

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Anodizing

*Anodizing* adalah sebuah proses elektrokimia yang bertujuan untuk mempertebal atau memperkuat lapisan *protektif* alami pada logam. Lapisan anodik adalah bagian dari logam yang dilapisi, namun memiliki struktur berpori yang dapat dimanfaatkan dalam proses pewarnaan. Proses ini dapat digunakan untuk mengubah permukaan logam menjadi lebih dekoratif dan tahan terhadap korosi. Aluminium adalah logam yang paling sesuai untuk *anodizing*. Logam *non-ferrous* lainnya yang dapat dipergunakan untuk *anodizing* adalah magnesium dan titanium. (Taufik, 2011)

Pada dasarnya proses *anodizing* merupakan proses rekayasa permukaan yang bertujuan untuk memproteksi logam dari korosi dan memaksimalkan struktur permukaan dari material hasil *anodizing* tersebut. Proses *anodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam.

##### 2.1.1 Klasifikasi Anodizing

*Anodizing* dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (Taufik, 2011)

###### a. Chromic Acid Anodizing (Tipe I)

Tipe ini menggunakan elektrolit *Chromic Acid* dan menghasilkan lapisan yang paling tipis, hanya sekitar 0,5 hingga 2,5 mikro meter. Pada saat proses berlangsung, 50 %  $Al_2O_3$  terintegrasi ke dalam substrat dan 50% pertumbuhan lapisan kearah luar. Lapisan yang dihasilkan cenderung lebih ulet dibanding tipe lain.

###### b. Sulfuric Acid Anodizing (Tipe II)

Tipe ini adalah tipe yang paling umum dilakukan yaitu menggunakan larutan Asam Sulfat sebagai elektrolit dengan kemampuan menghasilkan lapisan *protektif* hingga 25 mikro meter. Selama proses berlangsung 67% oksida *protektif* terintrograsi kedalam substrat dan sisanya tumbuh kearah luar. Lapisan yang dihasilkan *permeable* dan bersifat *porous* sehingga dapat dilakukan pewarnaan. Tipe II biasa digunakan untuk aplikasi arsitektur, bagian pesawat terbang, otomotif, maupun komputer.

###### c. Hard Anodizing (Tipe III)

Tipe ini menggunakan larutan elektrolit yang sama dengan tipe II namun dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada temperatur yang lebih rendah. Lapisan yang dihasilkan lebih tangguh, memiliki ketahanan abrasi yang baik,

ketahanan korosi, anti pudar, tahan terhadap suhu tinggi, dan memiliki kekerasan yang baik. Lapisan mencapai ketebalan 75 mikro meter sehingga juga dapat menjadi insulator listrik yang baik.

Perbedaan pertama antara proses *Sulfuric Acid Anodizing* dan *hard anodizing* adalah temperatur operasi dan kerapatan arus. Lapisan yang dihasilkan oleh *hard anodizing* lebih tebal dari pada *anodizing* konvensional dengan waktu yang sama. Proses *hard anodizing* menggunakan tangki asam sulfur *anodizing* berisi 10 sampai 15% berat asam, dengan atau tanpa tambahan. Temperatur operasi dari 0 sampai 10°C (32 sampai 50°F) dan kerapatan arus antara 2 dan 3,6 A/dm<sup>2</sup>. Temperatur yang tinggi menyebabkan struktur yang halus dan pori yang banyak pada lapisan terluar dari lapisan anodik. Perubahan dari karakteristik lapisan ini akan mengurangi ketahanan aus secara signifikan dan menuju ke batas ketebalan lapisan. Temperatur operasi yang besar menyebabkan lapisan tidak dapat larut dan dapat membakar dan merusak benda kerja.

