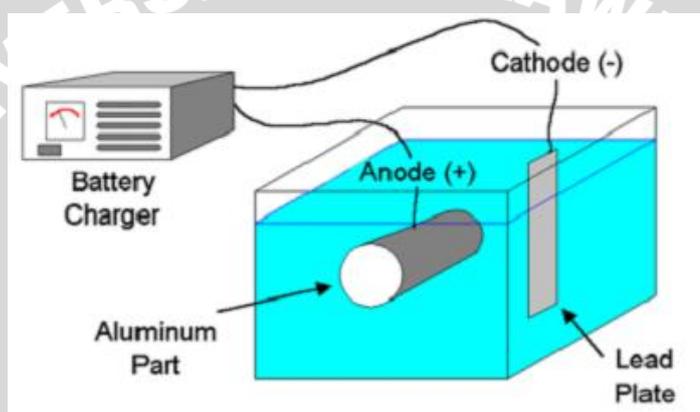


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Dan Prinsip Anodizing

Anodizing adalah suatu proses elektrokimia yang berfungsi untuk mempertebal dan memperkeras lapisan oksida sebagai lapisan pelindung secara alami pada logam. Dalam proses *anodizing* lapisan oksida dibentuk dan dikombinasikan dengan logam oleh aliran listrik yang melewati larutan dimana logam tersebut dicelupkan. Skema ilustrasi proses *anodizing* ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut ini ;



Gambar 2.1 : Skema Ilustrasi Proses Anodizing
Sumber: ATM Page Anodizing,2001

Pada prinsipnya proses *anodizing* menghasilkan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam ketika arus searah dan *voltage* tertentu dialirkan pada larutan elektrolit. Lapisan logam aluminium hasil *anodizing* tersebut berupa alumina/aluminium oksida (Al_2O_3). Lapisan inilah yang akan menyebabkan logam memiliki ketahanan korosi dan keausan yang baik. Untuk proses lebih lanjut lapisan ini memungkinkan untuk dilakukan pewarnaan sehingga dapat memberikan penampilan yang lebih menarik. *Anodizing* bisa dilakukan pada tiga jenis larutan elektrolit, yaitu pada media elektrolit asam, garam dan basa.

Aplikasi dari *anodizing* pada aluminium antara lain adalah pada industri *automobile* seperti pembuatan piston dan roda gigi, komponen turbin kecepatan tinggi, konstruksi kapal laut, peralatan kedokteran/medis, kebutuhan desain interior *arsitektural* seperti bingkai jendela ataupun *cup* lampu, *casing* computer, dan lain sebagainya. dapat dilihat di gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 :Produk Hasil Anodizing
Sumber: Mahmud. 2012. Google Search.

2.2 Klasifikasi Anodizing

2.2.1 Berdasarkan Sumber Arus

Berdasarkan sumber arus saat proses, *anodizing* dibagi menjadi 2, yaitu AC *anodizing* dan DC *anodizing*.

1) AC *anodizing*

AC *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus bolak-balik (*alternating current*). 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 di tekuk atau di rol. Apabila pembuatan aluminium foil ini dilakukan dengan menggunakan AC *anodizing* maka akan diperoleh aluminium foil dengan sifat tahan tekuk..

2) DC *anodizing*

DC *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus searah (*direct current*). 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. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *continuous anodizing* dan *pulse anodizing*.

a) ***Continuous anodizing***

Continuous anodizing adalah jenis *anodizing* yang paling sering dilakukan. *Continuous anodizing* dilakukan dengan besar arus yang dialirkan saat proses *anodizing* dijaga konstan.

b) ***Pulse anodizing***

Pulse anodizing adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan rapat arus naik turun secara periodik. *Pulse anodizing* ini dilakukan dengan merubah rapat arus yang diberikan secara cepat.

2.2.2 Macam – Macam Anodizing

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah merubah permukaan aluminium menjadi aluminium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda didalam sel elektrolisis. Tiga macam proses *anodizing* :

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

Pada tipe ini larutan elektrolit yang digunakan adalah asam kromat (chromic acid) dan jika dibandingkan dengan yang lain lapisan oksida yang dihasilkan pada tipe ini paling tipis. Tebal lapisan yang dihasilkan antara 0,5 sampai 2,5 micron. *Chromic acid anodizing* memberikan sedikit pengaruh terhadap kekuatan *fatigue* dan sedikit korosif. Tipe ini sangat baik untuk pelapisan aluminium cor, dan biasa digunakan dalam kebutuhan militer, serta aplikasi *aerospace* yang memiliki fungsi dekoratif.

