

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

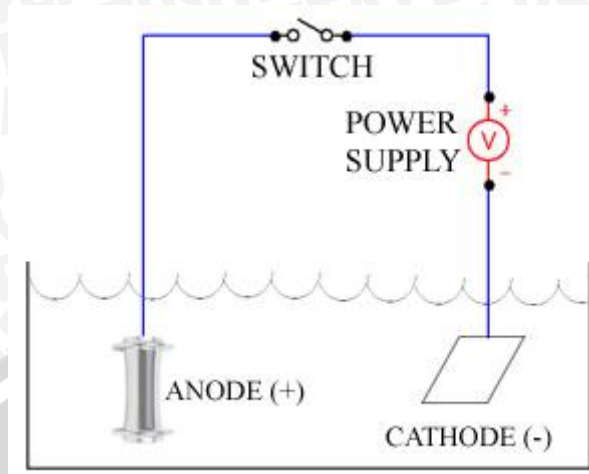
#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Sukmawan (2009) melakukan penelitian pengaruh variasi tegangan listrik serta waktu proses terhadap kualitas lapisan aluminium hasil *anodizing*. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah tegangan 6 volt, 12 volt, 15 volt, 18 volt dan 25 volt dan waktu proses menggunakan 15 menit, 20 menit, 25 menit 30 menit dan 35 menit. Variabel terikatnya adalah ketahanan aus dan tingkat porositas. Dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin tinggi tegangan listrik menyebabkan jumlah pores menjadi menurun dan ketebalan dinding pores akan semakin meningkat dan juga membentuk lapisan oksida yang relatif tebal. Lapisan oksida yang tebal ini meningkatkan ketahanan aus dan abrasi pada tingkat menengah. Untuk waktu proses yang semakin lama, maka jumlah pori pada logam akan meningkat. Hal ini berarti bahwa tebal dari dinding pori akan menjadi tipis. Tipisnya dinding dapat pula dihubungkan dengan menurunnya densitas dari permukaan aluminium hasil *anodizing*. Menurunnya densitas berimplikasi pada menurunnya kualitas kekerasan permukaan, sehingga sifat ketahanan abrasi menjadi turun.

Putra (2008) meneliti tentang pengaruh rapat arus terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan oksida pada permukaan aluminium 6063 hasil *hard anodizing* menyimpulkan bahwa peningkatan rapat arus  $1\text{A}/\text{dm}^2$  sampai dengan  $3\text{A}/\text{dm}^2$  mampu meningkatkan kekerasan permukaan aluminium dan ketebalan lapisan oksida, tetapi pada rapat arus di atas  $3\text{A}/\text{dm}^2$  kekerasan dan ketebalan lapisan oksida menurun.

Pamuji (2010) melakukan penelitian pengaruh jarak anoda katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing* menyimpulkan bahwa semakin tinggi jarak anoda katoda akan menghasilkan ketahanan aus yang semakin rendah.

## 2.2 Pengertian Anodizing



Gambar 2.1 : Instalasi sederhana proses anodizing  
Sumber : anonymous 1, 2012

Gambar 2.1 di atas menunjukkan proses *anodizing*. Menurut definisi *anodizing* merupakan proses pelapisan logam dengan cara elektrolisis untuk meningkatkan sifat mekanik permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrokimia yang merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Pada proses ini komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektroda dan elektrolit. Pada elektrolisis, katoda merupakan kutub negatif dan anoda merupakan kutub positif (Utami, *et al.* 2009). Pada dasarnya, proses *anodizing* merupakan proses rekayasa permukaan yang bertujuan untuk memproteksi atau melindungi logam dari korosi. Proses *anodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam.

## 2.3 Macam-macam Proses Anodizing

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah merubah permukaan aluminium menjadi aluminium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda di dalam sel elektrolisis. Secara umum proses *anodizing* terbagi menjadi tiga yaitu *Chromic Acid Anodizing*, *Sulfuric Acid Anodizing*, *Hard Anodize* :

### 2.3.1 Chromic Acid Anodizing

Larutan ini mengandung 3-10% berat  $\text{CrO}_3$ . Larutan dibuat dengan mengisi setengah tangki dengan air dan melarutkan asam ini kedalamnya yang kemudian menambahkan air sesuai dengan level operasi yang diinginkan. Larutan *anodizing* asam kromik digunakan pada:

1. pH antara 0.5-1
2. Konsentrasi klorida (sebagai natrium klorida) kurang dari 0.02%
3. Konsentrasi asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) kurang dari 0.05%