Sedangkan *anodizing* berdasarkan sumber arus yang digunakan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu: (Sato, 1997:30)

a. AC *Anodizing*

AC *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus bolak-balik (*alternating current*). Proses pembentukan oksida pada AC *anodizing* lebih lambat dari pada DC *anodizing*. Hal ini disebabkan karena polaritas positif dan negatif *power supply* bergantian secara cepat. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan yang rendah.

b. DC *Anodizing*

DC *Anodizing* adalah *anodizing* dengan menggunakan arus searah (*direct current*). Proses pembentukan oksida pada DC *anodizing* lebih cepat daripada AC *anodizing*. Hal ini disebabkan karena *power supply / rectifier* selalu berada pada benda kerja. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan untuk memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan yang tinggi. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yakni *continuous anodizing* dan *pulse anodizing*.

- 1) *Continuous anodizing* adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan besar arus yang dialirkan secara konstan selama proses *anodizing*.

- 2) *Pulse anodizing* adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan rapat arus terputus-putus secara periodik dengan tujuan untuk menjaga temperatur agar tetap konstan.

## 2.2 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).

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.

## 2.3 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. Selain itu aluminium juga mempunyai sifat mampu bentuk (*wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin mataupun pengerjaan panas.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

	Kemurnian Al (%)	
	99,99%	>99,0%
Massa jenis (g/cm <sup>3</sup> )(20°)	2,6989	2,71
Titik cair (°C)	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g.°C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (1/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuai (20-100°C)	23,86x10 <sup>-6</sup>	23x10 <sup>-6</sup>
Jenis kristal, konstanta kisi	FCC, a=4,013kX	FCC, a=4,04kX

Sumber: Febryansyah, (2010)

Kelebihan aluminium antara lain adalah:

#### 1. Ringan

Aluminium merupakan logam yang sangat ringan, beratnya sekitar 2720 kg/m<sup>3</sup>. Oleh karena itu aluminium banyak menggantikan baja dalam berbagai hal seperti pada mobil, motor, kapal, alat rumah tangga dan lainnya.

#### 2. Tahan karat

Beberapa logam lain mengalami pengikisan bila terkena oksigen, air atau bahan kimia lainnya. Reaksi kimia akan menyebabkan korosi pada logam tersebut.

### 3. Hantar listrik yang baik

Aluminium adalah logam yang paling umum dipakai sebagai alat penghantar listrik, sebab mempunyai daya hantar kurang lebih 65% dari daya hantar tembaga. Disamping itu aluminium lebih liat sehingga lebih mudah diulur menjadi kawat.

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 2.2 berikut:

Tabel 2.2 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 <sub>2</sub> 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* yaitu aluminium paduan yang kekerasannya dapat ditingkatkan sampai tinggi melalui perlakuan panas (Grooves, 2002:2).

Tabel 2.3 kandungan aluminium 6061

Unsur	Kandungan (%)
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

Sumber: PT. Sutindo Sejahtera

#### 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  $50 \text{ N/mm}^2$ . 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.

## 2.4 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):

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

### a. Industri

Beberapa mesin pemindah panas (*heat exchanger*) dan bejana bertekanan tinggi serta pipa-pipa tahan korosi memakai bahan titanium.

### b. Kedokteran

Bahan implan gigi, penyambung tulang, pengganti tulang tengkorak, struktur penahan katup jantung.

### c. Mesin

Material pengganti untuk batang piston.

Reaksi kimia pada permukaan titanium dengan udara adalah dirumuskan pada rumusan 2-1 sebagai berikut:



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



## 2.5 Elektrolisa dan Reaksi Redoks

Reaksi redoks didefinisikan sebagai sebuah proses yang melibatkan perpindahan elektron dari satu reaktan ke reaktan lainnya. 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.

### 2.5.1 Anoda

Anoda adalah elektrode, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda mengalami oksidasi.

Perlu diperhatikan bahwa tidak selalu anion (ion yang bermuatan negatif) bergerak menuju anoda, ataupun tidak selalu kation (ion bermuatan positif) akan bergerak menjauhi anoda. Pergerakan anion maupun kation menuju atau menjauh dari anoda tergantung dari jenis sel elektrokimianya.

