

**SKRIPSI**

**ANALISA PENGARUH TEGANGAN DAN  
KONSENTRASI LARUTAN TERHADAP PEMBENTUKAN  
*BURNED ANODIZING***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NURKHOFIFAH MARSING**

**D021 19 1016**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISA PENGARUH TEGANGAN DAN  
KONSENTRASI LARUTAN TERHADAP PEMBENTUKAN  
*BURNED ANODIZING***

Disusun dan diajukan oleh

Nurkhofifah Marsing

D021 19 1016

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program sarjana program studi teknik mesin fakultas teknik universitas hasanuddin pada tanggal 27 Desember 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Hairul Arsyad, ST, M.T  
NIP 19750322 200212 1 001



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T  
NIP 19740415 199903 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT  
NIP 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Nurkhofifah Marsing

NIM : D021 19 1016

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Analisa Pengaruh Tegangan dan Konsentrasi larutan Terhadap Pembentukan  
Burned Anodizing*

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 27 Desember 2023

Yang menyatakan



*Nurkhofifah Marsing*

Nurkhofifah Marsing

## ABSTRAK

NURKHOFIFAH MARSING (D021191016). *Analisa pengaruh tegangan dan konsentrasi larutan pada pembentukan burned anodizing*. (dibimbing oleh Dr. Hairul Arsyad, ST., MT dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT)

Proses inovatif dalam konversi permukaan aluminium melibatkan metode elektrokimia, khususnya anodisasi. Anodisasi adalah proses elektrokimia yang menghasilkan lapisan oksida anodik dengan berbagai sifat fisik dan kimia, seperti ketahanan korosi, kekerasan, keterbasahan, adhesi, isolasi, dielektrik, dan pendaran. Penelitian ini membahas hubungan kondisi pembentukan lapisan aluminium oksida dengan tegangan tertentu, mekanisme pertumbuhan lapisan oksida aluminium yang porous, dan fenomena pembakaran lokal selama anodisasi. Burning dan retak pada hasil anodisasi dapat disebabkan oleh distribusi medan listrik yang tidak homogen di bagian dasar pori, memicu local electrical breakdown. Tegangan yang diterapkan dalam proses anodisasi memiliki dampak signifikan terhadap pembentukan *burned anodizing*. Tegangan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *overheating* dan reaksi yang tidak diinginkan pada permukaan aluminium foil menghasilkan *burned anodizing*. Pada hasil proses *anodizing* konsentrasi larutan juga sangat penting. Konsentrasi yang tinggi dapat meningkatkan terbentuknya lapisan *burn anodizing*, karena reaksi kimia yang terlalu kuat dan tidak terkontrol. Hasil pengujian foto mikro dan makro lapisan permukaan aluminium foil hasil *anodizing*, pada struktur makro menunjukkan kemunculan pori-pori dipermukaan aluminium foil, sedangkan pada struktur mikro menunjukkan perubahan struktur dan pori-pori. Komposisi kimia pada *burn anodizing* dapat dilihat pada pengujian EDS dimana unsur yang terbentuk yaitu O, AL, Mo, B, Mg, Si, Fe, dan Y. Terdapat tiga massa unsur yang sangat berpengaruh pada aluminium foil pada pembentukan *burn anodizing* yaitu massa unsur O sebesar 29.45%, massa unsur AL sebesar 47.50%, dan massa unsur Mo sebesar 17.20%. Hasil pengujian kekasaran permukaan yang telah dilakukan disimpulkan bahwa proses *anodizing* dapat menaikkan dan menurunkan nilai kekasaran permukaan. Hal ini disebabkan karena adanya proses oksidasi pada permukaan aluminium foil yang menimbulkan pori-pori dan rongga-rongga yang tak beraturan pada permukaan aluminium foil sehingga permukaan menjadi kasar. Kekasaran permukaan *burn anodizing* tertinggi terdapat pada tegangan 16 volt dengan nilai kekasaran  $4.085 \mu m$  pada konsentrasi 2 molar.

Kata kunci : Aluminium Foil, Anodisasi, Tegangan, Konsentrasi Larutan, *Burned Anodizing*

## ABSTRACT

NURKHOFIFAH MARSING (D021191016). Analysis of the effect of stress and solution concentration on the formation of burned anodizing. (supervised by Dr. Hairul Arsyad, ST., MT and Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT)

The innovative process in aluminum surface conversion involves electrochemical methods, specifically anodization. Anodization is an electrochemical process that produces an anodic oxide layer with a variety of physical and chemical properties, such as corrosion resistance, hardness, wettability, adhesion, insulation, dielectric, and luminescence. This research discusses the relationship between the conditions for the formation of an aluminum oxide layer with a certain stress, the growth mechanism of a porous aluminum oxide layer, and local burning phenomena during anodization. Burning and cracking in anodization results can be caused by inhomogeneous electric field distribution at the bottom of the pore, triggering local electrical breakdown. The voltage applied in the anodizing process has a significant impact on the formation of the anodizing burn. Too high a voltage can cause overheating and undesirable reactions on the surface of the aluminum foil resulting in burned anodizing. In the results of the anodizing process, the concentration of the solution is also very important. High concentrations can increase the formation of an anodizing burn layer, because the chemical reaction is too strong and uncontrolled. The results of micro and macro photo testing of the surface layer of aluminum foil resulting from anodizing, the macro structure shows the appearance of pores on the surface of the aluminum foil, while the micro structure shows changes in structure and pores. The chemical composition of the anodizing burn can be seen in the EDS test where the elements formed are O, AL, Mo, B, Mg, Si, Fe, and Y. There are three mass elements that greatly influence aluminum foil in the formation of the anodizing burn, namely the mass of the element O of 29.45%, the mass of the AL element is 47.50%, and the mass of the Mo element is 17.20%. The results of the surface roughness tests that have been carried out conclude that the anodizing process can increase and decrease the surface roughness value. This is due to the oxidation process on the surface of the aluminum foil which creates irregular pores and cavities on the surface of the aluminum foil so that the surface becomes rough. The highest surface roughness of burn anodizing is at a voltage of 16 volts with a roughness value of 4,085  $\mu\text{m}$  at a concentration of 2 molar.

Keywords: Aluminum Foil, Anodizing, Voltage, Solution Concentration, Burned Anodizing

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Anodisasi.....	6
2.2 Klasifikasi <i>Anodizing</i> .....	7
2.3 Aluminium Foil.....	9
2.4 Asam Sulfat ( $H_2S_4$ ) .....	10
2.5 Proses <i>Anodizing</i> .....	11
2.6 Mekanisme dan Proses Pembentukan Lapisan Oksida Alumium .....	14
2.7 Faktor Yang Mempengaruhi Proses <i>Anodizing</i> .....	18
2.8 Tujuan Proses <i>Anodizing</i> .....	20
2.9 <i>Burned Anodizing</i> .....	21
2.10 Kekasaran Permukaan .....	23
2.11 Uji Metalograffi.....	25
2.12 Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	26
2.13 Uji <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS) .....	26
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Waktu Dan Tempat.....	28
3.2 Alat Dan Bahan .....	28

3.3.1	Alat Yang Digunakan .....	28
3.3.2	Bahan Penelitian.....	32
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.4	Prosedur Penelitian.....	36
3.4.1	Tahap Penelitian .....	36
3.4.2	Pelaksanaan Pengujian .....	39
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1	Foto Struktur Mikro dan Makro Hasil <i>Anodizing</i> .....	41
4.1.1	Foto struktur Mikro .....	41
4.1.2	Foto struktur Makro .....	44
4.2	Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Aluminium Foil <i>Anodizing</i> .....	47
4.3	Hasil Pengujian <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (EDS) .....	49
4.4	Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	51
BAB V	PENUTUP.....	54
5.1	Kesimpulan .....	54
5.2	Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA	.....	56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Rangkaian proses anodisasi.....	6
Gambar 2 Proses anodisasi.....	12
Gambar 3 Rangkaian proses <i>anodic oxidation</i> .....	13
Gambar 4 Beberapa parameter yang mempengaruhi diameter pori.....	15
Gambar 5 Ilustrasi transpor ion ke lapisan oksida .....	16
Gambar 6 Skema lapisan pori hasil anodisasi.....	17
Gambar 7 Tegangan dan arus yang terjadi pada pembentukan lapisan oksida <i>anodizin</i> .....	18
Gambar 8 Ilustrasi skema batas sel alumina untuk lapisan aluminium oxide yang tumbuh dibawah kondisi anodisasi konvensional .....	22
Gambar 9 <i>Power supply</i> .....	28
Gambar 10 Kabel penghubung.....	28
Gambar 11 Penjepit buaya .....	29
Gambar 12 <i>Multitester</i> digital .....	29
Gambar 13 Timbangan.....	29
Gambar 14 <i>Stopwatch</i> .....	30
Gambar 15 Penggaris .....	30
Gambar 16 Bak plastik.....	30
Gambar 17 Gelas ukur .....	31
Gambar 18 Sarung tangan.....	31
Gambar 19 Thermometer gun .....	31
Gambar 20 Mikroskop optik .....	32
Gambar 21 Alat pengujian <i>scanning electron microscope</i> (SEM) dan <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> .....	32
Gambar 22 Aluminium Foil .....	33
Gambar 23 Grafit .....	33
Gambar 24 Larutan Asam Sulfat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	33
Gambar 25 <i>Aquades</i> .....	34
Gambar 26 <i>Epoxy resin</i> dan <i>hardener</i> .....	34
Gambar 27 Natrium karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) .....	34