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

Sulfuric Acid Anodizing ini paling umum digunakan pada 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 25 micron. *Sulfuric anodizing* juga baik jika diberi pewarnaan yang dikarenakan lapisannya yang berpori. Selain itu *Sulfuric Acid Anodizing* memberikan ketahanan terhadap korosi dan sangat kuat. Tipe ini biasanya dipakai dalam kebutuhan arsitektur, perusahaan otomotif dan komputer.

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

Pada *Hard Coating Anodizing* ini dibutuhkan larutan elektrolit dengan konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi dan temperatur elektrolit yang lebih rendah dengan *current density* yang besar sehingga akan dihasilkan lapisan

oksida yang keras dan tebal dengan ketahanan abrasi, ketahanan korosi yang lebih baik bila dibandingkan dengan tipe lainnya. Lapisan permukaan yang dihasilkan sangat keras (Rockwell C-Scale naik sampai 70). Ketebalan lapisan yang dihasilkan dari 12,5 sampai 100 mikron. Logam yang dihasilkan dari proses *hard coating anodizing* ini kekerasan permukaannya meningkat. Umumnya aluminium hasil *hard coating anodizing* digunakan dalam bahan non-dekoratif seperti peralatan pengemas makanan, piston, silinder, gir.

2.3 Elektrolit

Elektrolit adalah 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). Fungsi dari elektrolit disini adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Daya hantar listrik larutan elektrolit bergantung pada jenis dan konsentrasinya. Macam-macam larutan elektrolit adalah diantaranya larutan asam, basa dan garam.

2.3.1 Elektrolit Asam (Acid Electrolyte)

Elektrolit asam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (H^+). Elektrolit-elektrolit asam tersebut bila dilarutkan dalam pelarut (biasanya adalah air) maka akan terurai menjadi ion H^+ , contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4) dan asam klorida (HCl). Berdasarkan kandungan ion H^+ , elektrolit asam dapat dibagi tiga, yaitu asam *monoprotik*, asam *diprotik*, dan asam *triprotik*, seperti berikut penjelasannya:

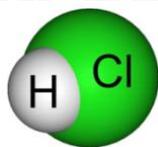
1. Asam Monoprotik

Asam ini merupakan asam dengan molekul yang dapat menyumbangkan satu proton ke sebuah molekul air. Contoh asam monoprotik adalah HCl yang larut dalam air dengan reaksi ditunjukkan pada rumusan (2-1) berikut :



Asam klorida (HCl)

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl). Asam ini termasuk asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. Senyawa ini juga digunakan secara luas dalam industri. Asam klorida harus ditangani dengan wewanti keselamatan yang tepat karena merupakan cairan yang sangat korosif. Struktur molekul HCl digambarkan pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 : Struktur Molekul HCl

Sumber: Anonymous 2, 2011

Dalam larutan asam klorida, H^+ ini bergabung dengan molekul air yang membentuk ion hidronium (H_3O^+).

2. Asam Diprotik

Asam diprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang dua proton ke dalam molekul air. Contoh asam diprotik adalah asam sulfat. Asam sulfat memiliki sifat yang sangat *korosif* (merusak logam). Sering juga digunakan untuk membersihkan bekas-bekas kotoran ataupun lemak pada permukaan logam. Asam sulfat mengalami disosiasi dalam air melalui dua tahap sebagaimana di tunjukan pada rumusan 2-2 dan 2-3 berikut :



Asam oksalat termasuk jenis asam dari senyawa organik yang dapat melepaskan ion H^+ dalam larutannya. Pada proses *anodizing*, asam oksalat juga sering dipakai sebagai katalis atau biasa dipakai sebagai larutan penyangga yang bisa mempertahankan ion H^+ dari larutan asam utama tidak mudah menguap ke udara sehingga secara alamiah derajat keasaman juga bisa dipertahankan dan akan mempercepat reaksi pada *hard anodizing* dengan suhu yang relatif lebih tinggi . Beberapa informasi dan sifat-sifat dari asam oksalat dapat dilihat pada tabel 2.1 :