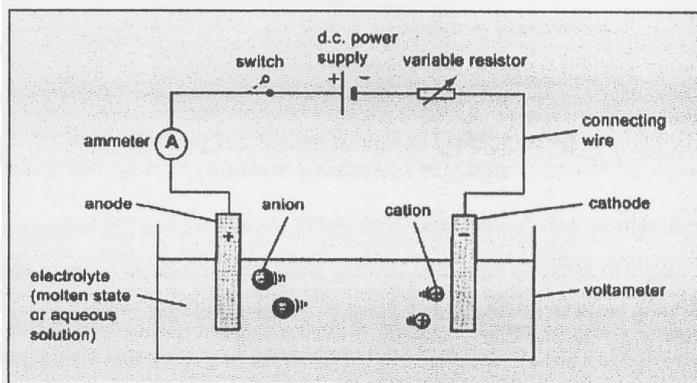
- Pada sel galvanik atau pembangkit listrik (baterai), anoda adalah kutub negatif. Elektroda akan melepaskan elektron menuju ke sirkuit dan karenanya arus listrik mengalir ke dalam elektrode ini dan menjadikannya anoda dan berkutub negatif. Dalam sel galvanik, reaksi oksidasi terjadi secara spontan. Karena terus menerus melepaskan elektron anoda cenderung menjadi bermuatan positif dan menarik anion dari larutan (elektrolit) serta menjauhkan kation.
- Pada sel elektrolisis, anoda adalah elektrode positif. Arus listrik dari kutub positif sumber tegangan listrik luar (GGL) dialirkan ke elektrode sehingga memaksa elektrode teroksidasi dan melepaskan elektron.

### 2.5.2 Katoda

Kebalikan dari Anoda, Katoda adalah kutub elektroda dalam sel elektrokimia yang terpolarisasi jika kutub ini bermuatan positif (sehingga arus listrik akan mengalir keluar darinya, atau gerakan elektron akan masuk ke kutub ini).

Pada baterai biasa (Baterai Karbon-Seng), yang menjadi kutub katoda biasanya adalah logam seng, yang juga sering menjadi pembungkus dari kotak baterai tersebut. Sedangkan pada baterai alkalin, yang menjadi katoda adalah logam mangan dioksida ( $MnO_2$ ).

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 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Skema Proses Elektrolisa  
Sumber: Wicaksono (2007:10)

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)

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

Tabel 2.4: energi potensial standar pada suhu 25<sup>0</sup>C.

Unsur	Energi Potensial E <sup>0</sup> (V)
$\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}(s)$	-3.0401
$\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}(s)$	-3.026
$\text{Rb}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}(s)$	-2.98
$\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}(s)$	-2.931
$\text{Ba}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ba}(s)$	-2.899
$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}(s)$	-2.8
$\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}(s)$	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}(s)$	-2.372
$\text{Ac}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Ac}(s)$	-2.20
$\text{Be}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Be}(s)$	-1.85
$\text{U}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{U}(s)$	-1.66
$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}(s)$	-1.66
$\text{Ti}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ti}(s)$	-1.63
$\text{Zr}^{4+} + 4e^- \rightleftharpoons \text{Zr}(s)$	-1.45
$\text{Ti}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Ti}(s)$	-1.37
$\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}(s)$	-1.185
$\text{V}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{V}(s)$	-1.13
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(s)$	-1.099
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(s)$	-0.7618
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$	-0.74
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(s)$	-0.44
$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}(s)$	-0.40
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}(s)$	-0.28
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}(s)$	-0.25
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(s)$	-0.13
$2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(g)$	-0.13
$\text{Cu}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(s)$	0.0000
$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s)$	+0.340
$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pt}(s)$	+0.7996
$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$	+1.188
$\text{Au}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$	+1.52
	+1.83

Sumber: Hartomo (2009).

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.