Gambar 28 <i>FlowChart</i> Penelitian .....	35
Gambar 29 spesimen dan desain cetakan.....	36
Gambar 30 Proses pencampuran.....	36
Gambar 31 Proses <i>cleaning</i> .....	37
Gambar 32 Proses <i>Anodizing</i> .....	38
Gambar 33 Ilustrasi Spesimen Aluminium Foil.....	38
Gambar 34 Pengujian foto mikrostruktur dan kekasaran permukaan.....	39
Gambar 35 Pengujian <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDS) dan <i>scanni</i> .40	
Gambar 36 Foto mikro permukaan aluminium foil non <i>anodizing</i> .....	41
Gambar 37 Foto mikro permukaan lapisan aluminium foil hasil anodisasi dengan variasi tegangan pada konsentrasi larutan elektrolit 2 Molar pembesaran 200 kali	42
Gambar 38 Foto mikro permukaan lapisan aluminium foil hasil anodisasi dengan konsentrasi larutan asam sulfat pada tegangan 16 volt pembesaran 200 kali .....	43
Gambar 39 foto makro permukaan aluminium foil hasil <i>anodizing</i> dengan variasi tegangan pada konsentrasi larutan elektrolit 2 molar.....	44
Gambar 40 Diagram hubungan variasi tegangan dengan nilai presentase luas area burn <i>anodizing</i> pada aluminium foil dengan konsentrasi larutan 2 molar dan 3 molar .....	46
Gambar 41 Diagram hubungan variasi tegangan dengan nilai kekasaran permukaan aluminium foil <i>Non burn anodizing</i> pada konsentrasi larutan 2 molar dan 3 molar .....	47
Gambar 42 Diagram hubungan variasi tegangan dengan nilai kekasaran permukaan aluminium foil <i>burn anodizing</i> pada konsentrasi larutan 2 molar dan 3 molar.....	48
Gambar 43 Presentase elemen unsur.....	51
Gambar 44 Foto SEM aluminium foil <i>anodizing</i> selama 60 menit dengan pembesaran 3000 kali.....	52
Gambar 45 Foto hasil SEM dengan perbesaran 350 kali dengan variasi teganga .53	

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 Luas area <i>burn anodizing</i> .....	46
---	----

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL**

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
Cu	Tembaga
Mg	Magnesium
Si	Silikon
Mn	Mangan
Zn	Seng/Zink
Ni	Nikel
°C	Temperatur
O	Oksigen
Al	Aluminium
Mo	Molibdenum
B	Boron
Fe	Besi
Y	Itrium

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran I Tabel dan grafik hasil pengujian

**Tabel A.1** Data pengujian kekasaran *burn anodizing* pada aluminium foil

**Tabel A.2** Data pengujian kekasaran *non burn anodizing* pada aluminium foil

**Tabel A.3** Hubungan variasi tegangan dengan temperatur larutan 2M

**Tabel A.4** Hubungan variasi tegangan dengan temperatur larutan 3M

**Tabel A.5** Luas area *burn anodizing*

**Gambar A.1** Struktur mikro sampel tanpa perlakuan (*non anodizing*)

**Gambar A.2** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 8 volt dengan konsentrasi 2 molar

**Gambar A.3** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 10 volt dengan konsentrasi 2 molar

**Gambar A.4** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 12 volt dengan konsentrasi 2 molar

**Gambar A.5** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 14 volt dengan konsentrasi 2 molar

**Gambar A.6** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 16 volt dengan konsentrasi 2 molar

**Gambar A.7** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 8 volt dengan konsentrasi 3 molar

**Gambar A.8** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 10 volt dengan konsentrasi 3 molar

**Gambar A.9** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 12 volt dengan konsentrasi 3 molar

**Gambar A.10** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 14 volt dengan konsentrasi 3 molar

**Gambar A.11** Struktur mikro aluminium foil pada tegangan 16 volt dengan konsentrasi 3 molar

**Gambar A.12** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *burn anodizing* (3000x)

**Gambar A.13** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *burn anodizing* (5000x)

**Gambar A.14** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *burn anodizing* (10000x)

**Gambar A.15** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *non burn anodizing* (3000x)

**Gambar A.16** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *non burn anodizing* (5000x)

**Gambar A.17** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) *non burn anodizing* (1000x)

**Gambar A.18** Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) batas *non burn anodizing* dan *burn anodizing*(30x)

**Gambar A.19** Foto makro permukaan aluminium foil hasil anodizing dengan variasi tegangan pada konsentrasi larutan elektrolit 3 molar (a) 8 volt, (b) 10 volt, (c) 12 volt, (d) 14 volt, dan (e) 16 volt.

**Gambar A.20** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 8 volt dengan konsentrasi 2 M

**Gambar A.21** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 10 volt dengan konsentrasi 2 M

**Gambar A.22** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 12 volt dengan konsentrasi 2 M

**Gambar A.23** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 14 volt dengan konsentrasi 2 M

**Gambar A.24** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 16 volt dengan konsentrasi 2 M

**Gambar A.25** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 8 volt dengan konsentrasi 3 M

**Gambar A.26** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 10 volt dengan konsentrasi 3 M

**Gambar A.27** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 12 volt dengan konsentrasi 3 M

**Gambar A.28** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 14 volt dengan konsentrasi 3 M

**Gambar A.29** Luas Permukaan aluminium foil hasil *anodizing* pada tegangan 16 volt dengan konsentrasi 3 M

**Gambae A.30** Hasil uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) *Burn anodizing* (senyawa)

**Gambar A.31** Hasil uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) *Burn anodizing* (unsur)

**Gambar A.32** Hasil uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) *Non burn anodizing* (senyawa)

**Gambar A.33** Hasil uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) *Non burn anodizing* (unsur)

**Tabel A.5** *Deskripsi Energy* ( $E_C$ ) Tegangan Emisi Minimum, persentase massa, persentase atom, dan persentase mol masing-masing unsur

**Gambar A.34** Grafik hubungan element dengan energy ( $E_C$ ) tegangan emisi minimum (keV)

**Gambar A.35** Grafik hubungan element dengan massa (%)

**Gambar A.36** Grafik hubungan element dengan atom (%)

**Gambar A.37** Grafik Hubungan Element dengan Mol (%)

**Gambar A.38** Rumus Pencampuran Larutan

## **Lampiran II Hasil pengujian korelasi**

**Gambar B.1** Proses pembuatan cetakan spesimen

**Gambar B.2** Proses pembersihan spesimen (*cleaning*)

**Gambar B.3** Proses pencampuran larutan sebelum dilakukan proses *anodizing*

**Gambar B.4** Proses *anodizing*

**Gambar B.5** Proses pengujian mikrostruktur dan kekasaran permukaan

**Gambar B.6** Proses pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISA PENGARUH TEGANGAN DAN KONSENTRASI LARUTAN PADA PEMBENTUKAN *BURNED ANODIZING*” Shalawat dan salam senantiasa kita haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia.

Skripsi ini adalah persyaratan untuk menyelesaikan studi di departemen Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat do'a dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Selain itu, dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa.

Tak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah ada dan hadir dalam kehidupan penulis baik yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis sehingga dapat melewati dan menyelesaikan segala suka dan duka Bersama. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT dan Dr. Eng. Lukamul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada peneliti sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT dan Bapak Rudi, ST., MT selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT, Selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewah penulis persembahkan

1. Sebagai ungkapan terimakasih, Skripsi ini penulis persembahkan kepada orang tua tercinta Bapak Marsing dan Ibu Wahida, yang selalu menjadi penyemangat penulis sebagai sandaran terkuat dari kerasnya dunia, yang tiada hentinya selalu memberikan kasih sayang, do'a dan motivasi dengan penuh keikhlasan yang tak terhingga kepada penulis. Terimakasih selalu berjuang untuk kehidupan penulis, iloveyou more.
2. Kepada kedua orang tua angkat Rahkmawati (Ummi) dan Alm. Suardi Nadjib ST (Abi), seseorang yang biasa saya sebut ABI, terimakasih sudah mengantarkan saya berada ditempat ini, meskipun pada akhirnya perjalanan ini harus saya lewati tanpa ABI. Untuk Ummi makasih untuk semua motivasi dan supportnya selama ini.
3. Kepada ketiga saudara kandung saya, Al fatjring Adi Yaksa, Megha Rahmawati Marsing dan Meghy Rahmiaty Marsing. Terimakasih atas segala do'a, usaha dan motivasi yang telah diberikan kepada adik terakhir ini. Dan kedua adik angkat saya, Khalisa Arma Arzzahrah dan Dhiyaurrahman Zain makasih menjadi semangat kaka untuk menyelesaikan penelitian ini.
4. Untuk saudara-saudari seperjuangan penulis BRUZHLEZZ 2019 dan TEKNIK 2019 yang sudah memberikan warna tersendiri bagi penulis baik dalam keadaan suka maupun duka selama menempuh perkuliahan yang tidak bisa dilupakan.
5. Seluruh teman-teman asisten Laboratorium Metalurgi Fisik dan Laboratorium Mesin Pemanas dan Pendingin, yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.
6. Seluruh kanda-kanda senior dan adinda sekaligus sahabat sekolah-kuliah yang memberikan dukungan serta support dalam melakukan penelitian.
7. Terimakasih untuk pemilik NIM D091191044 your are the best support system.

