

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan bidang industri semakin meningkat, begitu pula dengan pemanfaatan berbagai material dalam bidang industri. Memasuki era globalisasi dan perdagangan bebas dunia menuntut adanya perkembangan pada kemajuan ilmu pengetahuan karena persaingan antar berbagai pihak yang terlibat di dalamnya semakin ketat. Berkaitan dengan hal tersebut maka kita dituntut untuk dapat menguasai, menerapkan dan mengembangkan ilmu pengetahuan dalam berbagai bidang. Salah satu cabang ilmu pengetahuan tersebut adalah bidang teknologi pelapisan logam.

Dengan berkembangnya teknologi pelapisan logam telah banyak ditemukan berbagai jenis metode. Yang dapat digunakan dan sesuai dengan keperluan atau kondisi yang diinginkan. Salah satunya adalah proses pelapisan logam aluminium yaitu proses *anodizing*. Akan tetapi ada beberapa kekurangan pada proses *anodizing* dalam pelaksanaannya, salah satunya adalah permasalahan kualitas hasil pelapisan.

Proses *anodizing* pada aluminium menghasilkan lapisan tipis oksida yang berpori. Pori ini dapat dimasukkan zat warna sehingga dihasilkan aluminium dengan warna yang beragam. Selain itu dari besar kecilnya pori ini juga menentukan pada pemilihan aplikasi pada aluminium selanjutnya. Dalam proses *anodizing* penentuan jarak anoda dan katoda sangat berpengaruh terhadap kecepatan, ketebalan, kekerasan, ketahanan aus dan kerataan logam hasil pelapisan.

Sampurno, Hidayat (2008) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pada proses *elektroplating* variasi jarak antara anoda dan katoda memberikan ketebalan yang berbeda-beda pada hasil pelapisan. Ketebalan lapisan maksimal pada penelitian ini diperoleh pada jarak anoda dan katoda 3 cm dengan ketebalan sebesar 37 μm , sedangkan ketebalan minimum diperoleh pada spesimen dengan jarak anoda dan katoda 15 cm sebesar 6 μm .

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Sampurno, Hidayat dapat diketahui bahwa jarak jarak anoda dan katoda pada *elektroplating* terbukti dapat mempengaruhi lapisan yang dihasilkan. Namun untuk proses *anodizing* masih belum diketahui hasilnya. Untuk mengetahui apakah jarak anoda dan katoda pada proses *anodizing* dengan menggunakan metode aliran arus secara *Continuous* akan mempengaruhi

ketahanan aus pada aluminium, maka perlu dilakukan penelitian tentang “**Pengaruh variasi jarak anoda - katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang menjadi bahan penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak anoda - katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing*?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian dapat menjadi lebih terarah, maka ditetapkan batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan sebagai anoda adalah aluminium paduan dengan kadar aluminium sebesar 97,6 %.
2. Elektrolit yang digunakan adalah larutan Asam Clorida (HCL)
3. Arus listrik yang digunakan adalah arus searah (DC)
4. Hanya dilakukan penelitian pada variasi jarak anoda dan katoda.
5. Dilakukan pengambilan data dengan pengujian ketahanan aus

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil proses *anodizing*.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan melalui penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan masukan dan manfaat pada bidang industri khususnya teknologi pelapisan logam di dalam usaha meningkatkan kualitas *anodizing* aluminium.
2. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pada penelitian selanjutnya.

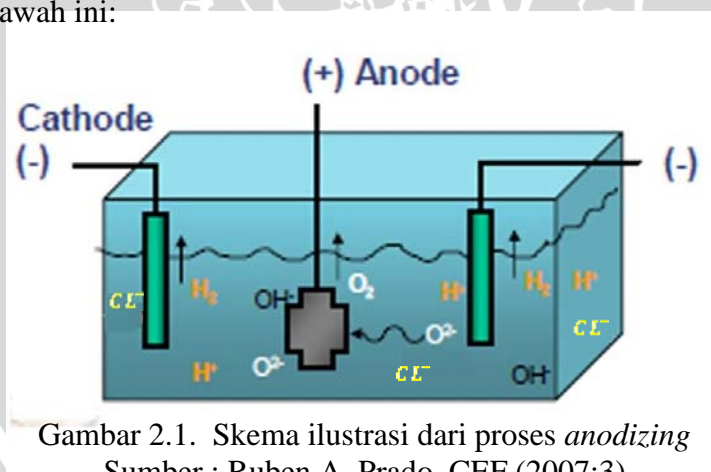
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik dan Terminologi Proses *Anodizing*

