

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Aluminium

Aluminium adalah salah satu logam ringan dan reaktif yang bersifat non-ferromagnetis. Dengan permukaan yang mengkilat. Logam aluminium mempunyai daya pantul yang baik terhadap cahaya dan pancaran gelombang elektromagnetik. Aluminium mempunyai panas jenis  $890\text{J/Kg}^{\circ}\text{K}$  dan titik lebur yang rendah ini bermanfaat untuk proses pemurnian aluminium, akan tetapi menjadi kendala dan keterbatasan untuk aplikasinya dalam suhu tinggi.

Aluminium murni adalah penghantar panas dan listrik yang baik, dalam paduannya kemampuan kehantaran ini dipengaruhi oleh logam pemandunya. Konduktivitas panas aluminium dengan komposisi 99,99% pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  adalah  $235\text{W/mK}$  dan kehantaran listriknya adalah  $37,67\text{m/W.mm}^3$ . sebuah penghantar listrik yang terbuat dari aluminium hanya membutuhkan separuh dari berat tembaga untuk kapasitas hantaran yang sama.

Aluminium murni mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,99% mempunyai kekerasan 17 BHN. Dengan memadukan aluminium dengan unsur logam lain maka menghasilkan paduan aluminium dengan kekerasan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, paduan aluminium dengan 4,5 % Cu, 1,5 % Mg, 0,5 Mn yang biasa disebut paduan 2024 mempunyai kekerasan 120 BHN (Surdia, 1990:137) selain itu dengan proses perlakuan panas dan pelapisan juga mampu meningkatkan kualitas dari logam aluminium

#### 2.2. Aluminium dan Paduannya

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai Negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang terkenal dan sempurna adalah standar AA (*Aluminium Association*) yang dikembangkan oleh Amerika Serikat didasarkan atas standar yang terdahulu dari AICOA (*Aluminium Company Of America*). Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

a) *Aluminium Wrought Alloy*

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *rolling*, *extruding*, *drawing*, *forming*, *forging*, dan sebagainya untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat. Menurut standar AA, paduan aluminium tempa dinyatakan dalam 4 angka. Angka pertama menyatakan unsur utama paduan. Angka kedua

menyatakan adanya modifikasi dari paduan. Sedangkan angka ketiga dan keempat menyatakan jumlah minimum aluminium dalam paduan. Tabel 2.1 menunjukkan penggolongan paduan aluminium tempa serta serinya.

Tabel 2.1. Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa

UNSUR UTAMA PADUAN	SERI
Aluminium dengan kemurnian minimum 99% atau lebih	1XXX
Tembaga	2XXX
Mangan	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium dan Silikon	6XXX
Seng	7XXX
Unsur-unsur yang lain	8XXX

Sumber: De Garmo (1970:159)

b) *Aluminium Cast Alloy*

Pada paduan ini bentuk produk yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku, sehingga di dapatkan produk yang mendekati bentuk akhir produk untuk kemudian di *finishing*. Penandaan paduan ini juga dinyatakan menggunakan standar AA dengan 4 angka. Angka pertama menyatakan unsur utama paduan. Angka kedua dan ketiga menyatakan jumlah minimum aluminium dalam paduan. Dan angka terakhir dipisahkan dengan tanda pecahan desimal menyatakan bentuk produk, untuk bentuk akhir produk (*final shape*) dinyatakan dengan angka 0, sedangkan untuk bentuk ingot dinyatakan dengan angka 1 atau 2. Tabel 2.2 menunjukkan penggolongan paduan aluminium tuang dan serinya.

Tabel 2.2. Klasifikasi Paduan Aluminium Tuang

UNSUR UTAMA PADUAN	SERI
Aluminium dengan kemurnian minimum 99% atau lebih	1XXX
Tembaga	2XXX
Silikon dengan Tembaga dan atau Magnesium	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Seng	6XXX
Tin	7XXX
Unsur-unsur yang lain	8XXX

Sumber: De Garmo (1970:164)

### 2.3. Pengaruh Sifat Paduan

Karakteristik dari lapisan anodizing dipengaruhi oleh komposisi dan sifat paduannya. Dengan kata lain paduan aluminium dan struktur metalurginya mempengaruhi ciri pelapisan, baik densitas, warna, kecerahan, ketebalan, maupun penampilannya. Tabel 2.3 memberikan petunjuk umum tentang pengaruh sifat paduan terhadap jenis dan tujuan pelapisan anodizing.

Tabel 2.3. Petunjuk umum jenis pelapisan Anodizing

Al alloy	Komposisi nominal (%)	Bright anodizing	Protective anodizing	Colour anodizing	Hare anodizing
1080 A	99.8 Al	4	4	4	5
1050 A	99.5 Al	4	4	4	5
1200	99Al	3	4	4	5
3103	1.25Mn	3	4	3	4
5251	2.25Mg	3	4	4	4
5154	3.5Mg	2	4	4	4
5056	5Mg	2	3	3	3
6063	0.5Mg, 0.5Si	3	4	4	4
2031	2Cu, 1Ni, 0.9Mg, 0,8Si	1	2	2	3
2014	4.25Cu, 0.75Si, 0.75Mn, 0.5Mg	1	1	2	2
7020	4Cu, 2Ni, 1.5Mg	5	4	4	4
6061	1Mg, 06Si, 0.25Cu, 0.25Cr	2	3	4	4
6082	1Si, 0.6Mg, 0.5Mn	2	2	3	3

5 = best response ; 1 = poorest response

Sumber : Rajagopal, C (2000:276)

### 2.4. Elektrokimia

Ilmu elektrokimia adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara perilaku elektrositas dan kimia. Elektrokimia dibagi menjadi dua kelompok besar (Wahyono, 2000:1) :

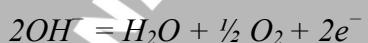
- a) Ion-ion dalam larutan dan konduktivitas ion-ion
- b) Produksi elektrokimia oleh reaksi elektrokimia dan proses sebaliknya, yaitu produksi reaksi elektrokimia oleh pemakaian gaya elektrik. Seperti, reaksi elektrolit atau disebut juga elektrolisis.

Dalam perkembangannya studi kedua proses ini biasa disebut elektrodik. Pada proses elektrokimia, akan terjadi perpindahan ion. Pada proses ionik ini, arus disebabkan oleh pertukaran dan perpindahan (transport) ion-ion positif dan negatif yang tergabung dalam transport unsur kimia.

Bila arus elektrik mengalir seperti saat elektroda metalik yang dicelupkan kedalam larutan elektrolitik, ion-ion yang bermuatan bereaksi dengan elektroda. Selanjutnya, dimana elektron masuk kedalam larutan elektrolit sehingga diperoleh reaksi katodik (reduksi) pada elektroda yaitu :



Pada saat elektron meninggalkan elektrolit diperoleh reaksi anodik (oksidasi) yang terjadi pada elektroda yaitu :

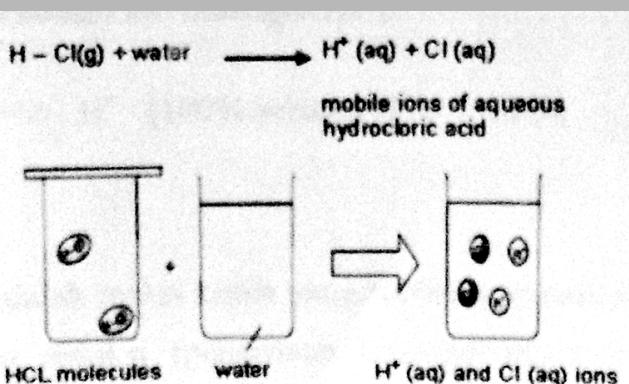


#### 2.4.1. Elektrolit

Elektrolit komposisi kimia yang akan terpisah menjadi ion-ion apabila dilarutkan dalam pelarut. Hasil dari pemisahan ini berupa ion-ion yang menjadi penghantar listrik (Sukardjo, 1985:178). Berdasarkan ion-ion yang terbentuk Elektrolit dibedakan menjadi :

a) Elektrolit asam (*acidic electrolyte*)

Adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion ( $H^+$ ), contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), asam nitrat ( $HNO_3$ ) dan asam klorida ( $HCl$ ). Elektrolit-elektrolit asam tersebut bila dilarutkan dalam pelarut (biasanya adalah air) maka akan terura menjadi ion  $H^+$ .