Demikian penulis ucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca maupun bagi peneliti.

Gowa, 27 Desember 2023

Peneliti



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Aluminium foil merupakan paduan aluminium yang dibuat dalam bentuk lembaran tipis. Ketebalan aluminium foil berkisar 0,2 mm dan mengandung sekitar 92% sampai 99% aluminium. Aluminium foil tersedia dalam berbagai ukuran dan karakteristik dan terutama digunakan untuk mengemas berbagai barang. Akan tetapi untuk aplikasi pada umumnya digunakan ketebalan sekitar 0,006 mm. Dalam aplikasi aluminium foil digunakan manufaktur insulasi, *fil stock* untuk penyejuk ruangan (AC) kumparan dan pembungkus kawat untuk *transformer*, kapasitor untuk radio dan televisi, produk dekorasi, permukaan rumah tangga, kontainer, serta pengemasan (Sipayung, 2008).

Salah satu metode inovatif yang digunakan dalam konversi permukaan aluminium adalah dengan proses elektrokimia yaitu anodisasi (Sidharta, 2014). Anodisasi adalah salah satu proses elektrokimia terpenting dari aluminium dan paduannya dan telah banyak digunakan untuk *finishing* permukaan. Anodisasi aluminium biasanya dicapai dengan oksidasi anodik elektrokimia menggunakan berbagai larutan yang melibatkan spesies elektrolit. Film oksida anodik termasuk penghalang dan film oksida berpori dapat dibentuk secara seragam pada substrat aluminium melalui proses *anodizing* khusus. Karena film aluminium oksida anodik memiliki berbagai macam sifat fisik dan kimia termasuk ketahanan korosi, kekerasan, keterbasahan, adhesi, isolasi, dielektrik, dan pendaran, proses anodisasi sangat berguna dalam berbagai bidang aplikasi aluminium industri dan paduannya untuk pesawat terbang, mobil, bangunan, dan elektronik (Kikuchi, 2015).

Proses pembentukan lapisan oksida berpori nano merupakan proses kompleks yang menghasilkan suatu susunan pori heksagonal terorganisir, struktur sarang lebah heksagonal ini telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Berbeda dengan pembentukan lapisan penghalang, yang disebutkan di bagian sebelumnya, yang berpori struktur terdiri dari lapisan oksida tipis tidak berpori dengan ketebalan konstan yang berdekatan dengan logam substrat yang terus beregenerasi di dasar pori saat dinding pori sedang dibuat, tembok ini bertambah tinggi seiring waktu.

Elektrolit tertentu, konsentrasinya, tegangan anodik dan temperatur bath merupakan parameter utama dalam menentukan ukuran pori dan jaraknya antara pori-pori (Poinern, 2011).

Proses *anodizing* mempunyai peranan yang penting dalam industri manufaktur, seperti industri mesin, perakitan kendaraan bermotor, industri pesawat terbang dan barang-barang logam lainnya. *Anodizing* dilakukan untuk mendapatkan lapisan oksida yang lebih tebal dan seragam pada permukaan aluminium. Beberapa penelitian dengan obyek penelitian *anodizing* telah dilakukan antara lain sebagai berikut. Shulgov dkk. (2006) melakukan penelelitian tentang hubungan kondisi pembentukan lapisan aluminium oksida dengan tegangan *breakdown*. Hasil dari peneletian ini menunjukkan bahwa besarnya tegangan *breakdown* tergantung pada larutan elektrolit pada saat proses *anodizing*. Vrublevsky dkk. (2007) melakukan penelitian tentang mekanisme pertumbuhan lapisan oksida aluminium yang porous dengan larutan elektrolit asam sulfat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa porositas yang dihasilkan dalam lapisan tidak dipengaruhi oleh besarnya tegangan *anodizing* tetapi lebih dipengaruhi oleh jenis material dari substrat.

Fenomena *burning* adalah suatu fenomena dimana pada permukaan sampel terjadi pemanasan lokal (*local heating*) yang diakibatkan karena berlebihnya rapat arus yang melewati suatu daerah tertentu pada permukaan sampel. Penyebab lain dari *burning* dan retak pada hasil anodisasi adalah karena agitasi yang dilakukan tidak cukup baik sehingga pada permukaan sampel terjadi pemanasan lokal pada bagian dasar pori sehingga menyebabkan distribusi medan listrik (*electrical field distribution*) yang tidak homogen di bagian tersebut. Hal ini menyebabkan terjadinya *local electrical breakdown* yang dapat memicu terjadinya retak dan *burning* pada lapisan oksida (Soedarsono, 2006).

Perkembangan fenomena pembakaran lokal selama anodisasi galvanostatik paduan aluminium AA1050 dalam elektrolit asam sulfat dianalisis oleh Garcia dkk. Oksida yang terbentuk selama pembakaran dikontrol dan dikarakterisasi pada waktu anodisasi yang berbeda. Gambar mikroskop elektron pemindaian emisi lapangan, mikroanalisis elektron, analisis *spektroskopi* sinar-X, dan pengukuran kekerasan mikro menunjukkan bahwa alumina anodik berpori (PAA) yang membentuk oksida memiliki struktur, komposisi, dan perilaku mekanis yang

berbeda dari PAA standar. Selain itu, Fe dan Si terdeteksi di bagian paling atas oksida, menunjukkan hubungan antara partikel intermetalik dan inisiasi pembakaran. (Garcia, 2010).

Menurut Ono (2004), daerah yang terbakar dari film lapisan aluminium *oxide* dengan retakan dapat dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu wilayah dalam, tengah dan luar. Dilihat oleh hasil SEM pada permukaan substrat aluminium setelah penghilangan lapisan aluminium *oxide*, urutan tertinggi yaitu sel yang tumbuh di tengah. Rasio ukuran sel tergantung pada wilayah semakin tinggi urutannya, maka semakin kecil sel yang terbentuk.

Menurut Aerts (2008). Dalam larutan asam sulfat, pembakaran dimulai dari awal anodisasi permukaan aluminium pada kerapatan arus tinggi meskipun momen inisiasi perilaku anodik tersebut tetap tidak jelas. Dengan variasi potensial selama *anodizing* pada rapat arus konstan. Ono (2004), Meneliti bahwa pada tegangan anodik yang lebih tinggi dari yang dibutuhkan untuk memberikan pertumbuhan film lapisan aluminium *oxide* yang stabil, terjadi aliran arus yang sangat tinggi disertai dengan evaluasi gas yang intens. Dalam kasus larutan asam organik, seperti asam oksalat dan malonat, yang disebut bercak terbakar berwarna hitam. Dalam larutan asam fosfat, pembakaran mengakibatkan kerapatan arus tiba-tiba meningkat, pertumbuhan film yang cepat, dan pembentukan bintik-bintik putih. Demikian pula, area pembakaran film asam sulfat tampak putih. Secara umum diketahui bahwa pembakaran dikaitkan dengan pembentukan area bersuhu tinggi di lokasi elektroda yang terpisah karena konsentrasi rapat arus yang sangat tinggi.

Berdasarkan uraian diatas, penulis bermaksud meneliti tentang parameter anodisasi yang dapat menghasilkan *burned anodizing* pada aluminium foil. Maka penelitian bermaksud meneliti dengan judul penelitian : **“ANALISA PENGARUH TEGANGAN DAN KONSENTRASI LARUTAN PADA PEMBENTUKAN *BURNED ANODIZING*”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh tegangan pada proses anodisasi terhadap terbentuknya *burned anodizing*?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi larutan terhadap terbentuknya *burned anodizing*?
3. Bagaimana pengaruh struktur makro dan mikro dari *burned anodizing*?
4. Bagaimana komposisi kimia dari *burned anodizing*?
5. Bagaimana kekasaran permukaan dari *burned anodizing*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai peneliti adalah:

1. Menganalisis pengaruh tegangan pada proses anodisasi terhadap terbentuknya *burned anodizing*.
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi larutan terhadap terbentuknya *burned anodizing*.
3. Menganalisis pengaruh struktur makro dan mikro dari *burned anodizing*.
4. Menganalisis komposisi kimia dari *burned anodizing*.
5. Menganalisis kekasaran permukaan dari *burned anodizing*.