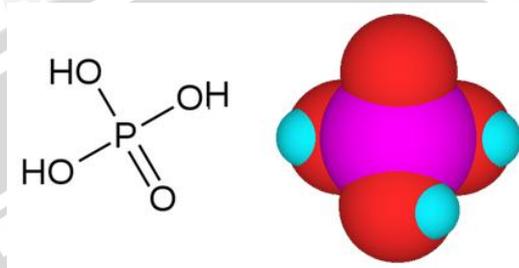
Tabel 2.1 Informasi dan Beberapa Sifat Dari Larutan Asam Oksalat

Informasi dan Sifat-sifat	
Densitas	1,90 g/cm ³
Kelarutan dalam air	9,5 g/100 ml (15 ⁰ C)
	14,3 g/100 ml (25 ⁰ C)
	120 g/100 ml (100 ⁰ C)
Titik didih	101 - 102 ⁰ C
Rumus Molekul	H ₂ C ₂ O ₄
Wujud	Kristal Putih

Sumber : Anonymous 1 (2012)

3. Asam Triprotik

Asam triprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang tiga proton ke sebuah molekul air. Salah satu contoh asam triprotik adalah asam fosfat. Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan salah satu asam yang dapat digunakan dalam proses *anodizing*. Molekul dari asam fosfat ini terdiri dari tiga atom hidrogen, satu atom fosfor dan empat atom oksigen seperti yang terlihat pada gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4 : Struktur molekul H_3PO_4
Sumber : Anonymous 2 (2012)

Asam fosfat merupakan asam yang mengalami disosiasi dalam air dalam tiga tahap yaitu pada rumusan 2-4, 2-5 dan 2-6 berikut:



Beberapa informasi dan sifat-sifat dari asam fosfat dapat dilihat pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Informasi Dan Beberapa Sifat Dari Larutan Asam Fosfat

Informasi dan Sifat-sifat	
Densitas	1,68 g/cm ³
Massa Molar	42,35 ⁰ C
Titik didih	158 ⁰ C
Rumus Molekul	H_3PO_4
Wujud	Cair

Sumber : Anonymous 3 (2012)

2.3.2 Elektrolit Basa (*Bases Electrolyte*)

Adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (OH^-). Contoh dari elektrolit alkali adalah NaOH (*Caustic Soda*) apabila dilarutkan dalam air maka akan terurai menjadi ion Na^+ dan ion OH^- .

2.3.3 Elektrolit Garam (*Salts Electrolyte*)

Adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion-ion selain H^+ dan ion OH^- . Contoh elektrolit garam adalah Natrium Klorida ($NaCl$), apabila dilarutkan dalam air maka akan terurai menjadi ion Na^+ dan ion Cl^- .

2.4 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. (Surdia, 1999). Aluminium mempunyai daya ikat yang tinggi dengan oksigen. Pada udara terbuka yang kering, aluminium akan membungkus dirinya sendiri dengan suatu lapisan oksida. Sifat-sifat yang dimiliki aluminium, di lihat pada gambar 2.5:



Gambar 2.5 : Aluminium
Sumber : anonymous 2, 2012

Dan dapat di lihat pada tabel 2.3 dibawah ini sifat fisik dari Aluminium tersebut:

Tabel 2.3 :sifat fisik Aliminium

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm ³
Titik lebur	660,32°C
Titik didih	2519°C
Kalor jenis (25°C)	24,2 J/mol K
Resistansi listrik (20°C)	28,2 nΩ m
Konduktivitas thermal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian thermal (25°C)	23,1 μm/m K
Modulus young	70 N/m ²
Modulus geser	26 N/m ²

Poisson ratio	0,35
Kekerasan skala Mohs	2,75
Kekerasan skala Vickers	167 VHN
Kekerasan skala Brinell	245 BHN

Sumber: Suhariani 2008, sifat-sifat aluminium dkk (2012: 17)

Aluminium dapat digolongkan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM) menggunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Standarisasi aluminium dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Standar Paduan Aluminium

Standar AA	Standar Alcoa Terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069		Mg, Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur utama

(Sumber: Surdia, 1999: 135)

Tabel diatas dapat dijelaskan pada penjelasan berikut:

1. 1XXX (Al-Murni)

Aluminium jenis ini kemurniannya 99,0% hingga 99,9% dengan aplikasi di bidang kelistrikan. Aluminium jenis ini mempunyai sifat tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik serta mampu las yang baik. Namun, kekuatannya relatif rendah.

2. 2XXX (Al-Cu).

Paduan dengan unsur paduan Cu atau tembaga ini adalah jenis *heat treatable*. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan terhadap korosinya rendah bila dibandingkan dengan paduan lainnya.

