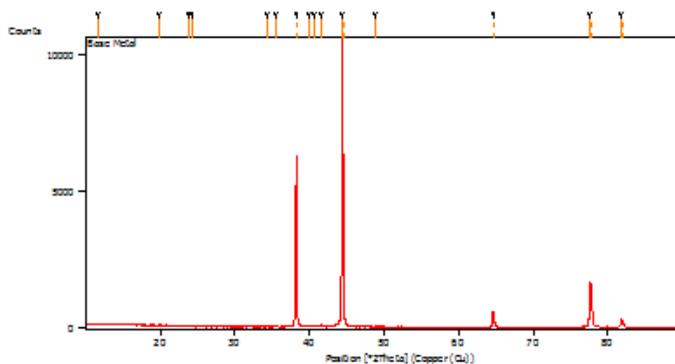
Date: 12/22/2017 Time: 6:07:02 AM User: Teknik Material File: 00-004-0207 User: Teknik Material





D. Hasil Uji XRD

1. Base Metal/Substrat Al 2024



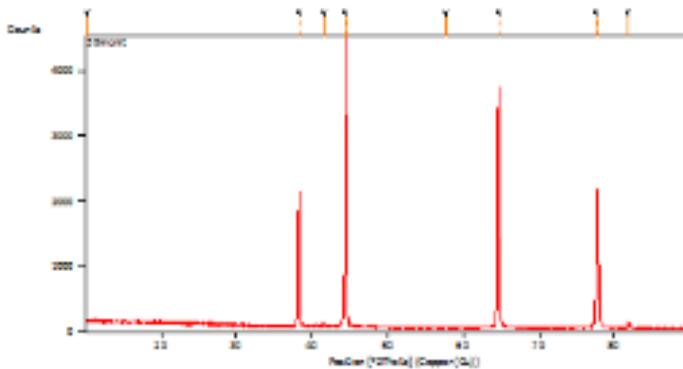
Peak-List: (Bookmark: 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM-Left [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.7258	18.14	0.1171	7.54722	0.17
19.9570	21.82	0.2007	4.44911	0.21
23.7432	5.64	0.2342	3.74753	0.05
24.2150	19.39	0.2007	3.67556	0.18
34.3948	10.56	0.4015	2.60747	0.10
35.4700	9.13	0.4015	2.53086	0.09
38.2124	6241.55	0.1020	2.35335	59.43
38.3276	3103.15	0.0612	2.35237	29.55
39.8818	33.47	0.3264	2.25861	0.32
40.6556	42.68	0.2040	2.21738	0.41
41.5308	40.65	0.3264	2.17266	0.39
44.4082	10501.48	0.1020	2.03833	100.00
44.5406	5114.10	0.0612	2.03763	48.70
48.8489	8.79	0.1428	1.86291	0.08
65.6570	582.53	0.1224	1.44042	5.55
66.8366	326.57	0.0816	1.44044	3.11
77.6607	1614.63	0.1632	1.22851	15.38
77.9097	827.39	0.1020	1.22825	7.88
81.8408	286.08	0.1224	1.17601	2.72
82.1175	123.80	0.1224	1.17566	1.18



2. Konstrasi Larutan 0,025M

Teknik Material dan Metalurgi → Page 2 → 1/9/2019



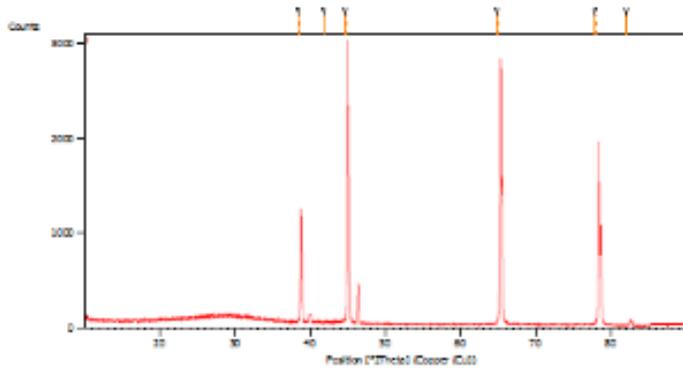
* Peak List: (Bookmark 3)