Parameter untuk proses *chromic anodize* adalah :

1. Konsentrasi elektrolit 50-100 gr/l  $\text{CrO}_3$
2. Temperatur operasi  $37 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $100 \pm 9^\circ\text{F}$ )
3. *Time in bath* 40-60 menit
4. Tegangan yang digunakan meningkat 0-40 Volt dalam 10 menit
5. Penahanan pada tegangan 40 V untuk keseimbangan
6. Kerapatan arus 0.15-0.30  $\text{A}/\text{dm}^2$  ( $1.4-4.3 \text{ A}/\text{ft}^2$ )

Keuntungan dari proses *chromic acid anodizing* ini antara lain  $\text{CrO}_3$  sedikit lebih agresif pada aluminium dibandingkan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Pada proses ini membentuk lapisan antara 0.5-18  $\mu\text{m}$ . Warna yang dihasilkan dari proses *chromic acid anodizing* bisa berubah jika ditambahkan komposisi paduan yang berbeda dan perlakuan panas yang berbeda.

### 2.3.2 Sulfuric Acid Anodizing

Prinsip dasar proses ini sama dengan proses asam kromik. Tetapi lapisan yang dihasilkan lebih tebal yaitu antara 1,8-25  $\mu\text{m}$ . Konsentrasi asam sulfur dalam larutan *anodizing* adalah 12 sampai 20%.

Larutan asam sulfur digunakan pada :

1. Konsentrasi klorida (sebagai asam klorida) kurang dari 0.02%
2. Konsentrasi aluminium kurang dari 20gr/l

Parameter untuk proses *sulfuric anodize* adalah :

1. Konsentrasi elektrolit 15%  $\text{H}_2\text{SO}_4$
2. Temperatur  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $70 \pm 2^\circ\text{F}$ )
3. *Time in bath* 30-60 menit



4. Tegangan 15-22 volt, tergantung dari paduannya
5. Rapat arus yang digunakan 1-2 A/dm<sup>2</sup> (9.3-18.6 A/ft<sup>2</sup>)

### 2.3.3 Hard Anodizing

Perbedaan pertama antara *sulfuric acid anodizing* dengan proses *hard anodizing* adalah temperatur operasi dan kerapatan arus. Lapisan yang dihasilkan pada proses *hard anodizing* lebih tebal daripada *anodizing* secara konvensional dengan waktu yang sama. Pada proses ini menghasilkan lapisan antara 13-150  $\mu\text{m}$ . Proses *hard anodizing* ini menggunakan tangki yang berisi 10-15% berat asam dengan atau tanpa tambahan. Temperatur operasi dari 0-15°C dan kerapatan arus antara 2 - 3.6 A/dm<sup>2</sup>.

## 2.4 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya (Surdia. 1999). Logam aluminium mempunyai daya pantul yang baik terhadap cahaya dan pancaran gelombang elektromagnetik. Aluminium mempunyai panas jenis 890 J/kg °K dan titik lebur yang rendah ini bermanfaat untuk proses pemurnian aluminium, akan tetapi menjadi kendala dan keterbatasan untuk aplikasinya dalam suhu tinggi.

Aluminium mempunyai konduktivitas panas yang baik. 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 logamlain maka akan 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. 1999). Selain itu dengan proses perlakuan panas dan pelapisan juga mampu meningkatkan kualitas dari logam aluminium. Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan sifat logam aluminium :

Tabel 2.1 Tabel sifat logam aluminium

<b>Penampilan</b>	
abu-abu perak metalik	
	
<b>Informasi umum</b>	
Nama, lambang, nomor atom	aluminium, Al, 13
Deret kimia	logam lainnya
Golongan, periode, blok	13, 3, p
Berat atom standar	26.9815386(13) g·mol <sup>-1</sup>
Konfigurasi elektron	[Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
Elektron per kelopak	2, 8, 3
<b>Sifat fisika</b>	
Fase	solid
Massa jenis (mendekati suhu kamar)	2.70 g·cm <sup>-3</sup>
Massa jenis cairan pada titik didih	2.375 g·cm <sup>-3</sup>
Titik lebur	933.47 K (660.32 °C, 1220.58 °F)
Titik didih	2792 K (2519 °C, 4566 °F)
Kalor peleburan	10.71 kJ·mol <sup>-1</sup>
Kalor penguapan	294.0 kJ·mol <sup>-1</sup>
Kapasitas kalor	(25 °C) 24.200 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

Sumber : anonymous 2, 2012

## 2.5 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 Alcoa (*Aluminium Company of America*, 2011). Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu :

### 2.5.1 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 ternyata dalam 4 angka. Angka pertama menyatakan unsur utama paduan. Angka kedua adanya modifikasi dari paduan. Sedangkan angka ketiga dan keempat menyatakan jumlah minimum aluminium dalam paduan. Aluminium jenis ini bisa diklasifikasikan sebagai berikut :

1) Jenis Al- murni (seri 1xxx)

Aluminium jenis ini kemurniannya 99% dan 99,99%. Mempunyai sifat tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik serta mampu las dan mampu potong yang baik.