3. 3XXX (Al-Mn)

Mn merupakan unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi sehingga biasanya digunakan untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan jenis ini sangat mudah untuk dibentuk, mempunyai sifat mampu las dan

mampu potong yang baik. Dari segi kekuatan, paduan jenis ini lebih unggul dari pada Al murni.

4. 4XXX (Al-Si)

Paduan jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi terak. Selain itu paduan ini juga mudah ditempa, dan memiliki koefisien pemuaian panas yang rendah.

5. 5XXX (Al-Mg)

Paduan Al-Mg termasuk paduan yang tidak dapat di-*heat treatment*, tetapi mempunyai daya tahan korosi yang baik, terutama korosi oleh air laut. Selain itu paduan jenis ini mempunyai sifat mampu las dan potong yang baik. Sehingga pada pengaplikasiannya sering digunakan untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. 6XXX (Al-Mg-Si)

Aluminium 6061 adalah aluminium paduan jenis ini mengandung magnesium dan silikon yang paling dominan sebagai paduannya yaitu sekitar 0,8%. Dengan karakteristik ketangguhan yang baik dan paduan yang *heat treatable*, maka aluminium paduan seri 6061 merupakan paduan yang paling luas pemakaiannya pada seri 6xxx. Aluminium paduan tipe 6061 juga mempunyai sifat mampu bentuk yang baik dan memiliki sifat tahan korosi (Husaini, 2006) Selain pada kendaraan bermotor, paduan ini biasanya digunakan sebagai bahan untuk pembuatan sayap pada industri pesawat terbang. Berikut adalah kandungan dari aluminium paduan tipe 6061:

Tabel 2.5 Kandungan Aluminium Paduan tipe 6061

Unsur	Jumlah (%)
Magnesium	0.08
Silikon	0.68
Tembaga	0.21
Seng	0.06
Titanium	0.08
Mangan	1.01
Kromium	0.05
Besi	0.22
Aluminium	Balance

7. 7XXX (Al-Zn)

Unsur utama dalam paduan ini adalah Zn. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan unsur Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tariknya mampu mencapai 50 N/mm². Paduan ini merupakan paduan yang mempunyai kekuatan tertinggi diantaranya paduan aluminium lainnya dan banyak digunakan pada konstruksi pesawat terbang.

8. 8XXX

Golongan ini digunakan untuk mengidentifikasi paduan yang unsur utamanya adalah unsur selain Cu, Mn, Si, Mg, Mg-Si, ataupun Zn.

2.5 Titanium

Titanium adalah sebuah unsur kimia yang dalam tabel periodik memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Logam ini kuat, berkilau, tahan korosi termasuk tahan terhadap air laut dengan ciri-ciri warna putih metalik keperakan. Titanium merupakan *light metal* yang memiliki massa jenis paling berat. Titanium mempunyai berbagai keunggulan sebagai berikut (Ibnu, 2011):

- Salah satu karakteristik Titanium yang paling terkenal adalah dia sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja.
- Kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi daripada paduan aluminium.
- Tahan terhadap suhu yang tinggi karena titik lebur titanium adalah 1941°K (1668°C)
- Ketahanan korosi titanium lebih tinggi daripada aluminium dan baja.

Dari beberapa keunggulan tersebut, produksi titanium dalam perkembangan industri sudah tidak asing lagi karena titanium dapat diaplikasikan dalam beberapa hal, sebagai berikut (Ibnu, 2011):

- Industri
Beberapa mesin pemindah panas (*heat exchanger*) dan bejana bertekanan tinggi serta pipa-pipa tahan korosi memakai bahan titanium.
- Kedokteran
Bahan implan gigi, penyambung tulang, pengganti tulang tengkorak, struktur penahan katup jantung.
- Mesin
Material pengganti untuk batang piston.

Reaksi kimia pada permukaan titanium dengan udara adalah dirumuskan pada rumusan 2-7 sebagai berikut:



Untuk reaksi kimia antara titanium dengan asam fosfat adalah dirumuskan pada rumusan 2-8 sebagai berikut:



2.6 Proses Anodizing

Mekanisme proses *anodizing* berbeda dengan elektroplating. Pada elektroplating benda kerja diposisikan pada katoda, maka pada *anodizing* benda kerja diposisikan pada anoda dimana logam pada anoda akan mengalami oksidasi yang selanjutnya akan bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan oksida pada anoda. Sedangkan pada katoda logam hanya sebagai medium penghantar (Gazzapo, 1994:3).