Sifat – sifat dari deret Volta adalah :

1. Semakin kecil (lebih negatif) harga E<sup>0</sup> suatu logam, makin kuat sifat reduktornya (makin ke kiri letaknya dalam deret Volta).
2. Logam-logam di sebelah kiri H dalam deret Volta memiliki E<sup>0</sup> negatif, dan logam-logam di sebelah kanan H dalam deret Volta memiliki E<sup>0</sup> positif.

## 2.7 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik. Berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan listrik, elektrolit dibagi menjadi dua yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik, digolongkan ke dalam elektrolit kuat, contohnya HCl, HBr, HI, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HNO<sub>3</sub> yang bersifat asam. Selain elektrolit kuat, ada pula elektrolit lemah contohnya CH<sub>3</sub>COOH, Al(OH)<sub>3</sub>, AgCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan CaCO<sub>3</sub>.

### 2.7.1 Elektrolit Asam (*Acid Electrolyte*)

Elektrolit asam adalah elektrolit yang apabila dilarutkan dalam air akan melepaskan ion (H<sup>+</sup>). Elektrolit-elektrolit asam tersebut bila dilarutkan dalam pelarut maka terurai menjadi ion H<sup>+</sup>, contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan asam klorida (HCl). Berdasarkan kandungan H<sup>+</sup>, elektrolit asam dapat dibagi menjadi tiga, yaitu asam *monoprotik*, asam *diprotik*, dan asam *triprotik*.

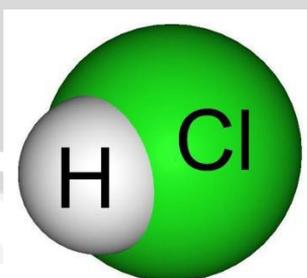
#### 2.7.1.1 Asam Monoprotik

Asam *monoprotik* adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbangkan satu proton ke sebuah molekul air. Contoh asam *monoprotik* adalah HCl yang larut dalam air dengan reaksi sebagai ditunjukkan pada rumusan 2-3 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 kewanti keselamatan yang tepat karena merupakan cairan yang sangat korosif. Struktur molekul HCl digambarkan pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Struktur Molekul HCl

Sumber: Anonymous 2, 2011

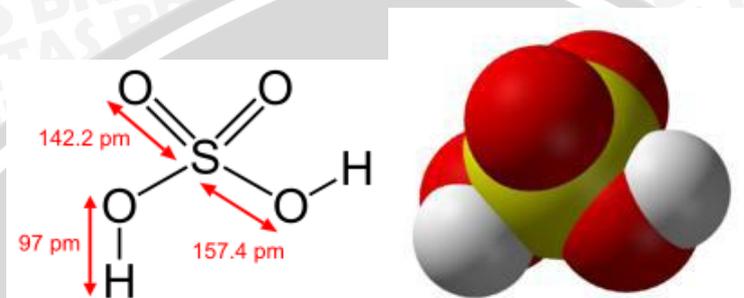
Dalam larutan asam klorida, H<sup>+</sup> ini bergabung dengan molekul air yang membentuk ion hidronium (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>).

### 2.7.1.2 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 (*Sulphuric Acid*)

Asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) merupakan asam yang sering digunakan dalam proses *anodizing*. Molekul dari asam sulfat terdiri dari dua atom hidrogen, satu atom belerang, dan empat atom oksigen seperti yang terlihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Struktur Molekul  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
Sumber: Myuliawan, 2009

Asam sulfat adalah asam kuat yang diperoleh dari pemecahan belerang trioksida ( $\text{SO}_3$ ) dalam air sebagaimana ditunjukkan pada rumusan 2-4 berikut:



Asam sulfat memiliki sifat korosif (dapat merusak logam). Asam jenis ini digunakan untuk membersihkan bekas-bekas kotoran ataupun lemak pada permukaan logam. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga apabila air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, ia akan dapat mendidih dan bereaksi dengan keras. Reaksi yang terjadi adalah pembentukan ion hidronium sebagaimana ditunjukkan pada rumusan 2-5 dan 2-6 berikut:



#### Asam Oksalat

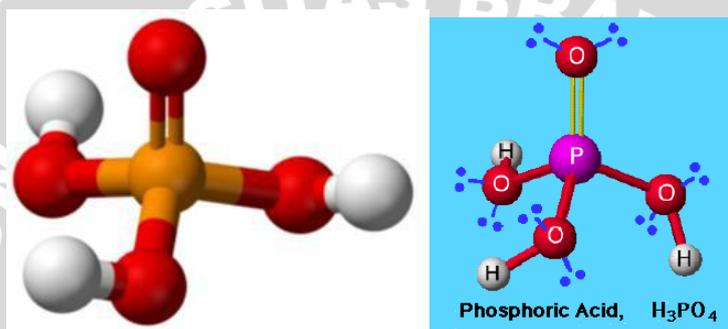
Asam oksalat adalah senyawa kimia yang memiliki rumus  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  dengan nama sistematis asam etanadioat. Asam dikarboksilat paling sederhana ini biasa digambarkan dengan rumus  $\text{HOOC-COOH}$ . Merupakan asam organik yang *relative* kuat, 10.000 kali lebih kuat daripada asam asetat.

### 2.7.1.3 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 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

#### Asam fosfat (*Phosphoric Acid*)

Asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) merupakan salah satu asam yang dapat digunakan dalam proses *anodizing*. Asam fosfat merupakan asam yang bersifat korosif tetapi tidak beracun. Asam fosfat sering digunakan untuk membersihkan kotoran-kotoran pada permukaan baja. Molekul dari asam fosfat ini terdiri dari tiga atom hidrogen, satu atom fosfat, dan empat atom oksigen seperti terlihat pada gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Struktur Molekul Asam Fosfat  
Sumber: Anonymous 3, 2012

Asam fosfat merupakan asam *triprotik* yang mengalami disosiasi dalam air dalam tiga tahap sebagai berikut:



### 2.7.2 Elektrolit Basa (*Bases Electrolyte*)

Elektrolit basa adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepaskan ion ( $\text{OH}^-$ ). Contoh dari elektrolit alkali adalah  $\text{NaOH}$  (*Caustic Soda*) apabila dilarutkan dalam air maka akan terurai menjadi ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$ .

### 2.7.3 Elektrolit Garam (*Salts Electrolyte*)

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

## 2.8 Lapisan Oksida

Aluminium oksida merupakan lapisan yang terbentuk akibat oksidasi antara aluminium dengan oksigen, dengan rumus kimia  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina.

Pada dasarnya pembentukan lapisan oksida harus memperhatikan dua reaksi kimia yang utama yaitu reaksi pembentukan dan reaksi peluruhan. Pada reaksi pembentukan ketika arus mulai diberikan, maka proses elektrolisa mulai berjalan. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi.

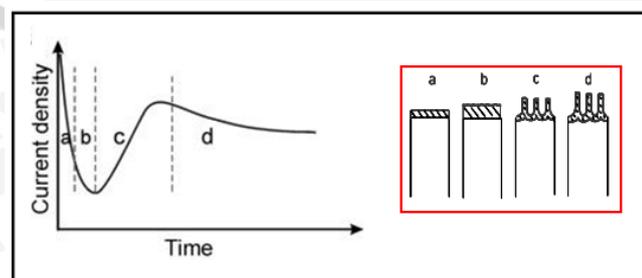
Lapisan oksida yang terbentuk pada hasil *anodizing* dengan larutan elektrolit asam fosfat akan menghasilkan lapisan ditunjukkan pada gambar 2.5. Pada mulanya arus yang melewati elektroda aluminium tinggi kemudian semakin lama arus yang melewati akan semakin mengecil. Hal ini disebabkan karena distribusi arus yang tidak merata karena terbentuknya suatu lapisan oksida pada permukaan aluminium yang mempunyai resistensi yang lebih tinggi dari aluminium itu sendiri. Pada ketebalan tertentu permukaan lapisan oksida yang terbentuk akan kasar sehingga aliran arus akan lebih terkonsentrasi pada permukaan yang lebih tipis. Hal ini juga mengakibatkan peningkatan temperatur elektrolit secara lokal pada tempat tersebut dimana memicu proses peluruhan semakin besar, sehingga lapisan akan semakin tipis dan terbentuklah lapisan berpori. Reaksi peluruhan yang terjadi ditunjukkan pada rumusan 2-10 sebagai berikut:



Sifat – sifat dari deret Volta adalah :

1. Makin kecil (lebih negatif) harga  $E^0$  suatu logam, makin kuat sifat reduktornya (makin kekiri letaknya dalam deret Volta).
2. Logam-logam di sebelah kiri H dalam deret Volta memiliki  $E^0$  negatif, dan logam-logam di sebelah kanan H dalam deret Volta memiliki  $E^0$  positif.

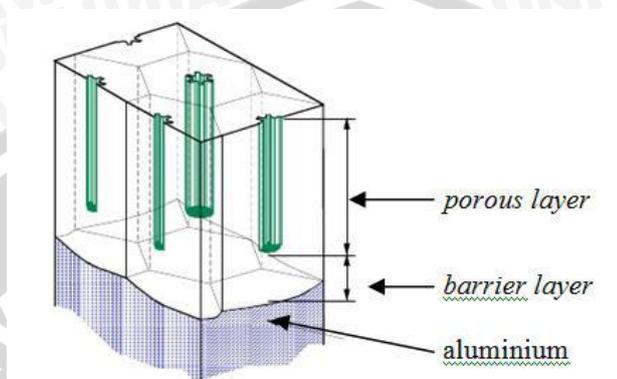
Mekanisme pembentukan lapisan oksida dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Mekanisme Pembentukan Lapisan Oksida

Sumber: Sulka, 2008: 29

Lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodizing* terdiri dari dua lapisan utama. Lapisan pertama adalah lapisan penghalang (*barrier layer*), dimana lapisan ini merupakan lapisan yang sangat keras dan tidak banyak berpori sedangkan lapisan kedua adalah lapisan berpori (*porous layer*) dan letaknya di atas lapisan penghalang. Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium terlihat pada gambar 2.6 di bawah ini:



Gambar 2.6 Lapisan Oksida yang Terbentuk Pada Permukaan Aluminium  
Sumber: Gazzapo (1994)

## 2.9 Lapisan yang Terbentuk pada Proses *Anodizing*

### 2.9.1 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*)

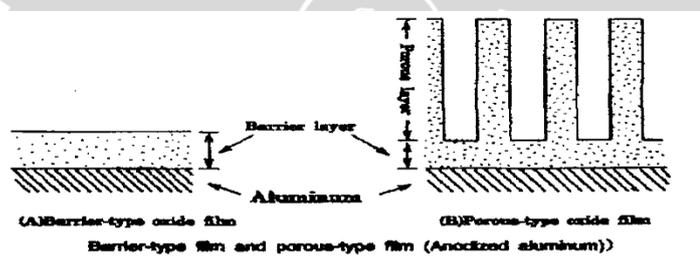
Lapisan tipe *barrier* akan terbentuk pada permukaan aluminium jika aluminium dianodisasi pada larutan netral ( $5 < \text{pH} < 7$ ) misalnya pada larutan yang dibentuk dari pencampuran *boric acid* dengan *ammonium borate*.

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

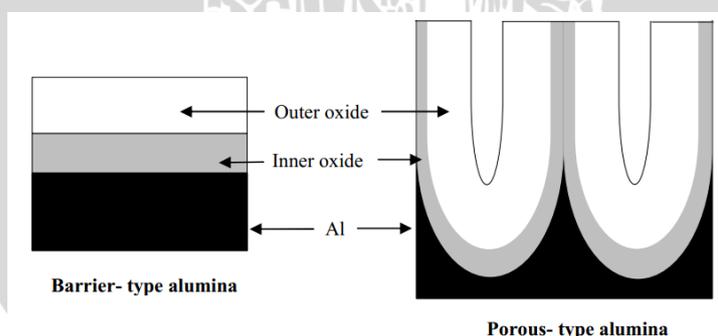
akan terbentuk lapisan film oksida *barrier* yang tebal. Namun batas maksimum pemberian tegangan adalah 500 volt – 700 volt, bila tegangan yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak akan terbentuk.