Pos. (°2Th)	Height (cts)	FWHM (°2Th)	d-spacing (Å)	Rel. Int. (%)
10.2607	9.18	0.4013	8.62135	0.20
38.2037	1999.75	0.1428	2.35387	44.83
38.3298	1173.33	0.0816	2.35225	26.30
41.5805	33.12	0.2448	2.17017	0.74
44.4137	4460.88	0.1224	2.03809	100.00
44.5475	2361.45	0.0612	2.03733	50.70
57.8258	8.85	0.4896	1.59025	0.20
64.6538	3622.80	0.1428	1.44049	81.21
64.8568	1930.18	0.1020	1.44004	43.27
77.6734	2137.00	0.1428	1.22835	47.91
77.9123	1183.80	0.1224	1.22822	26.54
81.8479	74.64	0.1224	1.17593	1.67



3. Konsentrasi Larutan 0,030 M

Teknik Material dan Metalurgi → Page 2 → 1/9/2018



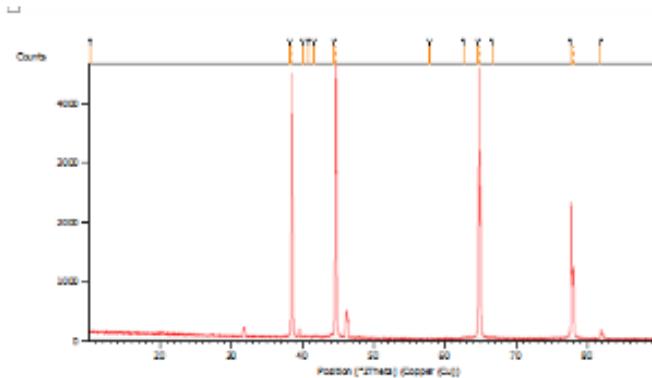
Peak-List: (Bookmark 3)

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM [Leff [°2 θ]]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.384	1125.22	0.1020	2.34319	38.96
39.4971	711.30	0.0612	2.34240	5.26
41.7896	11.41	0.6528	2.15980	0.40
44.5740	2888.24	0.1224	2.09113	100.00
45.9705	1578.77	0.0612	2.09028	14.63
64.7927	2788.44	0.1224	1.43773	96.54
64.9906	1570.01	0.1224	1.43740	54.36
77.8016	1951.22	0.1428	1.22664	67.56
78.0409	1072.65	0.1020	1.22652	37.14
81.9627	64.07	0.1632	1.17457	2.22

Pattern-List: (Bookmark 4)



4. Konsentrasi 0,04 M



* Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [2Th.]	Height [cts]	FWHM [Leff]	[2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.2263	8.16		0.8029	8.65025	0.18
31.2419	4416.54		0.0816	2.35160	4.87
38.3552	2508.06		0.0612	2.35074	96.62
39.9840	17.05		0.4080	2.25307	4.37
40.7369	17.50		0.2448	2.21315	0.38
41.5569	27.19		0.2448	2.17135	0.59
44.4547	4506.21		0.0816	2.03631	98.58
45.5873	2420.78		0.0816	2.03560	13.96
57.8317	10.28		0.3264	1.59309	0.22
62.7282	13.85		0.6528	1.47999	0.30
64.6917	4571.22		0.1020	1.43973	100.00
64.8794	2533.84		0.1020	1.43959	55.43
66.6254	20.73		0.1224	1.40256	0.45
77.7239	2222.06		0.1428	1.22767	48.61
77.9734	1172.12		0.1224	1.22741	25.64
81.8895	132.98		0.1224	1.17543	2.91



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**





BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Alfreda Krisna Altama, merupakan anak pertama dari pasangan Nanang Krisbiantoro dan Erna Yuliasuti yang lahir di Tulungagung, 23 Juni 1996. Memiliki adik laki-laki bernama Billalva Krisna Albeta dan adik perempuan bernama Getta Krisna Nugrahani. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SD Negeri 4 Kampungdalem, Tulungagung, SMP Negeri 1 Tulungagung dan di SMA Negeri 1 Boyolangu, Tulungagung.

Kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS pada tahun 2014.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) ITS sebagai staff Departemen Perekonomian (2015-2016). Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Fisika Terapan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (2015-2016). Selain itu penulis berkesempatan mengambil kerja praktek di PT Asian Isuzu Casting Center (AICC), Karawang. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Metalurgi dan Manufaktur

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 087798226373 atau 081217757321, dan bisa hubungi di alamat email freda.krisna@gmail.com .



**Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material
FTI - ITS**