Proses pelapisan logam merupakan salah satu kegiatan dalam industri manufaktur, proses ini mampu melapisi berbagai macam jenis logam. Salah satu proses pelapisan yang digunakan adalah proses *anodizing*. *Anodizing* didefinisikan sebagai proses oksidasi secara elektrolitik yang mengkonversi permukaan logam yang bersifat anodik sampai mencapai ketebalan dan karakteristik yang lain. Hal ini dilakukan dengan harapan, material yang terlapis secara oksidasi dapat memenuhi karakteristik akhir yang diinginkan (Rajagopal, 2000:250).

Gambar 2.1 adalah skematis dari sebuah proses *anodizing* dimana benda kerja yang akan dilapisi diletakan di anoda yang berarus positif dan katoda berarus negative dimana logam tersebut akan mengalami oksidasi yang selanjutnya akan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk suatu lapisan pada anoda. Sedangkan logam yang diposisikan pada katoda hanya sebagai medium penghantar (Gazzapo, 1994:3). Selain logam aluminium, proses *Anodizing* ini juga dapat dilakukan untuk logam niobium, tantalum, titanium, dan zirconium. Secara umum proses *anodizing* diperlihatkan pada gambar 2.1. dibawah ini:



Gambar 2.1. Skema ilustrasi dari proses *anodizing*
Sumber : Ruben A. Prado, CEF (2007:3)

Anodizing merupakan salah satu jenis *surface treatments* (perlakuan permukaan) dan dapat diklasifikasikan sebagai *oxide-conversion coating* (pelapisan konversi-oksida) yang terpenting (Tabel 2.1). Proses ini pada umumnya proses ini lebih banyak digunakan pada aluminium, karena aluminium adalah logam elektronegatif sehingga memiliki daya tarik menarik yang kuat dengan oksigen.

Tabel 2.1. Klasifikasi secara umum dalam *material treatments*

<i>Surface treatments</i>	<i>Diffusion treatments</i>	<i>Ferritic nitrocarburie</i> <i>Carburize</i> <i>Nitride</i> <i>Carbonitride</i> <i>Boronize</i> <i>Cyanide</i>
	<i>Conversion coatings</i>	<i>Phosphating</i> <i>Chromating</i> <i>Anodizing</i> <i>Oxide</i>

Sumber : Budinski, K. 1996:612

Pada prinsipnya proses *anodizing* pada aluminium menghasilkan lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) yang terbentuk pada permukaan aluminium ketika arus searah dan *voltage* tertentu dialirkan pada larutan asam. Dengan proses *anodizing* inilah permukaan aluminium akan semakin tebal dan terbentuk lapisan yang keras, dan kuat. Untuk proses lebih lanjut lapisan ini dapat diberi pewarnaan sehingga dapat memberikan penampilan yang lebih menarik.

Anodizing dibagi menjadi dua tipe berdasarkan jenis arus listrik yang digunakan yaitu DC *anodizing* dan AC *anodizing* (Sato,1997:2).

1. AC *Anodizing*

AC *anodizing* adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus bolak-balik. Proses pembentukan oksida pada AC *anodizing* lebih lambat daripada DC *anodizing* karena polaritas positif dan negatif *power supply* bergantian secara cepat. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan rendah. Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan aluminium foil.

2. DC *Anodizing*

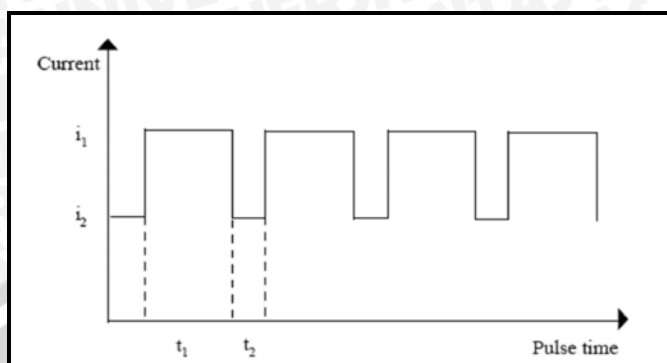
DC *anodizing* adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus searah. Proses pembentukan lapisan oksida pada DC *anodizing* lebih cepat daripada AC *anodizing* karena polaritas positif *power supply* selalu berada pada benda kerja. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *continuous anodizing* dan *pulse anodizing*.