## 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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 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 2.7 dan 28.



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



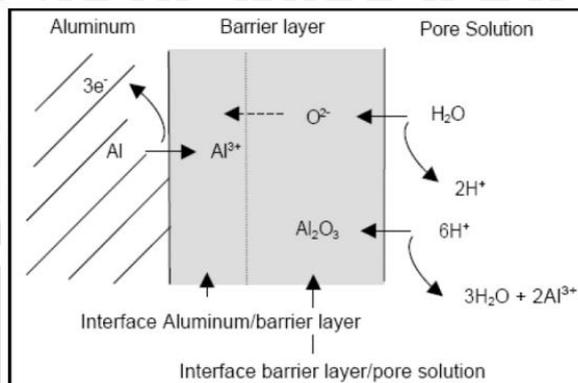
Gambar 2.8 Struktur Sel pada Lapisan Oksida  
Sumber: Anonymous 5 (2012:4)

### 2.9.2 Pembentukan Lapisan Oksida Tipe Pori

Pada dasarnya pembentukan lapisan oksida tipe pori harus memperhatikan dua reaksi kimia yang utama, yaitu:

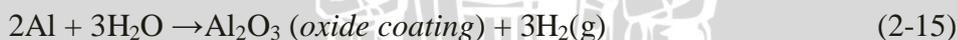


Reaksi pertama (2-11) menunjukkan reaksi pembentukan lapisan oksida aluminium dan reaksi yang kedua (2-12) menunjukkan reaksi pelarutan kimia dari lapisan oksida dalam larutan elektrolit asam fosfat. Kedua reaksi yang terjadi tersebut dapat diilustrasikan pada gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Ilustrasi Proses Terbentuknya Lapisan Oksida pada Aluminium  
Sumber: Wicaksono, 2007: 17

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 sebagai berikut:



Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion  $\text{Al}^{3+}$  dengan  $\text{O}^{2-}$  atau  $\text{OH}^-$  dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier*. Dalam lapisan ini terjadi reaksi penguraian ion  $\text{HPO}_4^-$  yang diperoleh dari penguraian asam fosfat pada larutan yaitu:



Reaksi kimia yang terjadi pada saat proses anodizing berlangsung adalah sebagai berikut :



Untuk anoda yaitu aluminium, pada awalnya akan terjadi reaksi oksidasi. Reaksi yang terjadi adalah :



Dari reaksi diatas menghasilkan  $O^{2-}$  yang akan dimanfaatkan ion-ion aluminium untuk membentuk lapisan oksida. Reaksi yang terjadi adalah :



Untuk titanium pada katoda akan terjadi reaksi reduksi. Reaksi yang terjadi adalah:



Setelah menghasilkan atom-atom titanium ini, selanjutnya akan bereaksi dengan  $H_2O$  hasil reaksi ionisasi  $H_3PO_4$  dan membentuk titanium dioksida. Berikut reaksinya:



Titanium dioksida inilah yang akan menempel pada permukaan aluminium dan akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada aluminium.