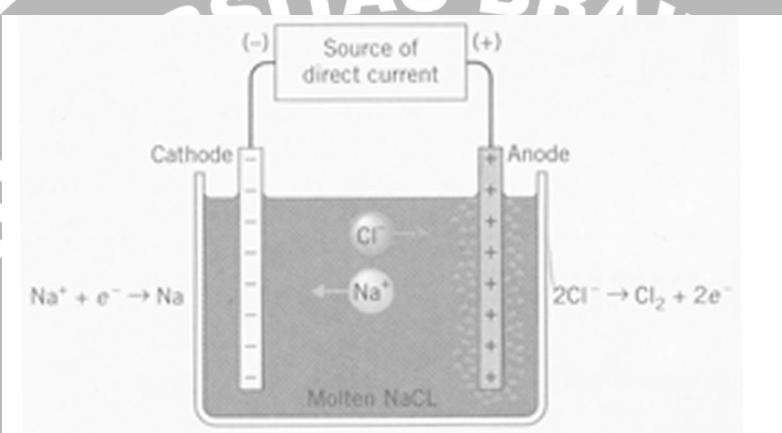
Gambar 2.1. Proses penguraian  $HCl$  pada elektrolit asam  
Sumber : Anonim (2002)

b) Elektrolit alkali (*alkali electrolyte*)

Adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion  $(OH^-)$ . Contoh dari elektrolit alkali adalah soda api (caustic soda), apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion  $Na^+$  dan ion  $OH^-$ .

c) Elektrolit garam cair (*molten salt electrolyte*)

Adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion-ion selain ion  $H^+$  dan ion  $OH^-$ . Contoh elektrolit garam adalah natrium klorida ( $NaCl$ ), apabila dilarutkan dalam air maka akan terurai menjadi ion  $Na^+$  dan ion  $Cl^-$ . Dapat dijelaskan seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses penguraian  $NaCl$  pada elektrolit garam cair  
Sumber : Anonim (2002)

Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) merupakan asam yang paling sering digunakan dalam proses anodizing. Molekul dari asam sulfat dari dua atom hidrogen, satu atom belerang dan empat atom oksigen. Asam sulfat memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Melting Point :  $10,3\text{ }^\circ C$
- Boiling Point :  $338\text{ }^\circ C$
- Formula Weight : 98,08
- Density : 1,94

Asam sulfat adalah asam kuat yang diperoleh dari pemecahan belerang trioksida ( $SO_3$ ) dalam air.



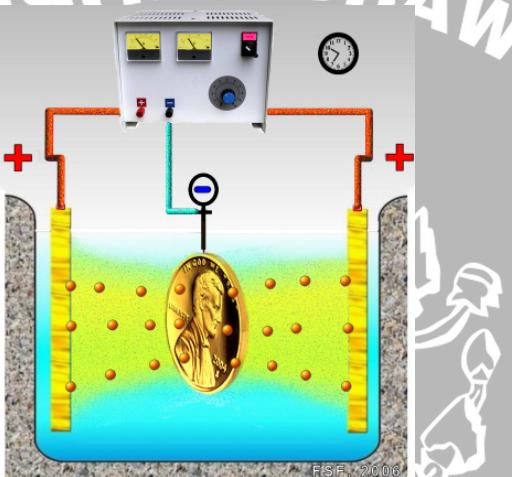
Kekuatan dari asam menggambarkan kemampuannya untuk terionisasi dalam larutan yang mengandung air. Sebagai contoh, asam sulfat merupakan asam kuat yang

ion-ionnya terpisahkan sempurna selama proses elektrolisis, dan semua hidrogen yang terpisahkan dalam asam adalah ion hidrogen ( $H^+$ ).



#### 2.4.2. Elektrolisis

Sel tempat berlangsungnya peristiwa reaksi kimia yang melibatkan arus listrik disebut sel elektrokimia. Sel elektrokimia dapat dibedakan menjadi sel elektrolitik (*electrolytic cell*) dan sel galvanik (*galvanic cell*). Sel elektrolitik adalah sel elektrokimia yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi agar dapat terjadi reaksi kimia. Proses yang terjadi dalam sel elektrolitik biasa disebut elektrolisis.



Gambar 2.3 Proses pelapisan logam merupakan sel elektrolitik  
Sumber : Anonim (2007)

Sel galvanik merupakan kebalikan dari sel elektrolitik, dimana reaksi kimia yang terjadi dalam sel menghasilkan arus listrik. Contoh dari sel galvanik adalah baterai, karena reaksi kimia dalam sel elektrokimia baterai dapat membangkitkan energi listrik yang dapat digunakan sebagai sumber energi.

Faraday menunjukkan bahwa jumlah zat yang beraksi pada elektroda-elektroda sel elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah arus yang melalui sel tersebut. Dan bila jumlah arus tertentu melalui beberapa sel elektrolisis maka akan dihasilkan jumlah ekivalen masing-masing zat.

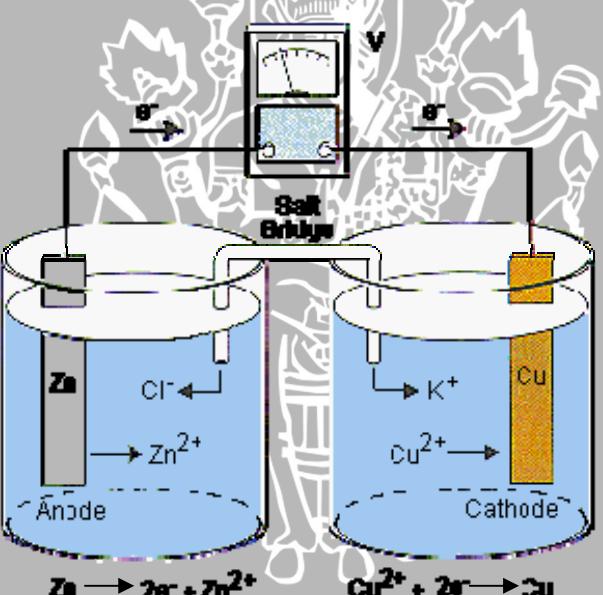
Pada umumnya, reaksi elektrolisis dapat dipercepat dengan cara meningkatkan arus listrik melalui sirkuit (*cell*) dan dapat dilakukan dengan cara :

- Meningkatkan beda potensial antar elektroda.
- Menurunkan resistensi dalam sirkuit dengan cara :
  - Mengatur variabel resistor pada resistensi rendah.

- 2) Memperpendek jarak dua elektroda.
- 3) Menggunakan elektroda dengan permukaan yang lebih luas.
- 4) Meletakkan elektroda lebih dalam agar semua permukaan elektroda terendam dalam larutan.
- 5) Meningkatkan konsentrasi larutan elektrolit.
- 6) Mengurangi efek polarisasi jika gelembung gas terdapat dalam elektroda.
- 7) Meningkatkan temperatur elektrolit.

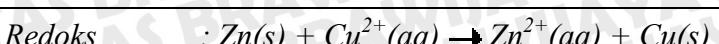
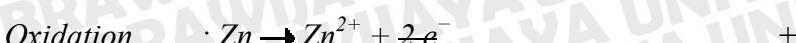
#### 2.4.3. Reaksi Red-Ox (Redoks)

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi (peningkatan bilangan oksidasi) dan reduksi (penurunan bilangan oksidasi) yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia (Parthasarathy, 1989:25). Contohnya seperti pada gambar 2.4 logam seng (Zn) sebagai anoda dan tembaga (Cu) sebagai katoda yang dicelupkan pada larutan yang sama.