2) Jenis paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Paduan ini dapat di *heat treatment* terutama yang mengandung (2,5 – 5 %) Cu. Dari seri ini yang terkenal seri 2017 dikenal dengan nama duralumin mengandung 4 % Cu dengan sedikit silikon, besi dan magnesium. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi ketahanan korosinya rendah. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan pada konstruksi pesawat terbang.

3) Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)

Paduan Al-Mn adalah jenis yang mudah dibuat, mempunyai daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu las yang baik. Kekuatan pada



paduan jenis ini lebih unggul dari pada aluminium murni. Banyak digunakan pada pipa, tangki minyak dan lainnya.

4) Jenis paduan Al-Si (seri 4xxx)

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

5) Jenis paduan Al-Mg (seri 5xxx)

Paduan Al-Mg termasuk paduan yang tidak dapat di *heat treatment*, tetapi mempunyai daya tahan korosi dan sifat mampu las yang baik.

6) Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6xxx)

Sebagai paduan, jenis ini mempunyai sifat yang mudah dibentuk. Paduan Al-Mg-Si memberikan sifat penguatan, kekuatan dan korosi yang baik. Penggunaan aluminium seri 6xxx banyak digunakan untuk piston motor dan silinder head motor bakar. 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. Biasanya digunakan untuk komponen transportasi dan alat-alat *outdoor* karena memiliki sifat permesinan yang bagus dan sifat mampu bentuk yang baik dan banyak digunakan untuk rangka-rangka konstruksi. Dalam hubungannya dengan ketahanan korosi, aluminium seri ini juga terdapat beberapa unsur sebagai paduannya yang dapat meningkatkan sifat ketahanan korosinya, sebagai contoh unsur mangan yang berfungsi meningkatkan ketahanan korosi dan kromium yang dapat memperbaiki ketahanan korosi, sifat mampu las.

7) Jenis paduan Al-Zn (seri 7xxx)

Dengan penambahan sedikit Mg pada paduan ini dapat menaikkan kekuatan dan masih tergolong *heat treatable*. Apabila diberi Mg dan Cr dapat memperhalus butir kristalisasi, serta memiliki ketahanan korosi yang baik.

### 2.5.2 Aluminium Cast Alloy

Pada paduan ini bentuk produk yang diinginkan dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku, sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk akhir produk untuk kemudian dilakukan proses *finishing*. Penandaan paduan ini juga dinyatakan dengan 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.

### 2.6 Titanium

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Dia merupakan logam transisi yang ringan, kuat, berkilau, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut dan klorin dengan warna putih- metalik- keperakan (Ratnawati, 2009). Titanium digunakan dalam *alloy* kuat dan ringan (terutama dengan besi dan aluminium) dan merupakan senyawa terbanyaknya, titanium dioksida, digunakan dalam pigmen putih. Titanium dihargai lebih mahal daripada emas karena sifat-sifat logamnya.

Ada dua bentuk alotropi dan lima isotop alami dari unsur ini; Ti-46 sampai Ti-50 dengan Ti-48 yang paling banyak terdapat di alam (73,8%). Sifat Titanium mirip dengan zirkonium secara kimia maupun fisika (anonymous 3, 2010). Keunggulan dari logam titanium ini adalah :

- a) Sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja.
- b) Kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi daripada paduan aluminium.
- c) Tahan suhu tinggi. Ketika temperatur pemakaian melebihi 150°C maka dibutuhkan titanium karena aluminium akan kehilangan kekuatannya secara nyata.