a. *Continuous Anodizing*

Continuous anodizing adalah jenis *anodizing* yang paling sering dilakukan. Pada *continuous anodizing* besar arus yang dialirkan selama proses berlangsung dijaga konstan.

b. *Pulse Anodizing*

Pulse anodizing adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan memberikan rapat arus naik turun secara periodik seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2. *Schematic current - time curve for pulse anodizing* (Sumber : Juhl, 2005)

Pulse anodizing ini dilakukan dengan merubah rapat arus yang diberikan secara cepat. Dengan demikian pada saat t_1 , pembentukan lapisan oksida akan lebih banyak terjadi karena memiliki arus yang paling tinggi. Sedangkan pada saat t_2 , arus yang diberikan sangat rendah, sehingga lapisan oksida yang terbentuk akan sangat sedikit. Saat arus listrik mengalir dalam waktu yang singkat maka hampir tidak ada halangan untuk pembentukan lapisan oksida yang disebabkan karena panas yang ditimbulkan (*joule heat*) selama proses *anodizing* berlangsung.

2.2 Proses Anodizing

2.2.1 Proses Pre-Treatment

Proses *Pre-Treatment* merupakan langkah awal sebelum dilakukannya proses *anodizing*. Tujuan dari *pre-treatment* adalah agar aluminium hasil proses *anodizing* menjadi baik. *Proses pre-treatment* tersebut antara lain:

1. *Degreasing*

Degreasing adalah langkah pertama yang dilakukan dalam proses *pre-treatment*, dimana tujuan dari proses *degreasing* ini adalah untuk menghilangkan minyak atau lemak yang terdapat pada permukaan aluminium. *Degreasing* biasa dilakukan dengan menggunakan larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 15 %, larutan H_2SO_4 dipanaskan pada temperatur $60^\circ C$ sampai $80^\circ C$ dan aluminium direndam selama 5 menit.

2. *Etching*

Etching dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan lapisan oksida murni yang terdapat pada permukaan aluminium. Lapisan oksida murni aluminium akan hancur karena direndam dalam larutan basa kuat yang dalam hal ini digunakan larutan NaOH (*caustic soda*). Proses ini dilakukan pada temperatur 30°C sampai 50°C dan proses perendamannya dilakukan selama 3 hingga 5 menit.

3. *Desmuting*

Desmuting adalah proses pembersihan bercak - bercak hitam yang diakibatkan oleh proses *etching*. Proses ini dilakukan dengan cara merendam spesimen pada larutan asam nitrat dengan konsentrasi 10%, dan perendaman dilakukan pada temperatur 25°C - 40°C selama 1 hingga 3 menit.

4. *Rinsing*

Rinsing adalah proses pembersihan aluminium setelah *pre-treatment* (*degreasing, etching, desmuting*) ataupun *anodizing* dengan menggunakan air murni (*destilated water*). Tujuan dari proses *rinsing* ini adalah untuk menghilangkan sisa-sisa zat kimia yang terbawa dari proses sebelumnya.

2.2.2 Last Treatment

Merupakan langkah akhir setelah dilakukannya proses *anodizing*, antara lain :

1. *Coloring*

Coloring adalah proses pemberian warna pada pori-pori lapisan oksida yang terbentuk akibat proses *anodizing*. *Coloring* dilakukan dengan cara mencelupkan aluminium hasil proses *anodizing* kedalam larutan pewarna dengan temperatur sekitar 70 °C.

2. *Sealing*

Sealing dilakukan setelah proses pewarnaan selesai, Proses *sealing* merupakan tahap paling akhir dalam *anodizing* yang bertujuan untuk:

- Meningkatkan ketahanan korosi lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium.
- Menahan pewarna agar tetap berada dalam pori.
- Meningkatkan kerataan warna dari lapisan oksida yang diwarnai.
- Proses ini biasanya dilakukan dengan cara meletakkan spesimen pada uap air selama 5 menit.

3. *Drying*

Drying adalah proses pengeringan aluminium hasil proses *anodizing* setelah dilakukannya proses *sealing*. Proses *drying* dilakukan dengan cara mengusap aluminium hasil proses *anodizing* dengan kain yang halus dan kemudian meletakkannya pada tempat yang kering.