Gambar 2.4. Reaksi redoks (reaksi reduksi pada logam Cu, reaksi oksidasi logam Zn)  
Sumber : Bodner Research Web (2009)

Pada reaksi tersebut ion Cu akan mengalami penurunan bilangan oksidasi dari  $Cu^+$  menjadi Cu. Sedangkan ion ZN akan mengalami peningkatan bilangan oksidasi dari Zn menjadi  $Zn^{2+}$ . Secara lengkap dirumuskan sebagai berikut :



+

Reaksi oksidasi yaitu suatu perubahan kimia ketika :

- Suatu zat melepaskan elektron
- Suatu unsur mengalami pertambahan bilangan oksidasi
- Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda (anodik)

Reaksi reduksi yaitu suatu perubahan kimia ketika :

- Suatu zat menangkap elektron
- Suatu unsur mengalami pengurangan bilangan oksidasi
- Pada sel elektrokimia reduksi terjadi di katoda (katodik)

Pada reaksi redoks zat yang mengoksidasi disebut oksidator, sedangkan zat yang mereduksi disebut reduktor.

Potensial listrik yang ditimbulkan akibat reaksi reduksi disebut potensial elektrode ( $E$ ). Semakin mudah suatu unsur mengalami reduksi, maka makin besar potensial elektrodanya.

Harga potensial elektroda aktual dalam suatu reaksi reduksi tidak dapat dihitung (N.V Parthasarathy, 1989:24). Sebab tidak ada reaksi reduksi yang berlangsung tanpa diikuti reaksi oksidasi. Oleh karena itu harga potensial elektroda yang dipakai adalah harga potensial elektroda relatif yang dibandingkan terhadap suatu elektroda standar.

Harga potensial elektroda lebih tepat disebut potensial reduksi standar atau potensial elektroda standar ( $E_o$ ). Elektroda yang dipakai sebagai standar dalam menentukan harga potensial elektroda adalah hidrogen. Cara memperolehnya dengan mereaksikan gas hidrogen murni pada elektrode platina (Pt) yang bersentuhan dengan larutan asam, sehingga terjadi kesetimbangan :



Harga potensial elektrode dari reaksi diatas ditetapkan 0 volt ( $E_o = 0$ ). Kemudian harga potensial elektroda standar dari semua reaksi adalah harga yang dibandingkan terhadap potensial elektroda standar hidrogen, contoh :



Ini berarti Cu memiliki harga potensial elektroda 0,34 volt lebih besar dibandingkan dengan hidrogen.

Potensial elektroda standar ( $E_o$ ) dari semua reaksi reduksi larutan asam maupun basa ditunjukkan pada tabel 2.4. Besarnya  $E_o$  cell =  $E_o$  reduksi +  $E_o$  oksidasi. Semakin positif harga  $E_o$  maka logam akan mudah mengalami reduksi dan sulit teroksidasi. Logam ini disebut logam pasif atau logam mulia. Sedangkan harga  $E_o$  yang semakin

negatif maka logam itu akan mudah teroksidasi dan sulit tereduksi. Logam ini disebut logam yang aktif dan reaktif.

Tabel 2.4. Potensial elektroda standar saat 25°C

**Standard Reduction Potentials at 25°C 1 M 1 atm**

HALF-REACTION	E° (V)
$\text{F}_{\text{2(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{F}_{\text{6(g)}}$	+2.87
$\text{O}_{\text{2(g)}} + 2 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{O}_{\text{2(g)}} + \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+2.07
$\text{Co}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}}$	+1.02
$\text{H}_2\text{O}_{\text{2(g)}} + 2 \text{I}^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+1.77
$\text{PbO}_{\text{2(g)}} + 4 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + \text{SO}_4^{\text{2-}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4_{\text{6(g)}} + 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+1.20
$\text{Ce}^{\text{4+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}}$	+1.61
$\text{MnO}_4^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 8 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 5 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}_{\text{6(g)}} + 4 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+1.51
$\text{Au}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Au}_{\text{6(g)}}$	+1.00
$\text{Cl}^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cl}_{\text{6(g)}}$	+1.35
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{\text{2-}}_{\text{6(g)}} + 14 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + 7 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+1.33
$\text{MnO}_4^{\text{-}}_{\text{6(g)}} - 4 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}_{\text{6(g)}} + 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+1.23
$\text{O}_{\text{2(g)}} + 4 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	-1.23
$\text{Br}^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Br}_{\text{6(g)}}$	+1.07
$\text{NO}_3^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 4 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_{\text{2(g)}} + 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+0.96
$2 \text{Hg}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_{\text{2(g)}}^{\text{+}}$	+0.02
$\text{Hg}_{\text{2(g)}}^{\text{+}} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Hg}_{\text{6(g)}}$	-0.85
$\text{Ag}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}_{\text{6(g)}}$	+0.80
$\text{Fe}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}}$	+0.77
$\text{O}_{\text{2(g)}} + 2 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{6(g)}}$	+0.68
$\text{MnO}_4^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6(g)}} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 4 \text{OH}^{\text{-}}_{\text{6(g)}}$	+0.59
$\text{I}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{I}_{\text{6(g)}}$	+0.53
$\text{O}_{\text{2(g)}} + 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6(g)}} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^{\text{-}}_{\text{6(g)}}$	+0.40
$\text{Cu}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_{\text{6(g)}}$	+0.34
$\text{AgCl}_{\text{6(s)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}_{\text{6(g)}} + \text{Cl}^{\text{-}}_{\text{6(g)}}$	+0.22
$\text{SO}_4^{\text{2-}}_{\text{6(g)}} + 4 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{SO}_3^{\text{-}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6}}$	+0.20
$\text{Cu}^{\text{1+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^{\text{0}}_{\text{6(g)}}$	+0.15
$\text{Sn}^{\text{4+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}}$	+0.13
$2 \text{H}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{\text{6(g)}}$	0.00
$\text{Pb}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}_{\text{6(g)}}$	-0.13
$\text{Sn}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}_{\text{6(g)}}$	-0.14
$\text{Ni}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{\text{6(g)}}$	-0.26
$\text{Co}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Co}_{\text{6(g)}}$	-0.28
$\text{Ph}_3\text{N}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ph}_{\text{6(g)}} + \text{N}^{\text{-}}_{\text{6(g)}}$	-0.51
$\text{Cd}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cd}_{\text{6(g)}}$	-0.40
$\text{Fe}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{\text{6(g)}}$	-0.44
$\text{Cr}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}_{\text{6(g)}}$	-0.74
$\text{Zn}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}_{\text{6(g)}}$	-0.76
$2 \text{H}_2\text{O}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{\text{6(g)}} + 2 \text{OH}^{\text{-}}_{\text{6(g)}}$	-0.83
$\text{Mn}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} - 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}_{\text{6(g)}}$	-1.18
$\text{Al}^{\text{3+}}_{\text{6(g)}} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Al}_{\text{6(g)}}$	-1.66
$\text{Be}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Be}_{\text{6(g)}}$	-1.88
$\text{Mg}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} - 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mg}_{\text{6(g)}}$	-2.57
$\text{Na}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}_{\text{6(g)}}$	-2.71
$\text{Ca}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ca}_{\text{6(g)}}$	-2.87
$\text{Sr}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sr}_{\text{6(g)}}$	-2.89
$\text{Ba}^{\text{2+}}_{\text{6(g)}} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ba}_{\text{6(g)}}$	-2.90
$\text{K}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{K}_{\text{6(g)}}$	-2.93
$\text{Li}^{\text{+}}_{\text{6(g)}} + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}_{\text{6(g)}}$	-3.06

Sumber : [www.pembinatrails.com](http://www.pembinatrails.com) (2000)

## 2.5. Keausan

Secara umum keausan dapat didefinisikan sebagai berkurangnya massa material dari sebuah permukaan logam akibat dari kontak dengan permukaan logam yang lain dan terjadi pada pergerakan-pergerakan yang relatif dan disertai dengan tekanan. Sehingga dapat menimbulkan adanya friksi antara bidang kontak dari dua permukaan

yang bergesekan. Jika hal ini terjadi secara terus menerus akan menyebabkan kegagalan (*failure*) pada logam dan komponen akan kehilangan fungsinya.