- d) Tahan korosi. Ketahanan korosi titanium lebih tinggi daripada aluminium dan baja.
- e) Dengan rasio berat-kekuatan yang lebih rendah daripada aluminium, maka komponen-komponen yang terbuat dari titanium membutuhkan ruang yang lebih sedikit dibanding aluminium

Sedangkan tabel 2.2 berikut menunjukkan sifat titanium :

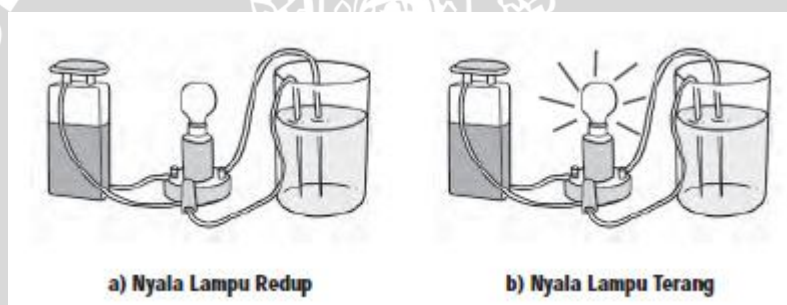
Tabel 2.2 tabel sifat logam titanium

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor atom	titanium, Ti, 22
Deret kimia	logam transisi
Golongan, Periode, Blok	4, 4, d
Penampilan	logam perak metalik 
Massa atom	47.867(1) g/mol
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8, 10, 2
Ciri-ciri fisik	
Fase	solid
Massa jenis (sekitar suhu kamar)	4.506 g/cm <sup>3</sup>
Massa jenis cair padat titik lebur	4.11 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	1941 K (1668 °C, 3034 °F)
Titik didih	3560 K (3287 °C, 5949 °F)
Kalor peleburan	14.15 kJ/mol
Kalor penguapan	425 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25 °C) 25.060 J/(mol·K)

Sumber : anonymous 3, 2010

## 2.7 Elektrolit

Salah satu komponen penting pada proses *anodizing* adalah larutan elektrolit. Elektrolit adalah suatu senyawa yang bila dilarutkan pada pelarut, akan menghasilkan larutan 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 dan LiOH, NaOH, KOH, RbOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Sr(OH)<sub>2</sub> dan Ba(OH)<sub>2</sub> yang bersifat basa. Selain elektrolit asam kuat dan elektrolit basa 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>. Larutan-larutan tersebut hanya dapat menghantarkan sedikit arus listrik.



Gambar 2.2 : Uji kekuatan larutan asam dan basa berdasarkan nyala lampu  
 a)larutan elektrolit lemah  
 b)larutan elektrolit lemah

Sumber : Ashvia, 2010

Asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) merupakan salah satu asam yang dapat digunakan dalam proses *anodizing*. Molekul asam fosfat ini terdiri dari tiga atom hidrogen, satu atom fosfor dan empat atom oksigen. Asam fosfat merupakan asam yang mengalami disosiasi dalam dengan tiga tahapan sebagai berikut :



Suatu larutan elektrolit dapat menghantarkan arus listrik karena dalam suatu larutan tersebut akan terionisasi, semisal NaCl. NaCl yang larut dalam air akan terionisasi sebagai berikut :



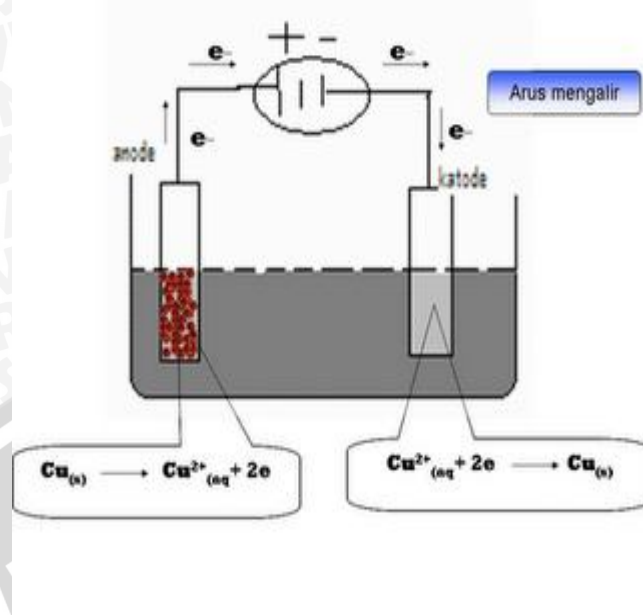
Di dalam larutan tersebut terdapat ion positif ( $\text{Na}^+$ ) dan ion negatif ( $\text{Cl}^-$ ). Adanya ion positif dan ion negatif dalam larutan menimbulkan beda potensial listrik (tegangan listrik) dalam larutan NaCl. Dengan adanya beda potensial ini, arus listrik dapat mengalir sehingga larutan dapat menghantarkan listrik.