### 1.4 Batasan Penelitian

Agar dalam penulisan penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Bahan yang digunakan adalah aluminium foil dengan ukuran 3 cm × 2 cm.
2. Variasi tegangan yang digunakan pada proses *anodizing* 8 volt, 10 volt, 12 volt, 14 volt dan 16 volt.
3. Jarak antar anoda dan katoda yaitu 5 cm.
4. Larutan elektrolisis asam sulfat dengan konsentrasi 2 M dan 3 M.
5. Pengujian material meliputi uji struktur mikro, uji kekasaran, uji *scanning electron microscope* (SEM) dan uji *energy dispersive x-ray spectroscopy* (EDS)

6. Mengukur temperatur larutan selama proses anodisasi

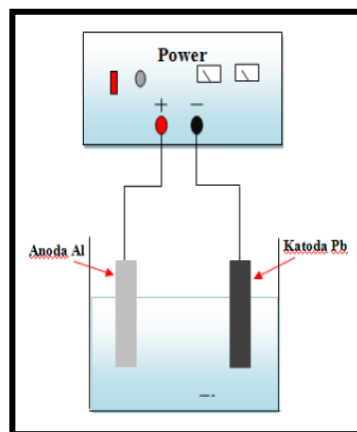
### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi teman-teman mahasiswa sebagai literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya, dan masyarakat pada umumnya menjadi pertimbangan dalam proses anodisasi untuk dapat menghindari cacat berupa *burning*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Anodisasi

*Anodizing* atau anodisasi merupakan suatu proses pembentukan lapisan oksida pada permukaan logam melalui proses elektrolisis didalam larutan elektrolit dengan cara mereaksikan logam yang diambil dari larutan elektrolit sebagai media (Taufik, 2011). *Anodizing* adalah proses pelapisan secara elektrokimia yang bertujuan untuk mempertebal atau memperkuat lapisan protektif alami pada logam. Melalui proses elektrokimia ini akan terbentuk lapisan oksida berpori yang memungkinkan untuk dilakukan proses sekunder yaitu pewarnaan. Proses *anodizing* ini dapat meningkatkan keandalan dari permukaan material serta dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Aluminium merupakan logam yang sering di *anodizing*. Logam *non-ferrous* lain yang biasa di *anodizing* adalah Magnesium dan Titanium (Fitrahuddin, 2009).



Gambar 1 Rangkaian proses anodisasi (sidharta, 2014)

Proses utama, dalam oksidasi anoda aluminium memerlukan larutan asam sulfat, asam kromat atau campuran asam sulfat dan asam oksalat. Selama proses oksidasi aluminium bertindak sebagai anoda sehingga terjadi perpindahan ion ke katoda menyebabkan pembentukan oksidasi pada permukaan aluminium. Pada permukaan aluminium sebelum dilakukan anodisasi sudah memiliki lapisan oksida yang terbentuk akibat reaksi terhadap udara sekitar, namun tingkat ketebalan lapisan yang terbentuk masih sangat tipis sehingga agar meningkatkannya di perlukan proses anodisasi. Adapun tujuan dari peningkatan ketebalan lapisan oksida

yaitu untuk meningkatkan daya tahan aluminium terhadap korosi, meningkatkan kekerasan permukaan sebagai alat untuk pelapisan lebih lanjut, memperbaiki penampilan, meningkatkan isolasi listrik, dan juga bisa meningkatkan adhesifitas sehingga lapisan yang ditempelkan bisa menempel lebih kuat karena terbentuk lapisan oksida yang berpori. (Taufik, 2011).

Anodisasi aluminium adalah metode elektrokimia untuk mengubah aluminium menjadi oksida aluminium ( $Al_2O_3$ ) pada permukaan yang akan dilapisi. Hal ini dapat dicapai dengan membuat benda kerja sebagai anoda yang kemudian dicelupkan dalam sel elektrolit yang sesuai. Walaupun sebagian logam dapat dianodisasi, termasuk aluminium, titanium dan magnesium, tetapi hanya aluminium yang banyak digunakan dalam industri anodisasi (ASM Handbook vol.2, 1980).

Proses elektrolisis merupakan peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Komponen yang terpenting dari proses elektrolisis adalah elektroda dan elektrolit. Pada proses elektrolisis, katoda merupakan kutub negatif (sebagai penghantar benda kerja) dan anoda merupakan kutub positif (benda kerja). Dari definisi tersebut diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrolisis yang merupakan peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Pada proses *anodizing* komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektroda dan elektrolit. Pada proses elektrolisis, katoda merupakan kutub negatif (-) dan anoda merupakan kutub positif (+). (Arifin, 2016)

## 2.2 Klasifikasi *Anodizing*

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah mengubah permukaan aluminium menjadi aluminium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda dalam elektrolisis.

Ada 2 jenis klasifikasi *anodizing* yaitu berdasarkan :

1. Jenis elektrolit yang digunakan

Berdasarkan spesifikasi dari MILA-8625, anodisasi dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan larutan yang dipakai, yaitu :

a. Tipe I

Menggunakan asam kromat sebagai elektrolit, akan menghasilkan lapisan oksida yang relatif tipis, fleksibel serta ketahanan terhadap korosi yang baik. Konsentrasi dari asam kromat yang digunakan berkisar antara 2% hingga 15%.

b. Tipe II

Menggunakan asam sulfat sebagai elektrolit, akan menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal dan relatif lebih baik dibandingkan dengan tipe I. Konsentrasi larutan yang digunakan antara 8 – 35% berat

c. Tipe III

Tipe ini juga menggunakan asam sulfat sebagai elektrolitnya, hanya saja temperatur operasinya lebih rendah antara -5 hingga +100C, dengan konsentrasi larutan yang digunakan antara 15 – 35% berat. Tipe ini juga dikenal sebagai hard anodizing. Lapisan oksida yang dihasilkan relatif lebih tebal dan lebih baik dibandingkan dengan tipe I dan tipe II, sehingga ketahanan korosi dan ketahanan ausnya juga lebih baik

2. Jenis sumber arus yang digunakan

Menurut Priyanto (2012), ada 2 jenis *anodizing* jika dilihat berdasarkan jenis sumber arus yang digunakan antara lain:

a. *Anodizing* arus AC

AC (*alternate current*) *anodizing* adalah anodisasi yang menggunakan arus bolak-balik. Proses pembentukan oksida pada AC *anodizing* lebih lambat daripada DC *anodizing* karena polaritas positif dan negatif *power supply* bergantian secara cepat. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan rendah. Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan aluminium foil. Apabila pembuatan aluminium foil dilakukan menggunakan DC *anodizing*, maka akan diperoleh hasil *anodizing* dengan kekerasan tinggi yang mengakibatkan aluminium foil akan patah jika ditekuk atau di rol. Apabila pembuatan



aluminium foil ini dilakukan dengan menggunakan AC *anodizing* maka akan diperoleh aluminium foil dengan sifat tahan tekuk dan rol.

b. Anodizing arus DC

DC (*direct current*) *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus searah. proses pembentukan oksida pada DC *anodizing* lebih cepat daripada AC *anodizing* karena polaritas positif *power supply* selalu berada pada benda kerja. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan tinggi.

### 2.3 Aluminium Foil

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi, hantaran listrik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb (Surdia, 1999: 129). Aluminium merupakan bahan yang tahan panas dan kedap terhadap udara sehingga membuat aluminium foil menjadi kemasan ideal untuk ekspor. Selain itu aluminium foil mudah dibentuk walaupun mudah berkerut. Ketahanannya terhadap panas matahari membuat aluminium foil banyak digunakan juga pada bahan-bahan kesehatan dan obat-obatan (Astawan, 2008).

Aluminium foil merupakan aluminium yang dibuat dalam bentuk lembaran tipis. Ketebalan aluminium foil berkisar 0,2 mm dan mengandung 92% sampai 99% aluminium. Aluminium foil banyak digunakan untuk keperluan industri, seperti pada pengepakan isolasi, dan transportasi. Aluminium foil memiliki sifat yang fleksibel, tidak tembus cahaya sehingga dapat digunakan untuk bahan-bahan yang peka terhadap cahaya. Aluminium foil juga dikagumi karena karakteristiknya yang kuat, ringan dan tahan terhadap suhu tinggi. Dengan ketipisan dan kelembutan propertinya memungkinkan aluminium jenis ini digunakan untuk membungkus suatu benda. Aluminium jenis foil ini mudah sekali rusak, terbakar, dan mudah untuk dihancurkan. Untuk aplikasi, umumnya foil ini dilapisi dengan material lain seperti plastic atau kertas untuk membuatnya lebih berguna.

Dalam aplikasinya, aluminium foil digunakan untuk me-manufaktur insulasi termal, *fil stock* untuk penyejuk ruangan (AC), Kumparan dan pembungkus kawat untuk transformer, kapasitor untuk radio dan televisi, produk dekorasi, penggunaan rumah tangga, container, serta pengemasan. Aluminium foil secara aplikasi tidaklah mahal, tahan lama, tidak beracun, dan tahan terhadap lemak pengotor.

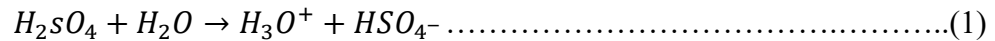
Aluminium sangat reaktif terhadap oksigen, dengan membentuk lapisan oksida dipermukaannya. Hal ini terjadi secara alami karena pengaruh reaksi energi bebas yang cukup tinggi untuk mengoksidasikan permukaan aluminium. Lapisan oksida yang terbentuk memiliki sifat yang lebih keras dari logam induk, dengan ketebalan antara  $1-30 \times 10^{-6}$  inci sampai dengan 3 mikron. Selain dapat terbentuk secara alami, lapisan oksida pada permukaan aluminium ini dapat juga dibentuk dengan proses elektrokimia yaitu proses *anodizing*. Lapisan oksida dihasilkan melalui proses ini memiliki ketebalan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida yang terbentuk dengan proses *anodizing* akan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

#### **2.4 Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ )**

Asam sulfat merupakan salah satu bahan penunjang yang sangat penting dan banyak dibutuhkan industri kimia, antara lain untuk industri pupuk (pembuatan super fosfat, ammonium sulfat), pengolahan minyak bumi, farmasi, kertas dan pulp. Mengingat arti pentingnya asam sulfat, maka kebutuhan negara dapat dijadikan tolak ukur kemajuan industri negara tersebut.

Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) merupakan asam mineral anorganik yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia. Asam sulfat murni yang tidak diencerkan tidak dapat ditemukan secara alami di bumi oleh karena sifatnya yang higroskopis. Asam sulfat 98% umumnya disebut sebagai asam sulfat pekat. Terdapat berbagai jenis konsentrasi asam sulfat yang digunakan untuk berbagai keperluan seperti kegunaan laboratorium, asam baterai, asam bilik atau asam pupuk, asam menara atau asam pekat. Mutu teknis  $H_2SO_4$  tidaklah murni dan seringkali berwarna. Mutu murni asam sulfat digunakan untuk membuat obat-obatan dan zat warna. (Arita, 2015)

Asam sulfat merupakan asam kuat, dimana sangatlah korosif. Asam ini larut dalam air pada semua jenis konsentrasinya. Saat ini asam ini dilarutkan dalam air, asam akan terionisasi, melepaskan ion hidrogen dan ion dari non logam ataupun ion non logam poliatomik. Sebagai contoh, asam sulfat dilarutkan dengan air, asam akan terionisasi membentuk ion hidrogen dan ion sulfat dengan reaksi sebagai berikut:



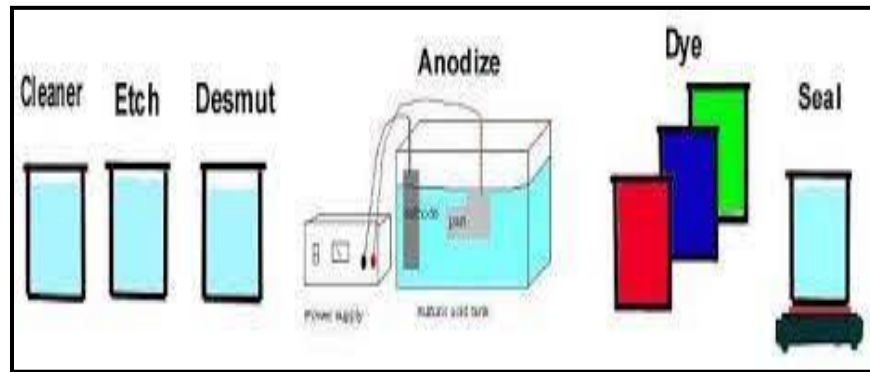
Dalam aplikasi anodisasi asam sulfat sering digunakan untuk menghasilkan berbagai jenis karakterisasi produk anodisasi. Lapisan anodisasi hasil asam sulfat memiliki karakteristik ketebalan dan kekerasan yang tinggi pada proses *hard coating* (temperatur 0 –1000C).

## 2.5 Proses *Anodizing*

Proses anodisasi aluminium dan paduannya dalam larutan air asam sulfat, fosfat, kromat, dan oksalat telah diselidiki secara luas sejak awal abad yang lalu. Aplikasi komersial pertama dari penggunaan proses ini dimulai pada tahun 1923. Karena kesederhanaannya dan biaya yang rendah, proses ini banyak digunakan untuk aluminium dan *finishing* permukaan paduannya selama lebih dari 50 tahun.

Proses *anodizing* prinsipnya hampir sama dengan proses pelapisan listrik (*elektroplating*), tetapi bedanya logam yang akan dilapisi ditempatkan sebagai anoda didalam larutan elektrolit. Perbedaan lain larutan elektrolit yang digunakan bersifat asam dan arus yang digunakan searah (DC) *direct current*. Proses utama, dalam *anodizing* aluminium memerlukan larutan asam sulfat, asam kromat atau campuran asam sulfat dan asam oksalat (Santhiarsa, N.N., 2010).

*Anodizing* atau oksida *anodic* merupakan proses elektrolisis yang dilakukan untuk menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal daripada lapisan yang terbentuk secara alami. Berikut adalah langkah-langkah proses *anodizing* pada aluminium:



Gambar 2 Proses anodisasi (Taufiq, T, 2011)

1. *Cleaning*

Proses *cleaning* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium dengan menggunakan larutan detergen murni untuk menghilangkan kotoran-kotaran yang menempel pada aluminium sebelum dilakukan proses *etching*. Detergen murni natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dengan konsentrasi larutan yang digunakan 50 gr/liter.

2. *Rinsing cleaning*

Proses *rinsing cleaning* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *cleaning* dengan menggunakan air *revers osmosis* (RO) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *etching*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya.

3. *Etching*

*Etching* (etsa) adalah proses menghilangkan lapisan oksida pada permukaan aluminium yang tidak dapat dihilangkan dengan proses sebelumnya baik itu proses *cleaning* atau *rinsing*. Selain itu, proses ini untuk memperoleh permukaan benda kerja yang lebih rata dan halus dengan menggunakan bahan soda api (NaOH) konsentrasi 100 gr/liter

4. *Rinsing Etching*

Proses *rinsing Etching* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *Etching* dengan menggunakan air *revers osmosis* (RO) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses desmut, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya

5. *Desmut*

Proses *desmut* adalah suatu proses yang berfungsi sebagai pembersihan bercak-bercak hitam yang diakibatkan oleh proses *etching*. Larutan yang

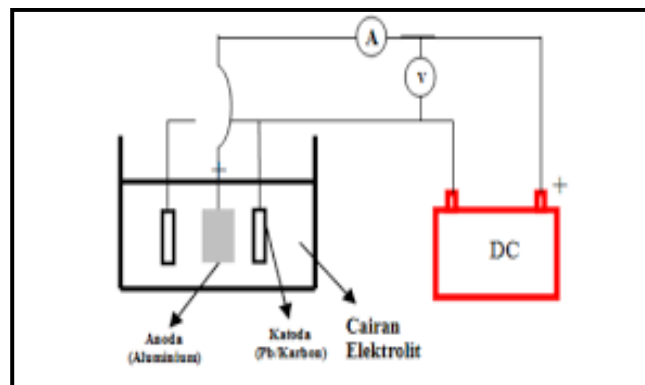
dipakai adalah Campuran dari asam phospat ( $H_3PO_4$ ) 75% ditambah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) 15% dan Asam Asetat ( $CH_3COOH$ ) 10%.

#### 6. *Rinsing Desmut*

Proses *rinsing Desmut* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses Desmut dengan menggunakan air *revers osmosis* (RO) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum di lakukan proses *anodizing*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya.

#### 7. *Anodizing*

Proses *anodic oxidation* adalah proses pelapisan secara elektrokimia yang merubah aluminium menjadi aluminium oksida dengan proses elektrolisis, larutan yang digunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan konsentrasi 400 ml/liter. Logam atau benda kerja dipasang pada anoda (+) dan sebagai katoda (-) dapat menggunakan lembaran Pb atau aluminium dan karbon. Rangkaian pada proses anodic oxidation yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3 Rangkaian proses *anodic oxidation* ( Priyanto, 2012)

#### 8. *Rinsing anodizing*

Proses *rinsing anodizing* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *anodizing* dengan menggunakan air *revers osmosis* (RO) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum di lakukan proses *coloring*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya

#### 9. *Coloring/dyeing*

Proses pewarnaan berfungsi sebagai pemberian warna pada pori-pori lapisan oksida yang terbentuk setelah *anodic oxidation*, sehingga dihasilkan

tampilan warna yang menarik pada lapisan oksida aluminium. Pewarna yang di gunakan adalah pewarna khusus *anodizing* dengan konsentrasi larutan 15 gr/liter.

#### 10. *Sealing*

Proses *sealing* berfungsi menutup pori-pori lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodic oxidation* yang masih terbuka. Lapisan yang telah ditutup dengan proses *sealing* untuk mencegah pewarna keluar dari pori-pori lapisan oksida atau pudar, pada proses *sealing* larutan yang digunakan adalah Asam Asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dengan konsentrasi 20 ml/liter. Setelah dilakukan proses *sealing*, maka struktur permukaan lapisan akan menjadi lebih halus dan rata.

#### 11. *Rinsing sealing*

Proses *rinsing sealing* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *sealing* dengan menggunakan air *revers osmosis* (RO) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium, sehingga tidak ada sisa bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium.