Beberapa jenis dari keausan (M.F. Spotts, 1991:694) :

a) *Abrasive Wear*

Keausan ini adalah jenis yang umum terjadi, karena sering sekali kotoran, debu, serbuk dan partikel partikel logam terbawa antara dua permukaan logam yang bergesekan secara terus menerus. *Abrasive wear* terjadi ketika permukaan logam yang keras dan kasar bergesekan pada permukaan logam yang lebih halus, dengan atau tidak menggunakan pelumas. Permukaan yang lebih keras ini dapat digambarkan seperti sebuah peralatan pemotong yang dapat menggerus permukaan logam yang lebih halus. Keausan jenis ini akan semakin berat jika terjadi pada kecepatan rendah.

b) *Adhesive Wear*

Terjadi ketika dua permukaan padat saling bergesekan satu sama lain dibawah tekanan. Karena adanya tekanan yang tinggi, dua permukaan itu akan mengalami perubahan yang bersifat plastis dan akhirnya membuat kedua permukaan menyatu. Dan karena proses gesekan itu terus berlangsung, maka ikatan antara permukaan yang menyatu itu akan rusak, menimbulkan lubang atau rongga di permukaan dan partikel-partikel yang bersifat abrasif. Dan aibatnya akan menyebabkan keausan di permukaan jika terus berlanjut.

c) *Corrosive Wear*

Serangan secara kimia atau korosi pada logam yang terekspose di lingkungan akan menimbulkan keausan. Korosi ini disebabkan oleh air dan partikel-partikel perantara yang aktif di dalam pelumas atau udara.

## 2.6. Persamaan Keausan Archard

Persamaan keausan Archard adalah sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan keausan secara umum.

$$Q = \frac{KWL}{H} \quad (2-5)$$

Dari rumus (2-5) maka didapatkan rumus sebagai berikut :

$$K = \frac{QH}{WL} \quad (2-6)$$



Dimana :

- $Q$  adalah berat total keausan [cm<sup>3</sup>]  
 $W$  adalah besar pembebanan normal [g]  
 $L$  adalah panjang sliding atau bidang kontak [cm]  
 $H$  adalah kekerasan ; kekerasan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 2000 VHN  
 $K$  adalah koefisien keausan ;  $I/K$  adalah ketahanan aus

## 2.7. Pengujian Porositas Menggunakan Metode Pิกnometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat dijelaskan secara skematik pada gambar 2.5. Di dalam pengukuran prosentase porositas yang terdapat pada suatu hasil anodizing digunakan perbandingan 2 (dua) buah densitas yaitu:

### 1. True Density

Kepadatan dari sebuah benda padat secara teoritis yang dihitung berdasarkan unsur unsur pembentuk suatu paduan, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left( \%Al/\rho_{Al} \right) + \left( \%Cu/\rho_{Cu} \right) + \left( \%Fe/\rho_{Fe} \right) + \left( etc \right)} \quad (2-7)$$

Dimana ;

- $\rho_{th}$  = Densitas teoritis atau *true density* (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}$ , dst = Densitas unsur (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $\%Al, \%Cu$  dst = Prosentase berat unsur (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2. Apparent Density

Berat setiap unit volume material termasuk porositas yang terdapat dalam material uji, dapat dirumuskan sebagai berikut :

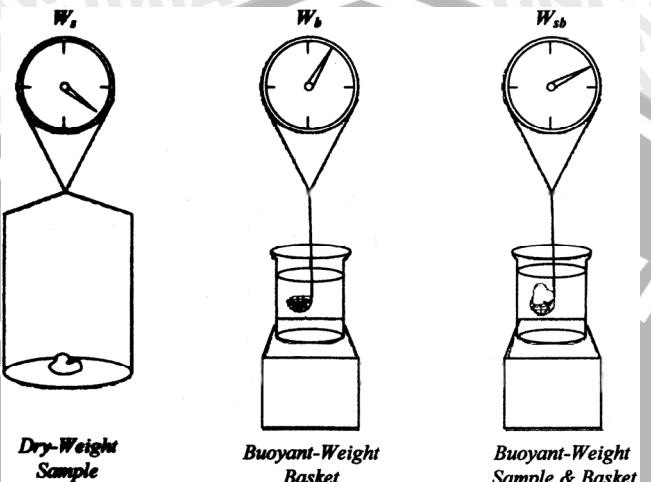
$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{w_s - (w_{sb} - w_b)} \quad (2-8)$$

Dimana ;

- $\rho_s$  = Densitas sampel atau *apparent density* (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_w$  = Densitas air (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $w_s$  = Berat sampel di udara (gr)  
 $w_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang dalam air (gr)  
 $w_b$  = Berat keranjang dalam air (gr)

Dari hasil pengukuran dan perhitungan *true density* dan *apparent density* kemudian digunakan untuk menghitung prosentase porositas yang terjadi didalam material uji. Dapat dilakukan dengan menggunakan perumusan:

$$\% \text{Porositas} = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \cdot 100\% \quad (2-9)$$



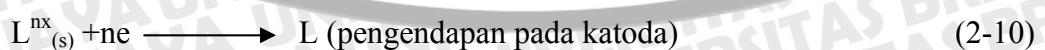
Gambar 2.5. Skema ilustrasi metode piknometri  
Sumber: R.P Taylor, S.T McClain, dan J.T Berry (1999:23)

## 2.8. Dasar Teori dan Pengertian Anodizing

Pelapisan logam adalah metode yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahan korosi. Salah satu jenis pelapisan logam adalah pelapisan elektrik. Pada pelapisan elektrik digunakan proses elektrolisis dengan melibatkan dua elektroda yang dialiri arus listrik searah. Elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif (+) disebut anoda, sedangkan yang dihubungkan dengan kutub negatif (-) disebut katoda. Pelapisan elektrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

### a) Pelapisan Katodik

Adalah pelapisan dengan menggunakan proses elektrolisis dengan tujuan untuk melapisi logam katoda, dengan cara mengorbankan anoda. Reaksi yang terjadi pada katoda sesuai dengan persamaan :