2.3 Pemilihan Bahan

Aluminium merupakan material *nonferro* yang sangat banyak manfaatnya, kelebihan logam aluminium dibandingkan dengan logam *nonferro* lainnya yaitu ringan, memiliki sifat konduktifitas yang baik dan memiliki ketahanan karat yang tinggi., aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis $2,7 \text{ gram/cm}^3$ setelah Magnesium ($1,7 \text{ gram/cm}^3$) dan Berilium ($1,85 \text{ gram/cm}^3$) atau sekitar $1/3$ dari berat jenis besi maupun tembaga (Sumanto, 1996:46). Konduktifitas listriknya lebih kurang 60 % konduktifitas listrik tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dll.

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar aluminanya menurun. Penambahan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya.

Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar $4\sim 5 \text{ kgf/mm}^2$. Bila diproses seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai $\pm 15 \text{ kgf/mm}^2$. Tabel 2.2 berikut karakteristik aluminium.

Tabel 2.2. Karakteristik aluminium

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Massa jenis (g/cm^3)	2,7
Titik leleh ($^\circ\text{C}$)	660,32
Konduktivitas Listrik (cm^{-1})	$37,7 \times 10^6$
Konduktifitas panas (26°C) $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	237
Modulus kekakuan (GPa)	26
Modulus elastisitas (GPa)	70,5

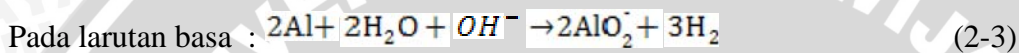
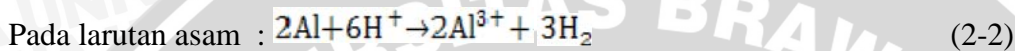
(Sumber : Wikipedia.org)

2.3.1. Karakteristik Aluminium:

Perubahan pada permukaan aluminium terjadi seperti reaksi dibawah ini:



Pada udara yang lembab, akan terbentuk lapisan oksida yang lebih tebal yang akan melindungi logam itu sendiri dari serangan korosi. Kekuatan mekanik logam aluminium sangat meningkat dengan penambahan Cu, Si, Mg, Mn, Zn dan NI secara satu persatu atau bersama-sama. Disamping itu aluminium juga bersifat amfoter dimana aluminium akan larut dalam larutan asam maupun basa dengan melepas gas H₂, dimana reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Sifat dari Aluminium, terutama ketahanan aus dapat diperbaiki melalui proses pelapisan secara *anodizing*.

2.3.2 Klasifikasi paduan Aluminium

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai Negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang umum digunakan adalah standar Aluminium *Association of America* (AA) yang didasarkan atas standar yang terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*).

Paduan Aluminium berdasarkan cara pembuatannya yaitu :

1. Aluminium *wrongt alloy* (lembaran)

Paduan aluminium secara tempa/kasar ini merupakan paduan yang memerlukan pengerjaan lanjut.

2. Aluminium *Casting Alloy* (batang cor)

Paduan tuang biasanya digunakan untuk komponen – komponen yang tidak memerlukan pengerjaan lanjut.

Paduan tempaan dinyatakan dengan satu huruf atau dua huruf “S”, sedangkan paduan coran dinyatakan dengan tiga huruf “S”. Standar AA menggunakan penandaan dengan empat angka (Surdia, 2000:135) sebagai berikut:

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang ditambahkan.
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dari aluminium murni.

3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S, sebagai contoh, 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063.

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut paduannya, sebagai berikut:

1. Jenis Al-murni (seri 1XXX)

Aluminium jenis ini kemurniannya 99,0% dan 99,99%. Mempunyai sifat tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik serta mampu las dan mampu potong yang baik. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang relatif rendah.

2. Jenis paduan Al-Copper (seri 2XXX)

Paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat di-*heat treatment*. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi ketahanan korosinya rendah bila dibandingkan dengan paduan yang lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada piston dan silinder head motor bakar.

3. Jenis paduan Al- Manganase (seri 3XXX)

Paduan Al-Mn adalah jenis yang tidak dapat di-*heat treatment* sehingga untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada saat proses pembuatan. Sangat mudah untuk dibentuk, mempunyai daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu las yang baik. Kekuatan pada paduan jenis ini lebih unggul dari pada Al murni. Banyak digunakan untuk pipa, tangki minyak.