Zat-zat yang dalam larutannya dapat terionisasi (zat-zat elektrolit) adalah asam, basa dan garam. Zat-zat selain asam, basa dan garam termasuk zat nonelektrolit karena dalam larutannya tidak terionisasi menjadi ion positif dan ion negatif. Perbedaan dari larutan elektrolit kuat dan elektrolit lemah adalah terletak pada jumlah partikel ion (ion mol) dari tiap 1 mol zat. Jika 1 mol zat tersebut dilarutkan kedalam air, ternyata semuanya terionisasi, maka zat tersebut disebut zat elektrolit kuat dan jika zat elektrolit lemah dilarutkan ke dalam air, tidak semua 1 mol zat terionisasi. Untuk menunjukkan perbedaan elektrolit kuat dengan elektrolit lemah dinyatakan dengan derajat ionisasi ( $\alpha$ ), yaitu perbandingan mol zat yang terionisasi dengan mol zat mula-mula. Untuk zat elektrolit kuat mempunyai derajat ionisasi  $\alpha=1$  dan zat elektrolit lemah mempunyai derajat ionisasi  $0<\alpha<1$ .

## 2.8 Elektrolisis

Sel tempat berlangsungnya peristiwa reaksi kimia yang melibatkan arus listrik disebut sel elektrokimia. Sel elektrokimia dapat dibedakan menjadi sel elektrolisis (*electrolytic cell*) dan sel galvanis (*galvanik cell*). Sel elektrolitik adalah sel elektrokimia yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi agar dapat terjadi reaksi kimia (Utami, *et al.* 2009:39). Proses yang terjadi dalam sel elektrolitik biasa disebut elektrolisis





Gambar 2.3 : Proses Pelapisan Logam Termasuk Sel Elektrolitik  
Sumber : Linda, 2009

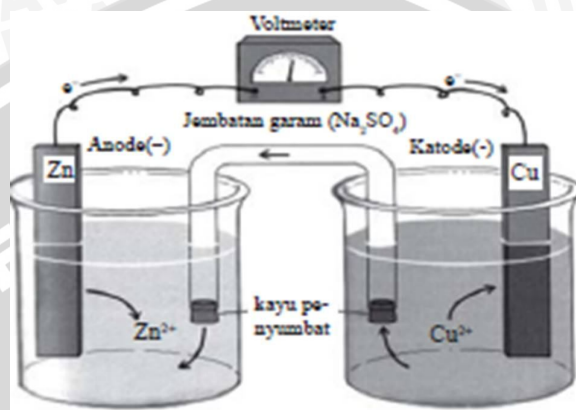
Sel galvanik merupakan kebalikan dari sel elektrolitik, dimana reaksi kimia yang terjadi dalam sel menghasilkan arus listrik. Contoh dari sel galvanik adalah baterai, karena reaksi elektrokimia baterai dapat membangkitkan energi listrik yang dapat digunakan sebagai sumber energi.

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

- a) Meningkatkan beda potensial antara elektroda
- b) Menurunkan resistensi dalam sirkuit dengan cara :
  1. 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 larutan
  5. Meningkatkan konsentrasi larutan
  6. Meningkatkan temperatur elektrolit

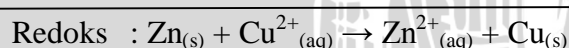
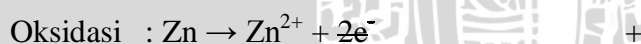
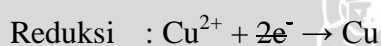
## 2.9 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi (peningkatan bilangan oksidasi) dan reduksi (penurunan bilangan oksidasi) (Utami, *et al.* 2009). Contohnya seperti 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 logam Cu, reaksi oksidasi logam Zn)  
Sumber : Desawantika, 2011

Pada reaksi tersebut ion Cu akan mengalami penurunan bilangan oksidasi dari  $\text{Cu}^{2+}$  menjadi Cu. Sedangkan ion Zn akan mengalami peningkatan bilangan oksidasi dari Zn menjadi  $\text{Zn}^{2+}$ . 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.



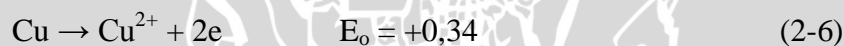
Potensial listrik yang ditimbulkan akibat reaksi reduksi disebut potensial elektrode (E). Semakin mudah suatu unsur mengalami reduksi, maka makin besar potensial elektrodanya.