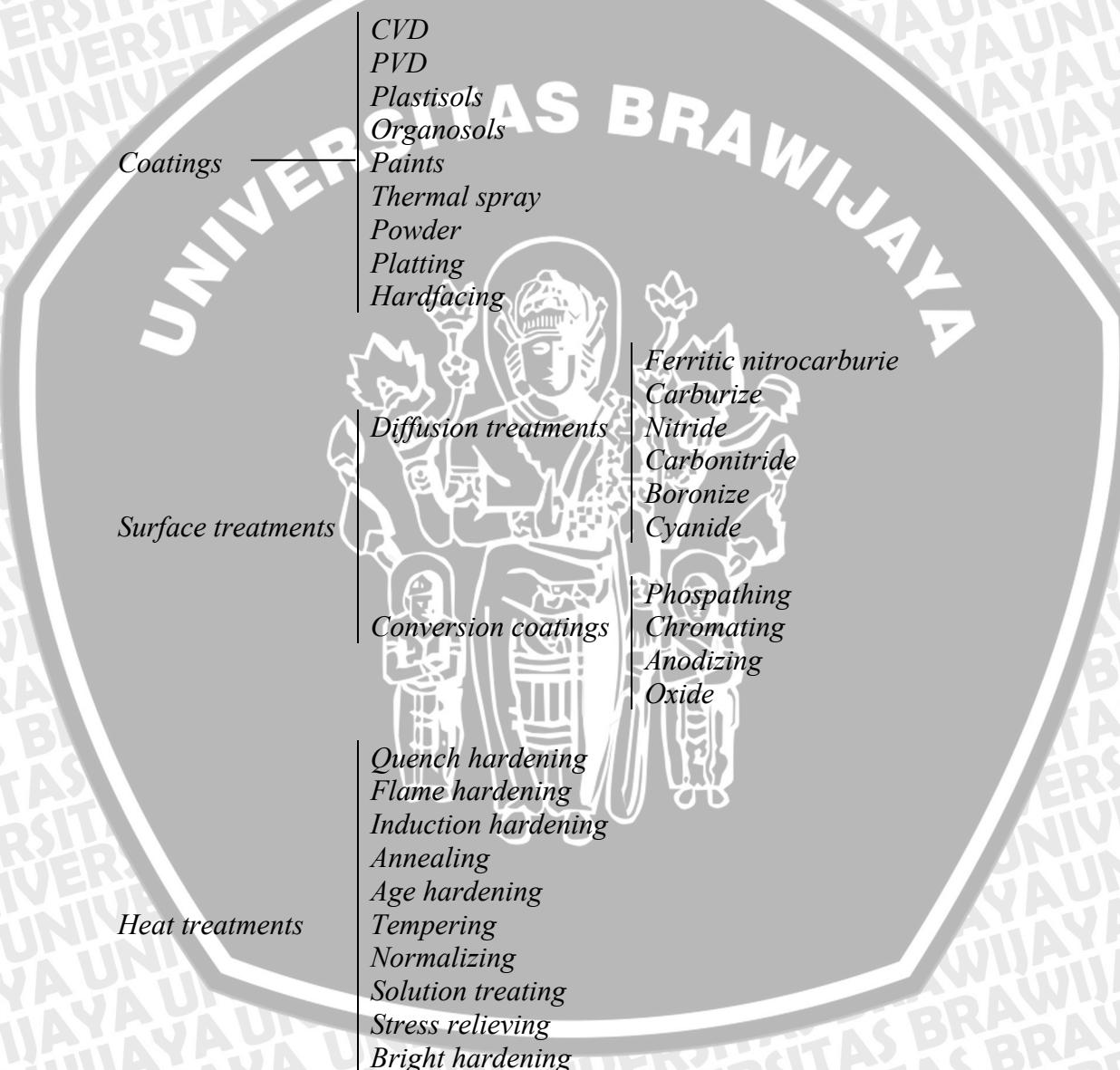
Salah satu aplikasi dari pelapisan katodik adalah elektroplating nickel.

### b) Pelapisan Anodik

Pelapisan ini dilakukan melalui proses anodizing, yaitu suatu proses elektrokimia dengan tujuan agar benda kerja teroksidasi. Pada pelapisan anodik tidak

ada logam lain yang dikorbankan untuk pelapisan, seperti pada pelapisan katodik. Maksudnya adalah, massa logam yang digunakan sebagai katoda tidak akan berkurang.

*Anodizing* merupakan salah satu jenis *surface treatments* (perlakuan permukaan) dan dapat diklasifikasikan sebagai *oxide-conversion coating* (pelapisan konversi-oksida) yang terpenting (gambar 2.6). Pada umumnya proses ini lebih banyak digunakan pada aluminium, karena aluminium adalah logam elektronegatif sehingga memiliki daya tarik menarik yang kuat dengan oksigen.

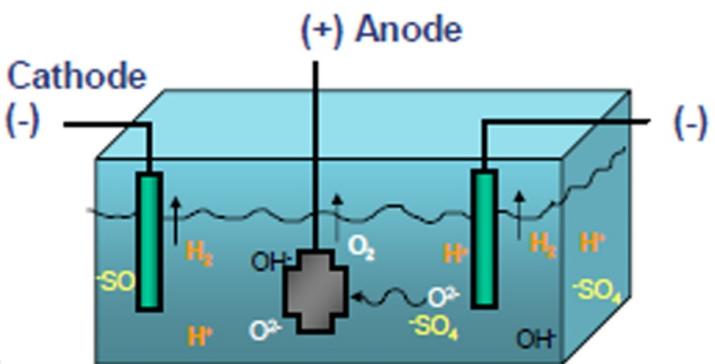


Gambar 2.6. : Klasifikasi secara umum dalam *material treatments*  
Sumber : Budinski, K. 1996:612

*Anodizing* didefinisikan sebagai proses oksidasi secara elektrolitik yang mengkonversi permukaan logam yang bersifat anodik sampai mencapai ketebalan dan

karakteristik yang lain. Hal ini dilakukan dengan harapan, material yang terlapisi secara oksidasi dapat memenuhi karakteristik akhir yang diinginkan (Rajagopal, 2000:250).

Pada proses anodizing, lapisan oksida akan dihasilkan pada anoda, dan terjadi pelepasan gas H<sub>2</sub> pada katoda. Secara skematis ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skema ilustrasi proses *anodizing*

Sumber : Ruben A. Prado, CEF (2007:3)

Reaksi yang terjadi pada saat anodizing dapat dilihat pada persamaan reaksi dibawah ini :

- 1) Proses yang terjadi pada anoda adalah proses oksidasi pada permukaan anoda :



Logam aluminium bereaksi dengan air dan menghasilkan lapisan oksida.

- 2) Proses yang terjadi pada katoda adalah proses reduksi pada permukaan katoda :



Gas hidrogen terbentuk pada katoda dalam bentuk gelembung selama proses *anodizing*.

- 3) Apabila proses tersebut dirangkai akan membentuk reaksi redoks :



Jadi pada *anodizing* dihasilkan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada anoda dan pelepasan gas H<sub>2</sub> pada katoda.

## 2.9. Klasifikasi dan Tipe *Anodizing*

Berdasarkan jenis arus listrik yang digunakan *anodizing* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu DC *anodizing* dan AC *anodizing* (Sato, 1997:2)

- 1) DC *anodizing*

DC *anodizing* adalah anodizing yang dilakukan menggunakan arus listrik searah (*direct current*). *Anodizing* tipe ini bertujuan untuk memperoleh hasil pelapisan dengan

kekerasan tinggi. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yakni *continuous anodizing* dan *pulse anodizing*.

- a. *Continuous anodizing* adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan besar arus yang dialirkan konstan selama proses *anodizing*.
  - b. *Pulse anodizing* adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan rapat arus terputus-putus secara periodik. Tujuannya untuk menjaga temperatur agar tetap konstan dan stabil.
- 2) AC *anodizing*

AC *anodizing* adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus bolak-balik (*alternating current*). *Anodizing* tipe ini bertujuan untuk memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan yang rendah.

Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan aluminium foil. Apabila pembuatan aluminium foil menggunakan arus DC, maka akan diperoleh hasil *anodizing* dengan tingkat kekerasan yang tinggi sehingga dapat mengakibatkan aluminium foil akan mudah patah jika mendapat teukan atau dirol. Namun apabila pembuatan aluminium foil menggunakan arus AC maka akan diperoleh aluminium foil yang mampu tekuk dan mudah dirol, karena kekerasannya rendah dan lapisan oksidanya tipis.

Berdasarkan ketebalan lapisan yang dihasilkan, *anodizing* dibedakan menjadi tiga macam tipe yaitu :

#### 1) *Chromic Acid Anodizing (CAA)*

Pada tipe yang pertama ini menggunakan larutan elektrolit berupa asam kromat (*chromic acid*) dan lapisan oksida yang dihasilkan paling tipis jika dibanding tipe yang lain. Ketebalan lapisannya 0,02 sampai 0,1 mils (0,5 sampai 2,5 micron). Proses ini sedikit berpengaruh terhadap kekuatan *fatigue*, dan sedikit korosif.

Oleh karena itu idealnya digunakan untuk bagian yang komplek. Tipe ini sangat baik untuk pelapisan aluminium cor, paling banyak proses ini digunakan untuk kebutuhan militer dan aplikasi pada industri luar angkasa dan mempunyai fungsi dekoratif.

#### 2) *Sulfuric Acid Anodizing (SAA)*

Tipe yang kedua ini adalah tipe yang paling umum digunakan oleh industri pelapisan aluminium. Larutan elektrolit yang digunakan pada tipe ini adalah larutan asam sulfat (*sulfuric acid*). Dengan memanfaatkan asam sulfat ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan naik sampai 1 mils (25 micron).