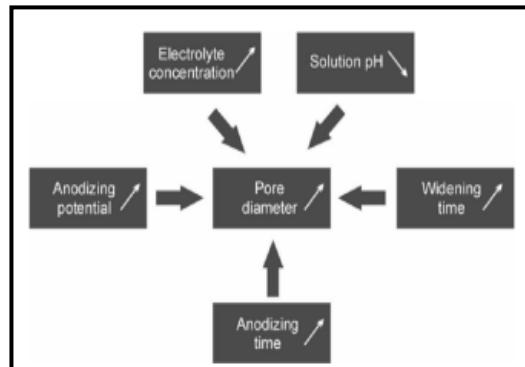
Pada proses anodisasi aluminium, logam aluminium digunakan sebagai anoda dengan cara menyambungkan logam aluminium tersebut dengan terminal positif sumber arus DC. Sedangkan katoda (material yang tidak bereaksi pada larutan anodisasi) disambungkan dengan terminal negatif sumber arus. Ketika sirkuit tertutup, elektron diambil dari logam pada terminal positif, menyebabkan ion-ion pada permukaan logam bereaksi dengan air membentuk lapisan oksida pada permukaan logam. Elektron kembali menuju bath pada katoda dimana bereaksi dengan ion hidrogen membentuk gas *hydrogen* (Purnama, 2012)

## 2.6 Mekanisme dan Proses Pembentukan Lapisan Oksida Aluminium

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan oksida aluminium, yaitu :

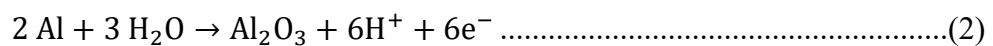
1. Konsentrasi larutan elektrolit
2. Waktu Anodisasi
3. Jenis dan Konsentrasi Larutan Elektrolit

4. Tegangan
5. Rapat Arus
6. Temperatur



Gambar 4 Beberapa parameter yang mempengaruhi diameter pori  
(Aluminium, 2003)

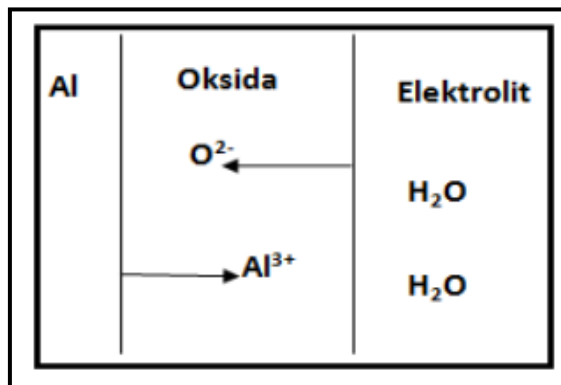
Dalam proses anodisasi, *barrier layer* merupakan lapisan yang pertama kali terbentuk dilanjutkan dengan lapisan *porous*. Pertumbuhan oksida terjadi pada persinggungan logam-oksida dengan oksida-elektrolit. Pertumbuhan ini terjadi karena gerakan ion-ion yang terjadi karena adanya pengaruh medan listrik. Pada persinggungan logam oksida, pertumbuhan terjadi karena adanya gerakan kedalam dari anion yang mengandung oksigen ( $\text{OH}^-$  dan  $\text{O}^{2-}$ ). Sedangkan pertumbuhan pada persinggungan oksida-elektrolit karena adanya gerakan keluar dari kation  $\text{Al}^{3+}$ . Reaksi pembentukan lapisan oksida pada aluminium sesuai dengan persamaan berikut:



Ketebalan *barrier layer* tergantung dari komposisi larutan elektrolit dan kondisi operasinya. *Barrier layer* merupakan lapisan *nonporous*, sedangkan *outer layer* merupakan lapisan mikro pori dan terbentuk pada struktur columnar. Saat *barrier layer* terbentuk, lapisan ini mulai bertransformasi menjadi struktur kristalin pada bagian luar *barrier* jika larutan elektrolit memiliki cukup kekuatan untuk melarutkan lapisan tersebut.

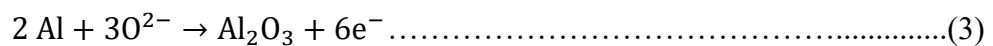
Logam aluminium pada sel anodisasi diposisikan sebagai anoda sehingga pada akhirnya logam inilah yang akan teroksidasi. Katoda yang digunakan adalah elektroda inert. Katoda dan anoda dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang bersifat asam maupun basa, hal ini dimaksudkan agar pH aluminium berada pada

daerah yang rentan terhadap proses oksidasi. Agar terjadi aliran arus pada sel percobaan, maka katoda dan anoda dihubungkan pada sumber arus searah (DC) yaitu *rectifier*, dimana aluminium dihubungkan dengan kutub positif dan katoda berupa elektroda inert dihubungkan pada kutub negatif. Pada saat *rectifier* diaktifkan, maka arus akan mengalir dari kutub positif dan hal ini akan menyebabkan terjadinya pelepasan elektron pada aluminium, yang menyebabkan aluminium teroksidasi dan berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Ilustrasi terjadinya lapisan oksida dapat dilihat pada gambar di bawah.

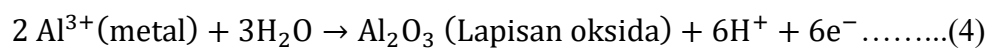


Gambar 5 Ilustrasi transpor ion ke lapisan oksida

Reaksi yang terjadi pada anoda : Reaksi pada logam/oksida :



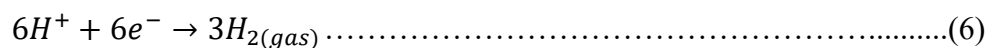
Reaksi pada oksida/elektrolit:



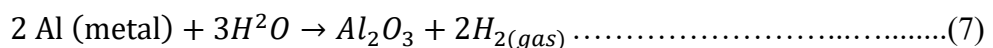
Total reaksi pada anoda:



Sedangkan reaksi yang terjadi pada katoda adalah:



Sehingga total reaksi yang terjadi pada proses anodisasi adalah:

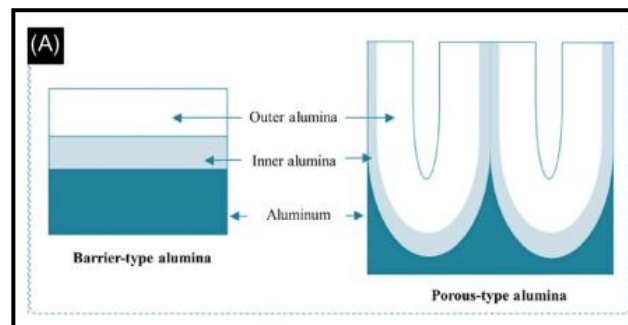


Lapisan oksida yang terbentuk dari proses ini akan meningkatkan ketahanan *abrasive*, kemampuan insulator elektrik logam, serta kemampuan untuk menyerap zat pewarna untuk menghasilkan variasi tampilan warna pada permukaan hasil *anodizing*. Aluminium serta paduan-paduannya mempunyai sifat tahan terhadap



korosi karena adanya lapisan oksida protektif. Tebal dari lapisan oksida sekitar  $0,005-0,01 \mu\text{m}$ , atau  $0,1-0,4 \times 10^{-6}$  inch atau  $0,25-1 \times 10^{-2}$  mikron. ( Juhl, 2005)

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang dianodisasi bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan mempunyai struktur yang porous atau berpori dengan bentuk struktur heksagonal, dengan pori yang terdapat di tengah. Seperti ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 6 Skema lapisan pori hasil anodisasi (Proenca, 2008)

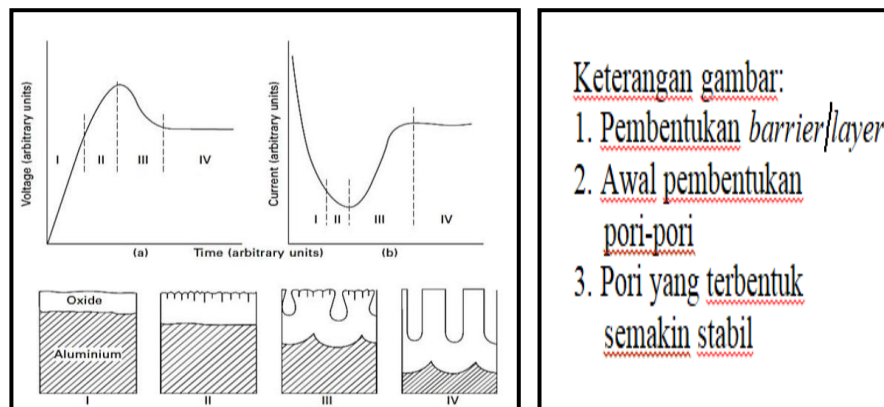
Lapisan dasar merupakan lapisan yang tipis dan padat, yang berfungsi sebagai lapisan antara lapisan pori dan logam dasar (*base metal*). Lapisan tersebut memiliki sifat yang melindungi dari korosi lebih lanjut dan tahan terhadap arus listrik. Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dari pelarutan lapisan oksida. Pada awalnya lapisan pori yang berbentuk silinder memanjang namun karena kemudian bersentuhan dengan oksida-oksida lainnya yang berbeda di sisi-sisinya, maka lapisan oksida tersebut bertransformasi menjadi bentuk saluran heksagonal yang memanjang.

Proses pembentukan lapisan oksida dapat dipelajari dengan memperhatikan dan mengamati perubahan arus pada tegangan anodisasi yang tetap atau perubahan tegangan pada arus tetap. Proses pembentukan lapisan oksida dapat dibagi dalam 4 tahapan, antara lain:

1. Penambahan *barrier layer* yang ditandai dengan penurunan arus yang mengalir. Barrier layer ini merupakan lapisan oksida aluminium yang menebal akibat adanya reaksi oksidasi pada permukaan logam. Akibat adanya penebalan maka hambatan yang ditimbulkan menjadi lebih besar.