Sebelum melakukan proses *anodizing*, dilakukan terlebih dahulu proses *pre-treatment*. Proses ini merupakan langkah awal sebelum proses *anodizing*. Tujuan dari *pre-treatment* ini adalah agar aluminium hasil *anodizing* menjadi baik. Proses *pre-treatment* antara lain, adalah:

1. *Degreasing*

Degreasing adalah langkah awal yang dilakukan dalam proses *anodizing*. *Degreasing* dilakukan untuk menghilangkan minyak atau lemak yang terdapat pada permukaan aluminium sebelum di *anodizing*. *Degreasing* dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat dengan temperatur 60°C sampai 80°C dan dilakukan selama 5 menit.

2. *Etching*

Etching dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan lapisan oksida murni yang terdapat pada aluminium. Lapisan oksida murni aluminium akan hancur karena direndam dalam larutan basa kuat yang dalam hal ini digunakan larutan NaOH. Proses ini dilakukan pada temperatur 30°C sampai 50°C dan proses perendamannya dilakukan selama 5 menit.

3. *Desmutting*

Desmutting adalah proses pembersihan bercak-bercak hitam akibat reaksi dari paduan aluminium dengan NaOH yang dilakukan pada proses *etching*. *Desmutting* dilakukan dengan cara merendam spesimen ke dalam larutan asam nitrat pada temperatur 25°C - 40°C selama 5 menit.

4. *Rinsing*

Rinsing adalah proses pembersihan benda kerja (aluminium) dengan menggunakan air murni (*destilated water*). Tujuannya adalah untuk membersihkan benda kerja dari sisa-sisa zat kimia yang terbawa dari proses yang dilakukan sebelumnya.

Rinsing dilakukan pada setiap proses yang sudah dilakukan baik *pre-treatment* (*degreasing, etching, desmutting*) ataupun *anodizing*.

5. *Drying*

Setelah melewati beberapa tahap dalam proses *anodizing*, maka benda kerja hasil *anodizing* dikeringkan dengan cara mengusap benda kerja pada kain yang bersih dan halus serta meletakkannya pada tempat yang kering.

2.7 *Current Density*

Arus listrik adalah pergerakan muatan-muatan listrik. Sebenarnya yang bergerak adalah elektron-elektron dalam sebuah penghantar namun timbul asumsi bahwa arus listrik adalah pergerakan muatan listrik dari positif (+) ke negatif (-). Sedangkan tegangan listrik adalah beda potensial antara kutub positif (+) dengan negatif (-) (METALAST, 2000:2). Jika antara dua titik, diberi tegangan atau dibuat beda potensial maka akan mengalir arus listrik dari yang memiliki potensial lebih positif ke arah yang lebih negatif. Jadi intinya adalah arus listrik akan timbul jika ada beda potensial dari kedua kutub.

Secara garis besar, arus ada dua macam yaitu arus AC (*Alternating Current* atau bolak balik) dan DC (*Direct Current* atau searah). Perbedaan antara arus AC dan DC adalah jika arus AC mengalir secara bolak balik dari positif ke negatif. Sedangkan arus DC mengalir dari positif ke negatif secara kontinu (tetap). Satuan arus listrik adalah Ampere, yang diartikan sebagai banyaknya muatan (Q) yang mengalir tiap satuan waktu (t). ditunjukkan pada rumusan 2-9 berikut:

$$i = \frac{Q}{t} \quad (2-9)$$

Dengan :

i = arus yang mengalir [Ampere]

Q = banyaknya muatan listrik [Coulomb]

t = waktu [detik]

Sementara berdasarkan hukum Ohm, arus listrik memiliki hubungan matematis dengan tegangan dan hambatan (Tripler : 2001) dapat ditunjukkan pada rumusan 2-10 berikut :

$$V = i \times R \quad (2-10)$$

Dengan :

V = beda potensial (tegangan listrik) [Voltage]

i = arus listrik yang mengalir [Ampere]

R = hambatan [Ohm]

Pengaruh Rapat Arus pada *Anodizing* Asam fosfat

Current density atau kerapatan arus adalah arus yang mengalir per satuan luas permukaan. Satuan current density (J) adalah Ampere/dm². Rapat arus yang digunakan dalam proses *anodizing* biasanya berkisar antara 1-2 A/dm², namun pada *anodizing* asam fosfat bisa menggunakan arus 1-3 A/dm². Di tunjukkan pada rumusan 2-11 berikut :

$$J = \frac{i}{A} \quad (2-11)$$

Dengan :