*Sulfuric anodizing* baik sekali jika diberi pewarnaan karena lapisannya berpori. Selain itu memberikan ketahanan terhadap korosi dan sangat kuat. Tipe ini biasanya dipakai dalam kebutuhan arsitektur, *aerospace*, perusahaan otomotif dan industri komputer.

### 3) *Hard Coating Anodizing (HCA)*

Pada tipe yang ketiga ini dibutuhkan larutan elektrolit dengan konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi dan temperatur yang lebih rendah. Diharapkan akan dihasilkan kulit luar yang keras dengan ketahanan abrasi yang baik sekali, ketahanan korosi, ketahanan terhadap pemudaran warna, kekuatan dielektrik dan mempunyai permukaan yang sangat keras (rockwell C-scale naik sampai 70). Ketebalan lapisan yang dihasilkan dari 0,5 sampai 5 mils (12,5 sampai 125 micron).

Logam yang dihasilkan dari proses *hard anodizing* ini kekerasan permukaannya meningkat. Umumnya logam hasil *hard anodizing* digunakan dalam bahan non-dekoratif seperti peralatan pengemas makanan, pengerol kertas mesin fotokopi, piston, silinder, dan *gear*.

## 2.10. *Aluminium Oxide Film (Film Oksida Aluminium)*

Lapisan film oksida dapat terbentuk pada logam-logam tertentu, seperti aluminium, niobium, tantalum, titanium, tungsten, zirconium. Lapisan ini terbentuk saat logam-logam tersebut mengalami sebuah proses elektrokimia yaitu anodizing.

Dari proses ini akan didapatkan lapisan film oksida yang memiliki ketebalan, densitas, dan perkembangan *porous* yang sangat bervariasi, tergantung dari jenis logam yang dipakai.

Untuk logam aluminium, lapisan film oksida yang terjadi adalah lapisan yang unik. Karena logam aluminium dapat membentuk lapisan film oksida yang lebih tebal dan mengandung densitas *porous* yang lebih tinggi.

Hal ini terjadi karena aluminium lebih mudah teroksidasi daripada logam jenis lain, seperti ditunjukkan pada tabel 2.4. Selain itu logam aluminium dapat membentuk dua tipe lapisan oksida, dimana logam lain memiliki keterbatasan dalam hal ini. Dua lapisan oksida tersebut yaitu : *barrier oxide layer* dan *porous oxide layer*.

### 2.10.1. Tipe dari Lapisan Film Oksida

Lapisan oksida yang terbentuk di atas permukaan logam aluminium hasil *anodizing* digolongkan menjadi dua jenis yaitu :

1) Lapisan film oksida tipe penghalang (*Barrier-type oxide film*)

Bila aluminium dianodisasi pada larutan netral ( $5 < \text{pH} < 7$ ) seperti pada larutan yang dibentuk melalui pencampuran antara *boric acid* dan *ammonium borate, tetrato*, dan *ammonium tetraborate* dalam larutan *ethylene glycol*. Kemampuan larutan ini untuk melarutkan oksida aluminium sangat lemah, sehingga terbentuklah lapisan film oksida tipe *barrier* pada permukaan aluminium.

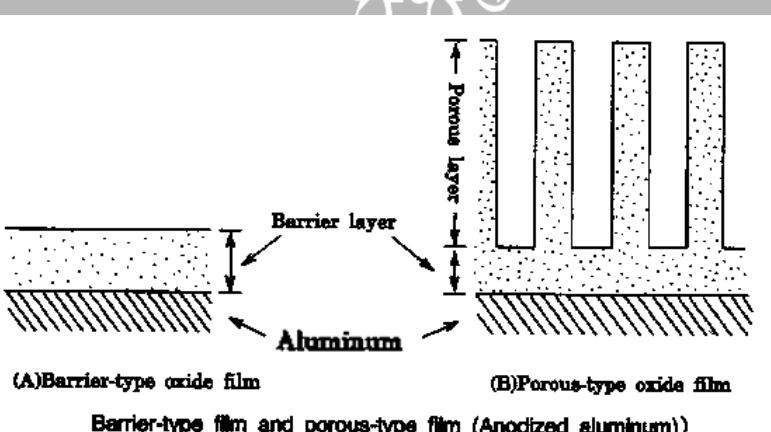
Ketebalan dari film oksida tipe barrier dipengaruhi oleh voltase saat proses anodizing berlangsung. Jika aluminium dianodisasi pada voltase yang tinggi, maka akan terbentuk lapisan film oksida *barrier* yang tebal.

Tetapi, bagaimanapun juga tidak mungkin melakukan anodizing pada voltase yang sangat tinggi, karena batas maksimum pemberian voltase adalah 500V – 700V. Bila voltase yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak bisa terbentuk.

2) Lapisan film oksida tipe pori (*Porous-type oxide film*)

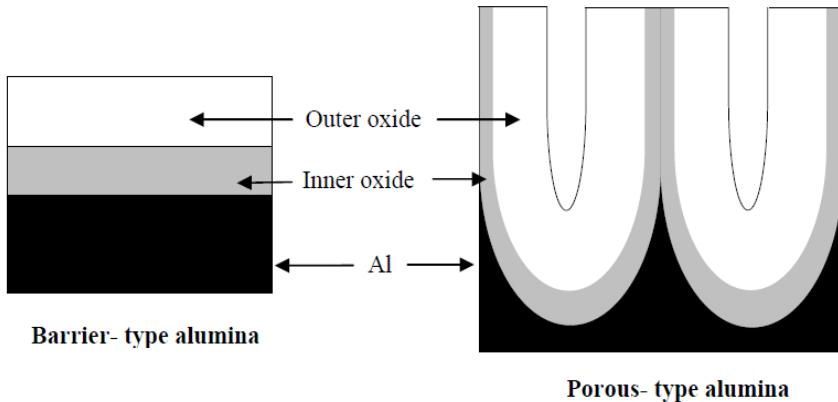
Apabila aluminium dianodisasi dalam larutan asam seperti asam sulfat, asam kromat, asam pospat atau asam oksalat, maka akan terbentuk lapisan film oksida tipe pori (*porous-type oxide film*). Lapisan film oksida tipe ini disebut juga lapisan film bertingkat (*duplex film*).

Lapisan film oksida tipe *porous* (*porous oxide film*) dan lapisan oksida porous (*porous layer*) harus dibedakan, begitu juga lapisan film oksida tipe barrier (*barrier oxide film*) dan lapisan oksida barrier (*barrier layer*). Gambar 2.8 menjelaskan perbedaan ini, sekaligus memperlihatkan secara lebih detail penampang melintang dari kedua lapisan film oksida.



Gambar 2.8. Dua tipe lapisan oksida yang terbentuk pada proses anodizing aluminium  
Sumber : Sato T (1997:208)

Walaupun berbeda, namun tiap-tiap tipe mengandung lapisan oksida dalam (*inner oxide*) dan lapisan oksida luar (*outer oxide*). Pada gambar 2.9, *Inner oxide* yang mengandung alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) murni terbentuk karena reaksi antara oksida dan logam. Sedangkan *outer oxide* yang mengandung alumina yang masih terkontaminasi logam anionnya, terbentuk karena reaksi antara oksida dan larutan elektrolit



Gambar 2.9. Penampang melintang lapisan oksida tipe *barrier* dan tipe *porous*  
Sumber : Anonim (1990)