Hal itulah yang menimbulkan penurunan arus selama pembentukan *barrier layer*.

2. Setelah *barrier layer* menebal, mulai muncul benih-benih pori dekat batas antara oksida dan larutan. Pada tahapan ini terjadi penurunan arus pada sistem dan akan mencapai titik minimum saat tahapan ini berhenti.
3. Inisiasi pori yang terbentuk menjadi awal pembentukan struktur oksida berpori. Bentuk pori pada tahapan ini tidak sempurna dan terjadi peningkatan arus yang mengalir pada sistem.
4. Arus yang mengalir pada sistem akan terus meningkat dengan semakin sempurnanya morfologi lapisan oksida. Peningkatan ini terjadi hingga pada suatu saat arus yang mengalir akan konstan saat struktur berpori telah terbentuk sempurna. Seperti ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 7 Tegangan dan arus yang terjadi pada pembentukan lapisan oksida *anodizing* (Yerokhin, 2010)

## 2.7 Faktor Yang Mempengaruhi proses *Anodizing*

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan oksida aluminium. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan oksida tersebut diantaranya adalah waktu anodisasi, jenis dan konsentrasi larutan elektrolit, tegangan dan rapat arus, dan temperatur. Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi sifat dan struktur lapisan oksida seperti kekerasan, ketebalan lapisan oksida, ketebalan lapisan *barrier*, ketebalan dinding pori, diameter pori, dan jarak antar pori.

### 1. Waktu

Anodisasi Adanya penambahan waktu anodisasi menyebabkan peningkatan berat lapisan oksida. Secara sederhana penambahan waktu

anodisasi maka pembentukan lapisan oksida semakin meningkat. Selain itu penambahan waktu anodisasi juga berpengaruh terhadap keteraturan pori. Tahun 1995, Masuda dan Fukuda melaporkan bahwa salah satu faktor yang cukup penting dalam pembentukan pori yang teratur adalah waktu anodisasi yang lama. Dalam penelitian tersebut Masuda dan Fukuda melakukan anodisasi selama 160 jam dalam larutan asam oksalat.

## 2. Jenis dan Konsentrasi Larutan Elektrolit

Pengaruh larutan elektrolit terhadap pembentukan lapisan porous oksida aluminum telah dikaji sejak tahun 1953. Jenis larutan elektrolit yang digunakan dalam proses anodisasi sangat berpengaruh terhadap sifat lapisan oksida yang terbentuk. Larutan yang cenderung tidak melarutkan dengan pH mendekati netral (5-7) akan menghasilkan lapisan oksida tanpa pori. Beberapa diantaranya adalah asam borat, ammonium borat, dan ammonium tartrate. Sedangkan larutan yang cenderung melarutkan dengan pH rendah akan menghasilkan lapisan berpori seperti asam sulfat, asam oksalat, asam kromat, dan asam phosphate. Asam sulfat dan asam oksalat biasanya digunakan untuk pembentukan lapisan dengan keteraturan pori yang tinggi.

## 3. Tegangan dan Rapat Arus

Tegangan adalah salah satu parameter yang mempunyai pengaruh paling dominan terhadap sifat lapisan oksida. Tegangan akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan barrier, ketebalan dinding pori, jarak antar pori dan diameter pori. Peningkatan tegangan akan menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan barrier, peningkatan ketebalan dinding pori, peningkatan jarak antar pori dan peningkatan diameter pori. Sedangkan rapat arus akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida. Berdasarkan hukum Faraday, peningkatan rapat arus akan menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan oksida.

## 4. Temperatur

Temperatur anodisasi akan berpengaruh terhadap kekerasan lapisan oksida. Penurunan temperatur akan menyebabkan peningkatan kekerasan. Dalam spesifikasi MIL-A-8625 disebutkan bahwa *hard process*

(menghasilkan lapisan oksida yang keras) dilakukan dalam temperatur rendah. Dengan demikian penurunan temperatur juga akan menyebabkan peningkatan ketahanan aus. Selain itu, temperatur akan berpengaruh pula terhadap diameter pori. Peningkatan temperatur akan memperbesar diameter pori, terutama di daerah dekat permukaan.

## 2.8 Tujuan Proses *Anodizing*

*Anodizing* dilaksanakan dengan berbagai alasan serta tujuan tertentu, dimana untuk menyesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan. Adapun dengan pemakaian *anodizing* mempunyai maksud untuk memperbaiki sifat ataupun penerapan, yaitu diantaranya:

Proses *anodizing* memiliki beberapa fungsi, antara lain :

1. Meningkatkan ketahanan korosi.

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium hasil anodisasi bersifat tahan terhadap korosi dan mampu menahan serangan atmosfer di lingkungan asam. Lapisan oksida melindungi logam yang ada di bawahnya dengan bertindak sebagai penghalang (*barrier*) dari serangan seperti lingkungan yang korosif.

2. Meningkatkan sifat adhesif.

Lapisan tipis hasil proses anodisasi yang menggunakan asam sulfat dapat meningkatkan kekuatan ikatan dan ketangguhan yang biasanya digunakan pada industri pesawat terbang.

3. Meningkatkan ketahanan aus.

Proses anodisasi dapat menghasilkan lapisan setebal 25–100 mikron. Dengan kekerasan inherent aluminium oksida yang sedemikian cukup tebal dapat digunakan untuk aplikasi di bawah kondisi ketahanan abrasi. Dimana lapisan oksida ini memiliki nilai kekerasan yang tinggi.

4. Isolator listrik.

Lapisan oksida memiliki resistivitas yang tinggi khususnya lapisan oksida dengan pori tertutup.

5. Dapat digunakan sebagai pelapis untuk katoda.

Dalam proses menghasilkan lapisan oksida, aluminium yang bertindak sebagai anoda akan mengalami reaksi reduksi yang sekaligus melapisi katoda. Walaupun proses pelapisan selesai, aluminium hasil *anodizing* dapat digunakan berkali-kali sebagai anoda dikarenakan pori-pori dari lapisan oksida dapat mendukung proses *electroplating*.

#### 6. Aplikasi dekorasi / tampilan.

Pada permukaan logam, lapisan oksida yang terbentuk memiliki tampilan yang mengkilap, dimana pada aluminium tampilan oksida yang alami sangat diinginkan. Selain itu, lapisan oksida yang dihasilkan dapat menyerap zat pewarna yang dapat memperbaiki fisik aluminium. Pemakaian arus searah akan menghasilkan lapisan yang lebih keras dan tahan korosi, tetapi lebih bersifat rapuh (*brittle*). Sifat ketahanan korosi tergantung pula pada proses pengerjaan akhir terutama pada proses *sealing*. Proses pengerjaan akhir lainnya adalah proses pewarnaan. Proses pengerjaan pewarnaan ini meliputi pewarnaan langsung (*integral coloring*) dan pewarnaan dengan bahan pewarnaan organik atau anorganik. Hampir semua Aluminium dan paduannya dapat dioksidasi anoda dan diwarnai sesuai dengan yang diinginkan. Jenis *anodic porous* dapat diwarnai dengan obat organik, pigmen anorganik tertentu dan secara lapis listrik pula. (Mariam, 2020)

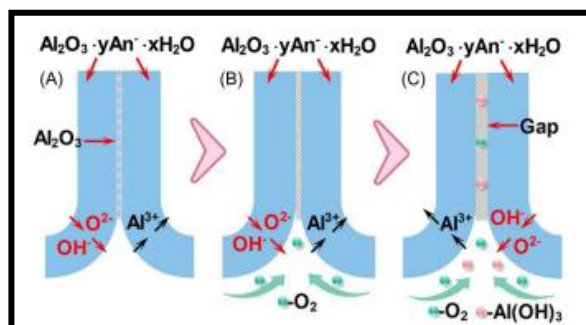
### **2.9 Burned Anodizing**

Istilah '*Burned Anodizing*' telah digunakan untuk menjelaskan lapisan oksida yang tidak merata dalam asam sulfat dibawah kerapatan arus tinggi dan kondisi suhu rendah. (TU, 1989) *Burned Anodizing* adalah fenomena kerusakan yang memanifestasikan dalam evolusi suhu lokal dalam perilaku elektrokimia-elektroda. Permukaan oksida yang bergelombang dengan bukit oksida yang menonjol, menampilkan struktur mikro dua kali lipat terbentuk. Berfokus pada waktu anodisasi singkat, inisiasi *burned anodizing* ditentukan dalam periode penurunan potensi setelah potensi maksimum, yang menghubungkan *burned anodizing* dengan pengembangan struktur berpori. Pengaruh joule yang ditingkatkan selama permulaan anodisasi oleh elektroda anodisasi yang ditutupi oleh film oksida tipe

penghalang. Peningkatan ketebalan oksida awal mengintensifkan *burned anodizing* dalam kasus ekstrim yang mengakibatkan fenomena non-padam yang melibatkan konsentrasi arus kuasi sempurna di area *burned anodizing*.