Harga potensial elektroda aktual dalam suatu reaksi reduksi tidak dapat dihitung (Parthasaradhy, 1998). 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 standar dalam menentukan harga potensial elektroda adalah hidrogen. Cara memperolehnya dengan mereaksikan gas hidrogen murni pada elektroda platina (Pt) yang bersentuhan dengan larutan asam, sehingga terjadi keseimbangan :



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 elektrodanya 0,34 vol lebih besar dibandingkan dengan hidrogen.

Potensial elektroda standar ( $E_o$ ) dari semua reaksi reduksi larutan asam maupun basa ditunjukkan pada tabel 2.3. 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 tersebut mudah teroksidasi dan sulit tereduksi. Logam ini disebut logam aktif dan reaktif. Berikut ini adalah tabel potensial elektroda :



Tabel 2.3 : Potensial elektroda standar saat 25°C

Unsur	Energi Potensial $E^\circ$ (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
$2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$	-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

## 2.10 Elektroda

Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian non logam atau media dari suatu sirkuit (misal semikonduktor, sebuah elektrolit dan vakum). Pada percobaan anodizing ini, digunakan elektroda aluminium sebagai anoda dan titanium *alloy* sebagai katodanya. Anoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel dan oksidasi terjadi atau bisa dikatakan kutub positif dan katoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel dan reduksi

terjadi atau kutub negatif. Setiap elektroda dapat menjadi anoda maupun katoda tergantung voltase yang diberikan. Berikut ini adalah jenis-jenis elektroda :

1. Elektroda untuk kegunaan medis, seperti EEG, EKG, ECT, defibrillator
2. Elektroda untuk teknik *electrophysiology* dalam riset biomedikal
3. Elektroda untuk eksekusi oleh kursi listrik
4. Elektroda untuk *electroplating*
5. Elektroda untuk *arc welding*
6. Elektroda untuk *cathodic protection*
7. Elektroda *inert* untuk elektrolisis (terbuat dari platinum)

### 2.11 Aluminium Oxide Film (Film Oksida Aluminium)

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

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

Untuk logam aluminium, lapisan film oksida yang terjadi adalah bagian 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 2.3. 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*.

#### 2.11.1 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 campuran antara *baric acid* dan *ammonium barate*, *tetrat* dan *ammonium tetraborate* dari 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 tegangan listrik saat proses *anodizing* berlangsung. Jika aluminium dianodisasi pada tegangan listrik yang tinggi, maka akan terbentuk lapisan film oksida *barrier* yang tebal.

Hal ini tidak mungkin dilakukan karena batas pemberian tegangan listrik adalah 500V-700V. Jika tegangan listrik yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak bisa terbentuk.

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

Apabila aluminium dianodisasi pada 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 bertingkat (*duplex film*).

Lapisan oksida tipe poros (*porous oxide film*) dan lapisan oksida *porous* (*porous layer*) harus dibedakan, begitu juga lapisan film oksida tipe *barrier* (*barrier oxide layer*) dan lapisan oksida *barrier* (*barrier layer*).

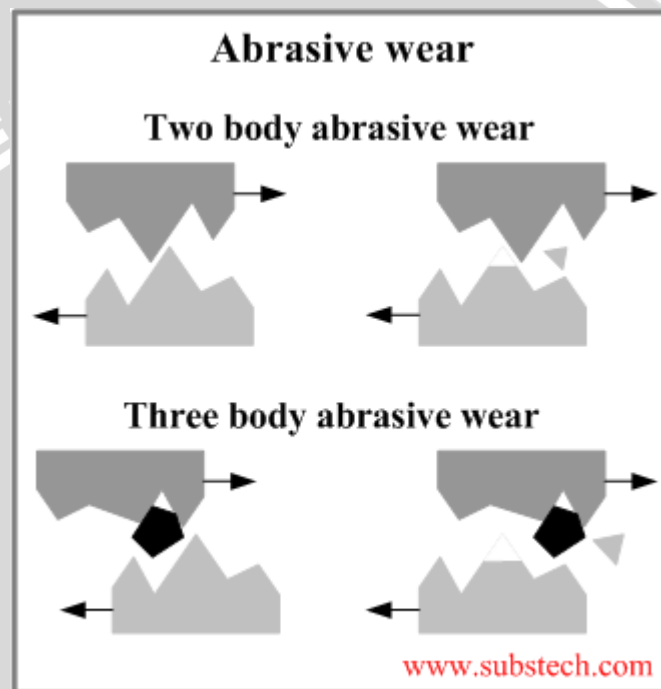
## 2.12 Keausan

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 terus menerus akan menyebabkan kegagalan (*failure*) pada logam dan komponen akan kehilangan fungsi. Beberapa jenis dari keausan (Setiaji, 2009) :