### 2.10.2. Pembentukan Lapisan Oksida Tipe Pori

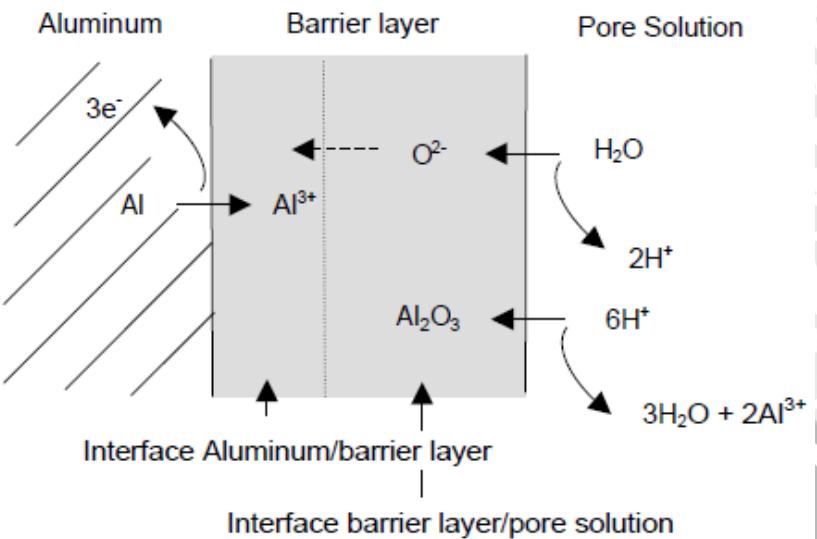
Pada dasarnya pembentukan film oksida tipe pori harus memperhatikan dua reaksi kimia yang utama berikut ini :



Reaksi yang pertama pada persamaan (2-12) menunjukkan reaksi pembentukan lapisan oksida dan reaksi yang kedua pada persamaan (2-13) menunjukkan reaksi pelarutan kimia dari lapisan oksida dalam larutan elektrolit asam seperti asam sulfat. Gambar 2.10 menunjukkan reaksi awal dari kedua proses tersebut.

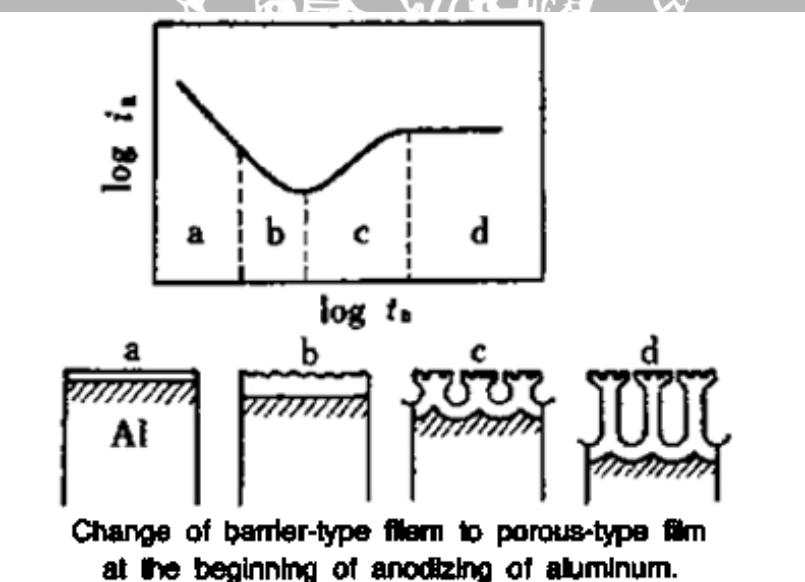
Pada gambar 2.11, lebih jelas diilustrasikan proses pembentukan lapisan film oksida tipe *porous*. Ditunjukkan melalui sebuah kurva hubungan antara arus, waktu, dan juga skema perubahan dari lapisan film oksida tipe *barrier* yang hanya memiliki *barrier layer* menjadi tipe *porous* yang memiliki dua layer, *barrier* dan *porous layer*.

Ketika arus mulai diberikan, maka proses elektrolisis mulai berjalan. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion, ion negatif (anion) akan menuju anoda, sedangkan ion positif (kation) akan menuju katoda. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda akan terjadi reaksi reduksi.



Gambar 2.10. Ilustrasi proses awal terbentuknya film oksida *porous* pada aluminium  
Sumber : Anne Deacon Juhl (2002:5)

Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion logam  $\text{Al}^{3+}$  dengan  $\text{O}^{2-}$  atau  $\text{OH}^-$  dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan barrier (*barrier layer*). Dalam lapisan barrier terjadi reaksi penguraian ion  $\text{HSO}_4^-$  yang diperoleh dari penguraian asam sulfat pada larutan yaitu  $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$ .



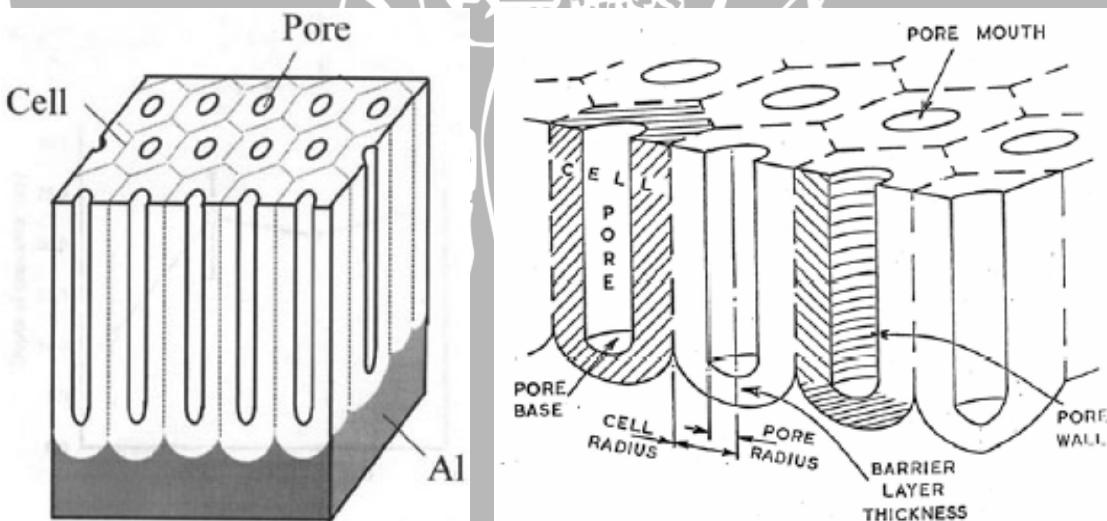
Gambar 2.11. Skema proses perubahan lapisan film tipe *barrier* menjadi tipe *porous*  
Sumber : Sato T (1997:209)

Dalam lapisan *barrier* ion  $\text{HSO}_4^-$  ini terurai menjadi  $\text{H}^+$  +  $\text{SO}_4^{2-}$ , ion  $\text{H}^+$  adalah proton yang kemudian membentuk *proton space charge*. Adanya *proton space charge*, memudahkan proses masuknya ion  $\text{O}^{2-}$  dalam lapisan *barrier*, sehingga lapisan *barrier* baru akan terbentuk.

Pada awal proses, seperti ditunjukkan pada daerah *a*, arus yang diberikan besar. Dan perlahan arus mulai turun, hal ini disebabkan mulai terbentuknya lapisan oksida yang memberikan tahanan. Semakin tebal lapisan yang dibentuk, maka tahanannya semakin besar pula. Akibatnya arus yang mengalir menjadi turun seperti ditunjukkan pada daerah *b*.

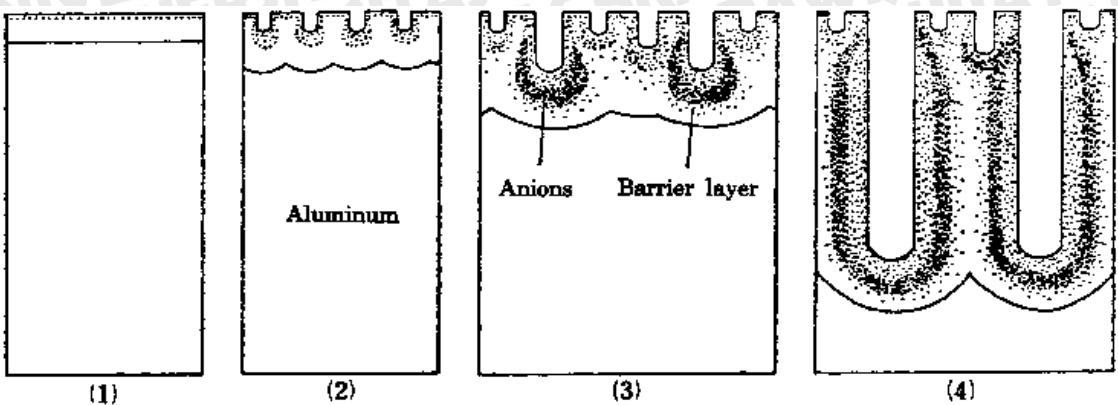
Kemudian dihasilkan permukaan lapisan yang tidak rata (kasar). Ketidakrataan ini menyebabkan arus akan terkonsentrasi pada permukaan yang tipis oksidanya (berlubang), kemudian terjadilah proses pelarutan akibat naiknya arus yang menimbulkan aksi medan listrik dan aksi elektrolit seperti reaksi pada persamaan 2-10. Peristiwa ini terjadi pada daerah *c*, dimana pada daerah inilah pori mulai terbentuk.