J = *current density* [A/dm²]

i = arus yang mengalir [Ampere]

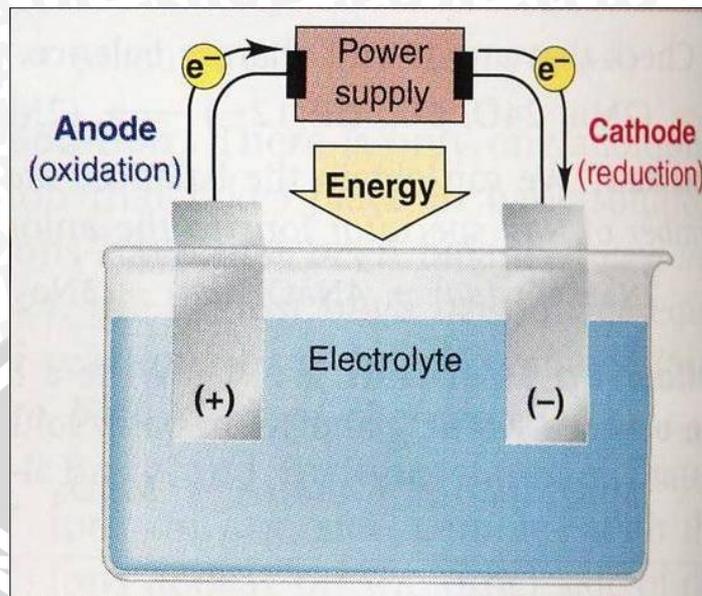
A = luas permukaan spesimen [dm²]

2.8 Elektrolisa dan Reaksi Redoks

Reaksi redoks didefinisikan sebagai sebuah proses yang melibatkan perpindahan elektron dari satu reaktan ke reaktan lainnya (Purtadi, 2006:95). Elektrolisa adalah peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Alat elektrolisis terdiri atas sel elektrolitik yang berisi elektrolit dan dua elektroda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, sedangkan pada elektroda katoda terjadi reaksi reduksi.

Dalam sistem elektrolisa, elektroda yang bermuatan positif disebut anoda dan yang negatif disebut katoda. Selama proses elektrolisa berlangsung, terjadi reaksi reduksi pada katoda dan oksidasi pada anoda. Ion-ion bermuatan negatif mengalir ke anoda

untuk dioksidasi, sedangkan ion-ion bermuatan positif mengalir ke katoda untuk direduksi (Wicaksono, 2007:9). Skema proses elektrolisa dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.6 : Skema proses Elektrolisis

Sumber: <http://glentchromat.files.wordpress.com/2010/02/sel-elektrolisis.jpg>

1. Sumber arus mengalirkan elektron dari anoda ke katoda. Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit sehingga pada permukaan katoda terjadi reduksi.
2. Pada saat yang sama, anion (ion negatif) pada larutan elektrolit melepaskan elektron. Dan melalui anoda, elektron dikembalikan ke sumber arus. Dengan demikian, pada permukaan anoda terjadi reaksi oksidasi.

Pada reaksi redoks terjadi beberapa fenomena, yaitu:

a. Reaksi oksidasi yaitu suatu perubahan kimia ketika :

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

b. 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)

2.9 Deret Volta

Alesandro Giuseppe Volta (1745-1827) dari Italia menemukan bahwa setiap logam mempunyai sifat reduktor (cenderung melepaskan elektron). Ada yang kuat (mudah teroksidasi) seperti logam-logam alkali, namun ada yang lemah (sulit teroksidasi) seperti logam mulia. Pada tahun 1825, Alesandro Giuseppe Volta menyusun urutan logam-logam yang dikenal saat itu yang baru berjumlah 20 jenis, dari reduktor terkuat hingga reduktor yang terlemah berdasarkan eksperimen. Urutan logam-logam tersebut kini disebut dengan deret Volta. Susunan deret Volta dapat dilihat dibawah ini:

K-Ba-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-H-Cu-Hg-Ag-Pt-Au

Semakin ke kiri letak suatu logam dalam deret Volta, sifat reduktornya semakin kuat. Oleh karena itu, suatu logam dalam deret Volta mampu mereduksi ion-ion di sebelah kanannya tetapi tidak mereduksi ion-ion di sebelah kirinya.