## 2. 10 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 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 kontinyu (tetap). Satuan arus listrik adalah *Ampere*, yang diartikan sebagai banyaknya muatan (Q) yang mengalir tiap satuan waktu (t).

$$i = \frac{Q}{t} \quad (2-23)$$

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)

$$V = i \times R \quad (2-24)$$

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/dm<sup>2</sup>. Rapat arus yang digunakan dalam proses *hard anodizing* biasanya berkisar antara 1-30 A/dm<sup>2</sup> (Apachitei, 2006)

$$J = \frac{i}{A} \quad (2-25)$$

Dengan :

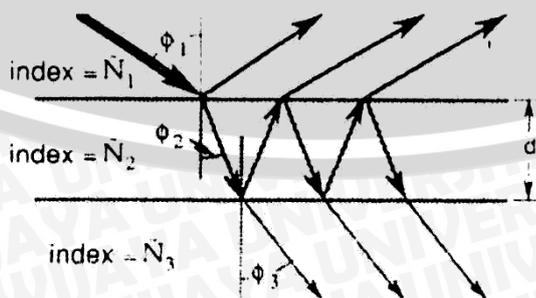
$J$  = *current density* [A/dm<sup>2</sup>]

$i$  = arus yang mengalir [Ampere]

$A$  = luas permukaan spesimen yang tercelup [dm<sup>2</sup>]

### 2.11 Pengujian Ketebalan Lapisan Oksida

Pengujian ketebalan lapisan oksida dilakukan dengan *Thickness Coating Gauge* dimana untuk mengukur ketebalan lapisan oksida tanpa memerlukan akses ke kedua sisi potongan benda uji (Anonymous 4). Alat ukur *Thickness Coating Gauge* bekerja dengan menentukan ketebalan sampel dengan menggunakan sistem pemantulan gelombang (SWE= *Single wavelight ellipsometry*). Parameter pengukuran dari alat ukur ini adalah dengan membandingkan amplitudo pada permukaan 1 (N1) dengan amplitudo pantulan gelombang pada permukaan 2 setelah melewati lapisan oksida (N2). Seperti pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Sistem Pemantulan Gelombang Pada Lapisan Oksida

Sumber: ASM Hand Book, 1994: 1728

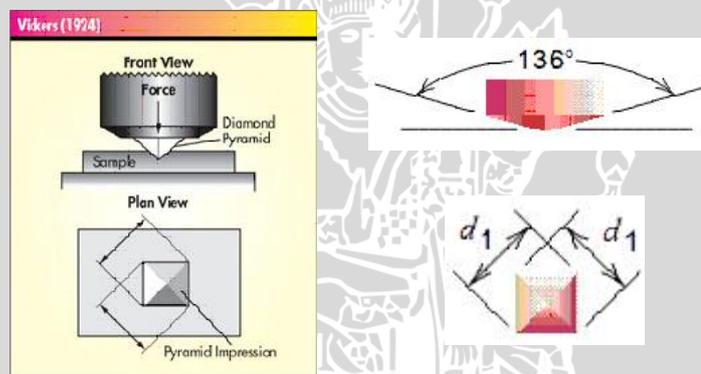
## 2.12 Kekerasan Permukaan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Vickers (HV / VHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk pyramid seperti ditunjukkan pada gambar 2.10.

Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor (diagonalnya) (A) yang dikalikan dengan sin ( $136^\circ/2$ ).



Gambar 2.11 Mekanisme Pengujian Vickers  
Sumber: Anonymous 6, 2012

Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode *vickers* dapat dilihat pada persamaan – persamaan di bawah ini :

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^\circ}{2} \quad (2-26)$$

$$HV = \frac{F \times \sin \frac{136^\circ}{2}}{\frac{d^2}{2}} \quad (2-27)$$

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \quad (2-28)$$

Dengan,

HV = Angka kekerasan *Vickers*

F = Beban (kgf)

d = Diagonal (mm)

### 2.13 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesis bahwa jika arus listrik dan tegangan semakin besar maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar, dengan demikian energi ionisasi yang dihasilkan akan semakin besar pula, sehingga titanium yang terionisasi akan semakin banyak dan titanium yang menempel pada aluminium akan semakin banyak, maka dari itu lapisan aluminium oksida yang terbentuk akan semakin banyak dan lapisan oksida yang terbentuk akan semakin tebal dan meningkatkan kekerasan permukaan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