Pada daerah *d* arus akan mencapai level konstan, dimana angka dari pembentukan dan pelarutan lapisan oksida menjadi steady state. Lapisan oksida yang terbentuk mempunyai struktur atom hexagonal dengan pori di tengahnya serta lapisan oksida yang terbentuk menyatu dengan logam induknya, sehingga sulit untuk terkelupas. Struktur atom hexagonal tersebut biasa disebut dengan nama *cell*. Untuk lebih jelasnya, lapisan oksida *porous* yang terbentuk dapat dilihat pada skema ilustrasi yang ditunjukkan oleh gambar 2-12.



Gambar 2.12. Porous yang terbentuk pada *aluminium oxide layer*  
Sumber : *Journal of The Electrochemical Society* (2001)

Dalam kenyataan, kandungan lapisan oksida tidak hanya aluminium oksida saja, melainkan terdapat zat tambahan lain yaitu sulfat dan air dari elektrolitnya. Letak dan distribusi dari sulfat dan air ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Change of anion distribution in anodic oxide film during anodizing of aluminum

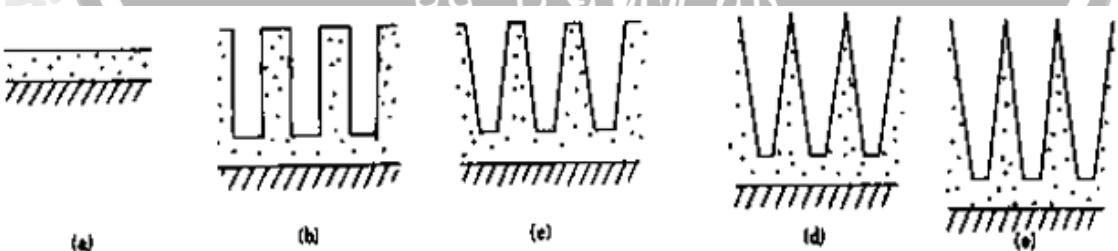
Gambar 2.13. Perubahan distribusi anion selama *anodizing*  
Sumber : Sato T (1997:211)

Pada gambar 2.13 di atas, dapat dilihat bahwa kandungan anion pada lapisan film oksida tidak seragam tetapi distribusinya lebih rapat pada tengah lapisan *barier* dan dinding pori. Hal ini disebabkan adanya perbedaan konsentrasi air yang terkandung pada dinding pori dan lapisan *barrier*.

## 2.11. Waktu *Anodizing*

Apabila untuk menghasilkan ketebalan film oksida dengan ketebalan X meter dibutuhkan waktu T detik bukan berarti bila waktu anodizing menjadi 100 T detik, maka ketebalannya juga akan meningkat menjadi 100X meter.

Hal ini dapat djelaskan melalui gambar 2.14 bahwa pada ketebalan tertentu ujung dari dinding pori akan meruncing dan bila ketebalan lapisan berpori ini meningkat maka ujung dari tepi pori ini akan memudar karena terkikis oleh larutan elektrolit, sehingga film oksida memiliki ketebalan maksimum.



The change of cross section of oxide film structure through anodizing time

Gambar 2.14. Pengaruh waktu terhadap lapisan oksida  
Sumber : Sato T (1997:215)

Selain itu jika waktu *anodizing* diperlama maka jumlah pori akan meningkat, hal ini berarti bahwa tebal dari dinding pori akan menjadi tipis, sehingga sifat ketahan-

abiasi dan kekerasannya menurun. Akan tetapi untuk pewarnaan dan bertujuan dekoratif, hal ini akan sangat bagus.

## 2.12. Tegangan (*Voltage*)

Hal yang perlu diperhatikan adalah struktur film oksida sangat sensitif merespon setiap perubahan dalam aplikasi tegangan listrik selama proses *anodizing* aluminium. Karena perubahan pada struktur lapisan film oksida bisa terjadi, saat terjadi perubahan tegangan listrik yang diaplikasikan pada proses anodizing. Jika aluminium di *anodizing* dengan menggunakan tegangan listrik 20 V, dan kemudian tegangan dinaikkan menjadi 30 V, maka akan terjadi perubahan pada struktur dari lapisan film oksida.

Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 2.5 dan tabel 2.6, saat tegangan listrik rendah akan terbentuk *porous* dalam jumlah yang banyak, namun ketebalan dinding *porous layer* dan *barrier layer* relatif tipis. Sebaliknya, saat tegangan semakin tinggi jumlah *porous* menjadi semakin sedikit. Selain itu ketebalan dari dinding *porous layer* dan ketebalan *barrier layer* menjadi bertambah pula.

Pada tabel 2.5 dapat diketahui ketebalan *barrier layer* pada *asam sulfat* adalah 10 angstrom/V. Jika pada saat proses voltase dinaikkan menjadi 15 V maka ketebalan *barrier layer* menjadi  $10 \text{ angstrom/V} \times 15 \text{ V} = 150 \text{ angstrom}$ . Karena ketebalan dinding *pores* dua kali ketebalan *barrier layer* maka  $150 \text{ angstrom} \times 2 = 300 \text{ angstrom}$ . Dari analogi ini dapat diasumsikan semakin tebal dinding *porous layer* maka jumlah *pores* pada layer ini menurun.

Tabel 2.5. Ketebalan dari *barrier layer* dari bermacam tipe *anodizing*

(Anodizing bath)	(Thickness of barrier layer)
15 % (Sulfuric acid bath) (10 °C)	10.0 Å/V
2 % (Oxalic acid bath) (24 °C)	11.8 Å/V
4 % (Phosphoric acid bath) (24 °C)	11.9 Å/V
3 % (Chromic acid bath) (38 °C)	12.5 Å/V

Sumber : Sato T (1997:101)

Tabel 2.6. Menurunnya jumlah *pores* dari bermacam tipe *anodizing* seiring meningkatnya voltase pada proses anodizing

(Anodizing conditions)		( $\times 10^3/\text{cm}^2$ ) (Number of pores)
15 % (Sulfuric acid bath) 10 °C	15 V	76
	20 V	52
	30 V	28
2 % (Oxalic acid bath) 25 °C	20 V	35
	40 V	11
	60 V	6
3 % (Chromic acid bath) 50 °C	20 V	22
	40 V	8
	60 V	4
4 % (Phosphoric acid bath) 25 °C	20 V	19
	40 V	8
	60 V	4

Sumber : Sato T (1997:102)

### 2.13. Hipotesis

Dengan menggunakan berbagai variasi waktu (15 menit s/d 35 menit). Bila waktu proses diperlama, maka tingkat porositas akan semakin tinggi. Selain itu, semakin lama waktu yang digunakan untuk proses *anodizing* maka ketahanan terhadap abrasi atau keausan akan menurun.

Dengan menggunakan variasi tegangan listrik yang semakin meningkat pada proses anodizing antara 6V s/d 25 V, jumlah *porous* menjadi semakin sedikit, sehingga tingkat porositas akan semakin menurun. Selain itu semakin tebal pula lapisan oksida yang terbentuk. Lapisan oksida yang tebal ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap aus dan abrasi pada tingkat menengah.