2.10 Lapisan yang Terbentuk pada Proses Anodizing

2.10.1 Aluminium Oxide Film (Film Oksida Aluminium)

Lapisan film oksida bisa terbentuk pada logam-logam tertentu, misalnya aluminium, niobium, tantalium, titanium, tungsten, dan zirconium. Lapisan film oksida terbentuk ketika logam-logam tersebut mengalami proses *anodizing*. Film oksida yang dihasilkan memiliki ketebalan, densitas, dan perkembangan *porous* (pori) yang bervariasi, tergantung logam yang digunakan.

Pada aluminium, lapisan film oksida yang terbentuk lebih tebal dan memiliki densitas *porous* yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena aluminium memiliki sifat yang mudah teroksidasi daripada jenis logam lainnya. Aluminium juga membentuk dua tipe lapisan oksida, yaitu *barrier oxide layer* dan *porous oxide layer*.

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam aluminium hasil *anodizing* digolongkan menjadi dua, yaitu:

1. Lapisan film oksida tipe penghalang (*barrier type oxide film*)

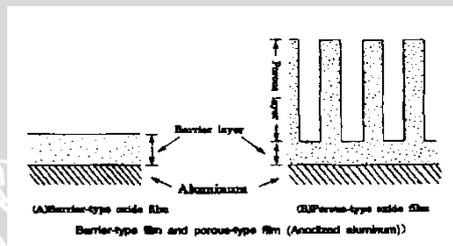
Lapisan tipe *barrier* akan terbentuk pada permukaan aluminium jika aluminium dianodisasi pada larutan netral ($5 < \text{pH} < 7$) misalnya pada larutan yang dibentuk dari pencampuran *boric acid* dengan *ammonium borate*.

Ketebalan lapisan tipe *barrier* dipengaruhi oleh tegangan saat *anodizing* berlangsung. Jika aluminium dianodisasi pada tegangan yang tinggi, maka akan

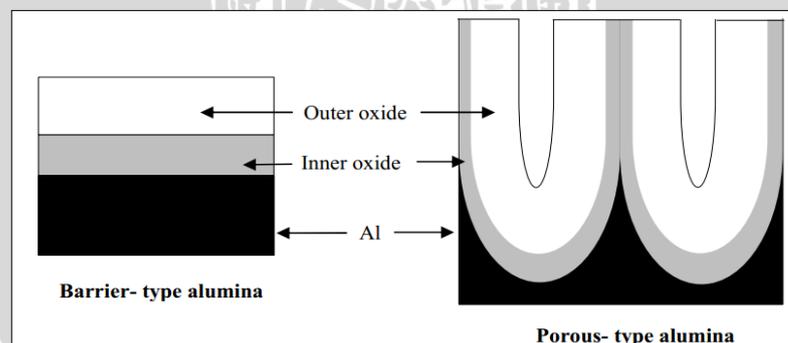
terbentuk lapisan film oksida *barrier* yang tebal. Namun batas maksimum pemberian tegangan adalah 500 volt – 700 volt, bila tegangan yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak akan terbentuk.

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

Lapisan tipe *porous* akan terbentuk jika aluminium dianodisasi pada larutan asam. Tiap-tiap tipe mengandung lapisan oksida dalam (*inner oxide*) dan lapisan luar (*outer oxide*). *Inner oxide* yang mengandung alumina (Al_2O_3) murni terbentuk karena reaksi antara oksida dan logam. Sedangkan *outer oxide* yang mengandung alumina yang terkontaminasi logam anionnya, terbentuk karena reaksi antara oksida dan larutan elektrolit sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.8 dan 2.9.



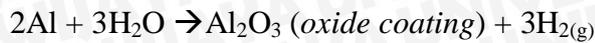
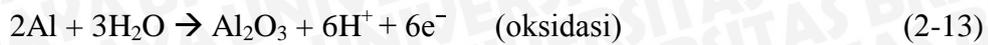
Gambar 2.7: Dua Tipe Lapisan Oksida Yang Terbentuk Pada Proses Anodizing Aluminium
Sumber: Sukmawan (2009:21)



Gambar 2.8: Struktur Sel pada Lapisan Oksida
Sumber: Sipayung (2008:13)

Pada reaksi pembentukan, ketika arus diberikan maka proses elektrolisa mulai berlangsung. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion. Pada katoda terjadi reaksi reduksi dan pada anoda terjadi reaksi oksidasi. Reaksi redoks adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia. Jika reaksi reduksi dan oksidasi dirangkai

dan disetarakan maka akan membentuk reaksi redoks, di tunjukan pada rumusan 2-13 dan 2-14 sebagai berikut:



Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion Al^{3+} dengan O^{2-} atau OH^- dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier*. Dalam lapisan ini terjadi reaksi penguraian ion HPO_4^- yang diperoleh dari penguraian asam fosfat pada larutan, seperti terlihat pada rumusan 2-15 berikut:



2.11 Kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakrataaan permukaan yang berupa kawah kecil atau guratan yang nantinya akan menjadi takikan tempat terjadinya konsentrasi tegangan, sehingga apabila mendapatkan pembebanan terus menerus dapat mengakibatkan patah.

Dalam pengukuran kekasaran, yang dihitung adalah kekasaran rata-ratanya. Kekasaran rata-rata dari sebuah permukaan yang diukur dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Ra (*roughness average*)

Roughness average merupakan rata-rata kekasaran dari pengukuran permukaan untuk panjang tertentu. Ra dapat dirumuskan pada rumus (2-16) berikut:

$$R_a = \frac{a+b+c+d+\dots}{n} \quad (2-15)$$

2. Rz (*ten points high of irregularities*)

Ten points high of irregularities (Rz) merupakan pengukuran berdasarkan nilai rata-rata lima puncak tertinggi dan lima lembah terendah. Rz dapat dirumuskan pada rumus (2-17) di bawah ini:

$$R_z = \frac{1}{5} (R_1+R_3+R_5+R_7+R_9) - \frac{1}{5} (R_2+R_4+R_6+R_8+R_{10}) \quad (2-16)$$

3. Rq

Rq merupakan nilai akhir rata-rata kuadrat dari pengukuran kekasaran untuk panjang tertentu. Rq dapat dirumuskan pada rumus (2-18) berikut:

$$R_q = \sqrt{\frac{a+b+c+d+\dots}{n}} \quad (2-17)$$

Pengukuran kekasaran permukaan aluminium hasil *hard anodizing* dapat dilakukan dengan menggunakan *surface roughness tester SJ-301* sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.11 di bawah ini:



Gambar 2.9: Alat Uji Kekasaran Permukaan *Mitutoyo SJ 301*
Sumber: Anonymous 4, 2012

2.12 Analisis ketebalan lapisan oksida

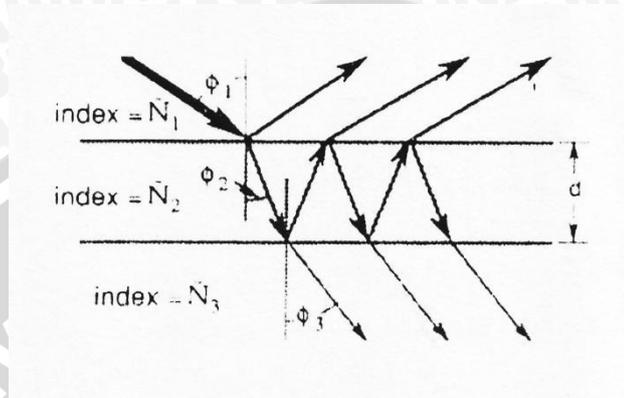
Penentuan ketebalan lapisan oksida dapat dilakukan dengan berbagai metode baik merusak maupun tidak merusak. Pengujian ketebalan lapisan dengan tidak merusak dapat dengan menggunakan *thickness coating gauge*. ditunjukkan pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.10: *thickness coating gauge*

Sumber :<http://www.made-in-china.com/showroom/China-ISO9001-and-CE-Certificated-Coating-Thickness-Gauge-TT220-.html>

Cara kerja alat ini menggunakan system pemantulan gelombang (SWE = *Single wavelight ellipsometry*). Parameter pengukuran dari alat ukur *thickness coating gauge* adalah membandingkan amplitudo pada permukaan I (N1) dengan amplitudo pantulan gelombang pada permukaan I setelah melewati lapisan oksida (N2). Sesuai dengan gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.11 : Sistem pemantulan gelombang pada lapisan oksida
Sumber : ASM Hand Book, 1994:1728

2.13 Hipotesa

Dari teori dan penjelasan di atas maka dapat diambil hipotesa bahwa semakin besar kuat arus dan tegangan listrik yang di gunakan maka lapisan oksida yang terbentuk akan semakin tebal yang menyebabkan banyaknya *porous*, sehingga kekasaran permukaannya meningkat.