### a. Abrasive Wear



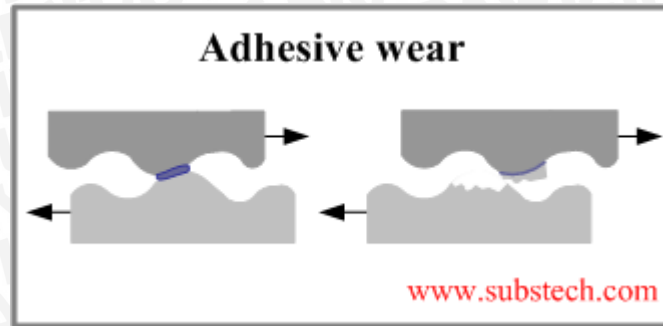
Keausan ini adalah jenis yang umum terjadi, karena sering sekali kotoran, debu, serbuk dan partikel-partikel logam terbawa antara dua permukaan logam yang bergesekan secara terus menerus. *Abrasive wear* terjadi ketika permukaan logam yang keras dan kasar bergesekan pada permukaan logam yang lebih halus, dengan atau tidak menggunakan pelumas. Permukaan yang 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.



Gambar 2.5 : Mekanisme Keausan Jenis Abrasif  
Sumber : anonymous 4, 2011

b. *Adhesive Wear*

Terjadi ketika dua permukaan padat saling bergesekan satu sama lain dibawah tekanan. Karena adanya tekanan yang sangat 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 dan menimbulkan lubang atau rongga di permukaan dan partikel-partikel yang bersifat abrasif. Akibatnya akan menyebabkan keausan di permukaan jika terus berlanjut.



Gambar 2.6 : Mekanisme Keausan Jenis Adesif  
Sumber : anonymous 5, 2011

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.

### 2.12.1 Pengujian Keausan

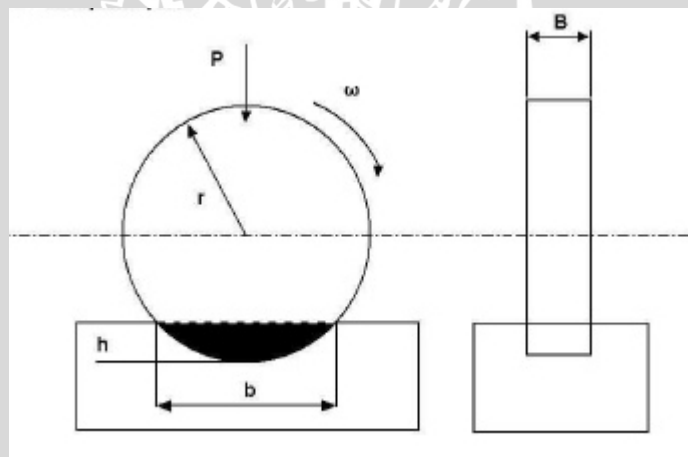
Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan secara aktual. Salah satu menggunakan mesin *Ogoshi*, dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disk*) sesuai dengan parameter tertentu seperti kecepatan, jarak luncur dan pembebanan. Pembebanan ini akan menghasilkan kontak antar muka yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material itulah tergesek yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Gambar 2.7 dibawah ini adalah mesin *Ogoshi* yang digunakan dalam proses pengujian keausan :



Gambar 2.7 : Mesin uji keausan *Ogoshi*

Sumber : Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin UGM

Untuk mekanisme pengujian mesin *Ogoshi* lebih jelasnya pada gambar 2.8 dibawah ini :



Gambar 2.8 : Mekanisme Mesin *Ogoshi*

Sumber : Instruction Manual Book of Ogoshi Testing Machine

Untuk menentukan nilai volume material yang terabrasi ( $W$ ) digunakan rumus :

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 r} \quad (2-7)$$

Keterangan :

$B$  = Tebal *revolving disk* (mm)

$b$  = Lebar celah material yang terabrasi (mm)



$r$  = Jari-jari *revolving disk* (mm)

$W$  = Volume material yang terabrasi ( $\text{mm}^3$ )

Nilai  $W$  kemudian digunakan untuk menghitung berat (gram) material yang terabrasi dengan menggunakan berat jenis titanium :

$$\gamma = \frac{B}{V} \quad (2-8)$$

Keterangan :

$B$  = Berat material yang terabrasi (gram)