Tahap anodisasi selama *burned anodizing* adalah ditandai dengan nilai potensial tertinggi yang tercatat selama proses, menyiratkan jumlah joule panas tertinggi. Percobaan anodisasi selama panas yang dihasilkan pada awal anodizing meningkat. Potensi tinggi yang dihadapi selama tahap awal anodisasi dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan teori pembentukan mation. Peningkatan awal potensi hingga nilai tinggi menunjukkan waktu inkubasi yang diperlukan pori-pori untuk permukaan. Peningkatan konsentrasi arus di area *burned anodizing* dengan meningkatkan ketebalan oksida awal, dikonfirmasi oleh penurunan ketebalan oksida di daerah yang tidak terlalu ter *burned anodizing*. (Aerts, 2008)

Studi SEM pada area yang terbakar mengungkapkan pembentukan retakan dan pori-pori yang tidak teratur pada permukaan lapisan aluminium oxide. Dimana rasio antara sel dengan tegangan formasi ditemukan yang merupakan karakteristik untuk lapisan aluminium oxide yang dianodisasi secara konvensional. Pembentukan lapisan aluminium oxide nanotube didekat pembakaran serta pada kerapatan arus pembakaran. Terkait dengan pembentukan rongga seperti retakan dan roda pada titik rangkap tiga di antara butiran sel. Selanjutnya dengan menganalisis morfologi dinding tabung, dan melihat rongga tambahan di dinding tabung yang berkontribusi pada pemisahan sel yang tumbuh. Berdasarkan bentuk rongga yang mirip retakan, sehingga rongga tersebut muncul dari rongga yang awalnya melingkar.



Gambar 8 Ilustrasi skema batas sel alumina untuk lapisan aluminium oxide yang tumbuh dibawah kondisi anodisasi konvensional. (Mei, 2003)

*Burned anodizing* selama anodisasi aluminium dalam asam sulfat di bawah kerapatan arus tinggi menyebabkan pembentukan bukit-bukit oksida yang menonjol ditempat-tempat yang terbakar. Bukit-bukit ini memiliki morfologi konsentris dan retakan. Lapisan aluminium *oxide* dengan ketebalan tertinggi terletak pada bagian tengah yang menurun kearah *boarder*. Pembentukan retakan telah dikaitkan dengan pertumbuhan oksida yang cepat terjadi ketika konsentrasi arus lokal dan evolusi panas terjadi. Akibatnya, ditempat-tempat, tekanan mekanis yang timbul dari gaya ekspansi menyebabkan pembentukan retakan “pertumbuhan” dilekuk bukit luar. Ketebalan area lapisan aluminium oxide asam sulfat yang ter *burned anodizing* dengan struktur mikro dua kali lipat secara signifikan lebih besar daripada daerah yang tidak terbakar yang menurun kearah kaki bukit hingga ke karakteristik ketebalan untuk tempat yang tidak terbakar (Aert, 2008).

Lapisan oksida hasil *anodizing* akan memberikan karakteristik permukaan yang dapat direkayasa; kekerasan, ketahanan abrasi dan korosi, serta konsisten dalam ketebalan permukaan. *Anodizing* merupakan proses konversi lapisan permukaan aluminium menjadi lapisan aluminium oksida yang memiliki porositas (berpori). Sifat lapisan oksida itu sendiri adalah inert, persenyawaan yang stabil dan sebagai lapisan sifat tersebut mempengaruhi kestabilan permukaan aluminium. Lapisan oksida aluminium ini sendiri memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan logam induknya, nilai kekerasan ini berhubungan dengan ketahanan terhadap abrasi yang sangat dibutuhkan oleh komponen dengan kinerja yang tinggi. Ketahanan terhadap abrasi ini diperoleh dari lapisan oksida aluminium hasil *anodizing* yang terbentuk pada permukaan, dimana lapisan  $Al_2O_3$  ini memiliki nilai kekerasan yang tinggi setelah intan (Soedarsono, 2006)

## **2.10 Kekasaran Permukaan**

Kekasaran permukaan merupakan ukuran/nilai kasarnya permukaan suatu material atau tinggi rendahnya suatu permukaan material yang diukur dari suatu titik acuan. Konsep kekasaran permukaan dapat digunakan dalam mempelajari aliran panas dan listrik pada material, konsep gesekan pada permukaan material, kelekatan diantara dua material, daerah sentuh deformasi dan kajian tentang sifat korosi pada material. Terjadinya korosi pada material memiliki hubungan erat

dengan kekasaran permukaan suatu bahan logam. Semakin kasar permukaan suatu material/tingginya kekasaran permukaan suatu material maka potensi timbulnya korosi semakin tinggi/semakin mudah terjadi.

Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan. Cara yang paling sederhana dengan meraba atau menggeruk permukaan yang diperiksa. Cara ini sudah pasti ada kelemahannya, karena sifat hanya membandingkan saja. Dan dasar pengambilan keputusan baik tidaknya suatu permukaan adalah berdasarkan pengukuran satu dengan pengukuran lainnya akan berbeda. Berikut beberapa cara pengukuran permukaan yang lebih teliti;

1. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan menggunakan Mikroskop (*Microscopic Inpection*)

Keterbatasan pemeriksaan permukaan dengan mikroskop ini adalah pengambilan bagian permukaan yang sempit setiap kali akan melakukan pengukuran. Maka dari itu, dalam pemeriksaan kekasaran permukaan harus dilakukan berulang-ulang untuk kemudian dicari harga rata-ratanya. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan mikroskop ini termasuk juga salah satu pengukuran dengan cara membandingkan, yaitu membandingkan hasil pemeriksaan permukaan yang diukur dengan permukaan dari pembanding yang kedua-duanya dilihat dengan mikroskop. Pertama melihat permukaan ukur dengan mikroskop, kemudian ganti melihat permukaan pembanding. Dengan membandingkan kedua permukaan yang dilihat dengan mikroskop ini maka dapat dianalisis bagaimana keadaan yang sesungguhnya dari permukaan yang diperiksa.

2. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan foto

Pengukuran dengan cara ini adalah mengambil gambar atau memotret permukaan yang akan diperiksa. Kemudian foto permukaan tersebut diperbesar dengan perbesaran yang berbeda-beda. Perbesaran yang diambil adalah perbesaran secara vertikal. Dengan membandingkan hasil perbesaran foto permukaan yang berbeda-beda ini maka dapat dianalisis ketidakrataan dari permukaan yang diperiksa.



3. Pemeriksaan kekasaran dengan peralatan kekasaran secara mekanik

*Mechanical Roughness Instrument* yang disingkat dengan MECRIN adalah peralatan untuk memeriksa kekasaran permukaan yang merupakan perkembangan dari cara perabaan atau penggarukan permukaan. Alat ini bekerja dengan sistem mekanik dan diproduksi oleh Messrs.

## 2.11 Uji Metalografi

Metalografi adalah studi fisik dan komponen logam yang menggunakan mikroskop atau mengetahui perkiraan sifat-sifat fisik dengan mengenali ciri-ciri khusus dari struktur mikronya ataupun sebagai karakteristik bahan.

Uji metalografi termasuk pengujian yang sangat sering dilakukan laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk keperluan identifikasi fasa, identifikasi ukuran dan distribusi butir, identifikasi *overheating*, identifikasi hasil heat treatment, dan lainnya. Dalam melakukan pengujian ini ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu pemotongan sampel untuk dibuat spesimen, pembersihan jika diperlukan, penggerindaan dan pengamplasan, pemolesan, etsa, pengamatan mikroskop dan pemotretan

Metalografi biasa disebut juga ilmu logam yang mempelajari karakteristik dan struktur suatu logam dalam skala mikro menggunakan mikroskop cahaya. Prinsip dasar metalografi pertama kali disusun oleh Henry Clifton Sorby (1826– 1908). Metalografi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu makrografi dan mikrografi. Penerapan praktis dari metalografi adalah untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, dan keberadaan kotoran dalam suatu logam. Penentuan spesifikasi yang diperlukan dalam suatu material mengacu kepada hasil metalografi yang menjelaskan tentang proses yang sudah dialami oleh material yang bersangkutan.

Analisa mikro adalah suatu analisis mengenai struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus *metallography*. Dengan analisis mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran pori-pori hasil *anodizing*. Pengamatan *metallography* dengan mikroskop optik dapat dibagi dua, yaitu *metallography* makro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10-100 kali dan *metallography* mikro yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 kali (choliq, et al, 2021).

## 2.12 Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu tipe mikroskop electron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20 $\mu$ m dari permukaan. SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan objek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan objek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisis komposisi dengan kecepatan tinggi, kekasaran permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, homogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material.

Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang *scan coil* discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa astigmatismus dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya. Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan Lantanum *Hexaboride* LaB<sub>6</sub> atau *Cerium Hexaboride* CeB<sub>6</sub>, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik), Ketiga adalah *imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE (Sujatno, Agus. 2015)

## 2.13 Uji *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS)

*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa

eksitasi sinar-X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya.

*Energy Dispersive X-Ray* (EDX) digunakan untuk analisis elemental kimia bahan. Kemampuan karakterisasi sebagian besar disebabkan oleh prinsip dasar bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik yang memungkinkan serangkaian puncak unik pada spektrum emisi elektromagnetiknya (yang merupakan prinsip utama *spektroskopi*).

Untuk merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah spesimen, sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar X, difokuskan ke spesimen yang akan diteliti. Selanjutnya sebuah atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Jumlah dan energi dari sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi-dispersif. Energi dari sinar X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari spesimen dapat diukur (wijayanto, 2014)