$V$  = Volume material yang terabrasi ( $\text{cm}^3$ )

$\gamma$  = Berat jenis titanium ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Dengan didapatkannya berat material yang telah terabrasi ( $B$ ), maka laju keausan bisa dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$V = \frac{B}{t} \quad (2-9)$$

Keterangan :

$B$  = Berat material yang terabrasi (gr)

$t$  = Waktu pengujian (detik)

$V$  = Laju keausan (gr/detik)

### 2.13 Kekerasan

Dalam ilmu pengetahuan logam, kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk menahan indentasi atau penetrasi. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang sering digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu:

- a) Pengujian kekerasan Brinell
- b) Pengujian kekerasan Rockwell
- c) Pengujian kekerasan Vickers

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan Vickers. Metode uji kekerasan Vickers dilakukan dengan cara menekan material uji menggunakan indenter intan berbentuk piramid berjalas

bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan  $136^\circ$ , material diuji dengan gaya tekan antara 1 kgf sampai 120 kgf. Hasil optimal dapat diketahui dengan waktu tekan selama 10-15 detik. Dua garis diagonal bekas indentasi pada permukaan spesimen setelah beban dihilangkan diukur menggunakan sebuah mikroskop dan dihitung rata-ratanya. Kekerasan Vickers dapat diketahui dengan membagi beban dengan luas daerah indentasi. Jika diagonal rata-rata telah diketahui maka kekerasan Vickers dapat dihitung dengan persamaan diatas. Untuk lebih jelasnya, berikut rumus Kekerasan Vickers:

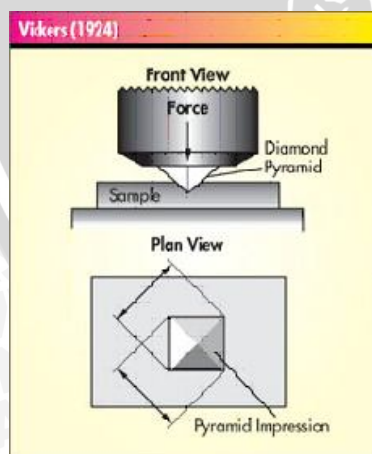
$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad (2-10)$$

Keterangan :

F = gaya tekan (kgf)

D = diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

HV = Vickers Hardness Number (VHN)



Gambar 2.9 : Prinsip Kerja Pengujian Kekerasan Vickers  
Sumber : anonymous 6, 2010

### 2.14 Ketebalan Lapisan

Ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dari proses *anodizing* sangat tipis dan sangat sulit diukur secara manual, oleh karena itu ketebalan bisa diperkirakan dengan menghitung berat lapisan yang terjadi. Berat lapisan bisa dihitung secara nyata maupun teoritis. Berat lapisan nyata ditentukan dengan menghitung selisih berat antara anoda sebelum dan sesudah proses *anodizing* menggunakan rumus dibawah ini :

$$V = \frac{W_a - W_b}{\gamma} \quad (2-11)$$

Dengan :

$W_a$  adalah berat akhir sesudah proses *anodizing* (gram)

$W_b$  adalah berat awal sebelum proses *anodizing* (gram)

$\gamma$  adalah berat jenis titanium ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$V$  adalah volume total yang dihasilkan ( $\text{cm}^3$ )

Dengan didapatkannya volume titik yang dihasilkan dari proses *anodizing*, maka tebal lapisan bisa dihitung dengan rumus :

$$T = \frac{V}{A} \quad (2-12)$$

Dengan :

$V$  adalah volume total yang dihasilkan ( $\text{cm}^3$ )

$A$  adalah luas total selimut spesimen ( $\text{cm}^2$ )

$T$  adalah tebal lapisan oksida (cm), dikonvesikan ke satuan ( $\mu\text{m}$ )

### 2.15 Hipotesa

Semakin tinggi tegangan listrik, maka energi ionisasi yang terjadi akan semakin besar. Hal ini akan menyebabkan energi kinetis yang dihasilkan akan semakin besar. Sehingga permukaan logam induk akan semakin padat terisi oleh elektron-elektron pelapis. Dengan semakin padatnya permukaan logam induk, maka lapisan yang dihasilkan akan semakin tebal. Dengan semakin tebal lapisan yang dihasilkan, maka ketika diuji kekerasan, nilainya akan semakin tinggi. Hal ini akan mengakibatkan ketika diuji keausan, logam yang hilang oleh piringan akan semakin kecil, sehingga laju keausan akan semakin kecil.