4. Jenis Paduan Al- Silicon (seri 4XXX)

Paduan Al-Si termasuk jenis aluminium yang tidak dapat di-*heat treatment* 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.

5. Jenis Paduan Al- Magnesium (seri 5XXX)

Paduan Al-Mg termasuk paduan yang tidak dapat di-*heat treatment*, tetapi mempunyai daya tahan korosi yang baik, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu lasnya. Paduan Al-Mg digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum, tetapi juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Jenis Paduan Al- Magnesium dan silicon (seri 6XXX)

Sebagai paduan coran, paduan ini mudah dibentuk. Paduan Al-Mg₂Si memberikan sifat penuangan, kekuatan, dan ketahanan korosi yang baik.

7. Jenis Paduan Al- Zincum (seri 7XXX)

Unsur utama paduan ini adalah Zn. Biasanya kedalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Dengan penambahan sedikit Mg dapat menaikkan kekuatan dan masih ke dalam golongan *heat treatable*. Apabila diberi Mg dan Cr dapat memperhalus butir kristalisasi, serta korosi tidak mudah untuk terjadi.

8. Elemen – elemen yang lain 8XXX series.

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

2.3.3 Pengaruh Sifat Paduan

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

Tabel 2.3. Petunjuk umum jenis pelapisan Anodizing

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

6082	1Si, 0.6Mg, 0.5Mn	2	2	3	3
7020	4Cu, 2Ni, 1.5Mg	5	4	4	4
5 = best response ; 1 = poorest response					

Sumber : Rajagopal, C (2000:276)

2.3.4 Sifat-sifat Aluminium

2.3.4.1 Kekerasan

Aluminium murni mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,99 % dan mempunyai kekerasan 17 BHN. Penambahan unsur paduan dan perlakuan panas menghasilkan paduan Al dengan kekerasan yang lebih tinggi.

2.3.4.2 Kekuatan Tarik Maksimum

Kekuatan tarik maksimum dapat didefinisikan sebagai kekuatan tarik yang dapat ditahan oleh material sebelum putus. Aluminium dengan kemurnian 99,99% memiliki kekuatan tarik maksimum 4,9 kg/mm².

2.3.4.3 Daya Hantar Panas

Aluminium mempunyai daya hantar panas yang baik. Hal ini dapat dibuktikan dengan cepatnya distribusi panas dari daerah yang temperturnya tinggi ke daerah yang temperturnya rendah

2.3.4.4 Daya Hantar Listrik

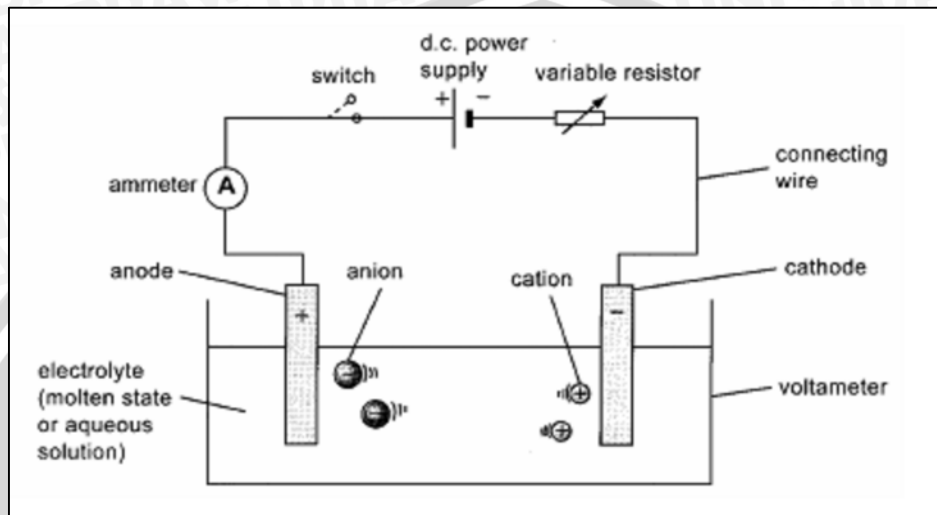
Aluminium merupakan penghantar listrik yang baik, hal ini disebabkan aluminium mempunyai daya hantar listrik 60% dari tembaga, sedangkan massa jenisnya kira-kira 1/3 massa jenis tembaga. Tetapi untuk keperluan ini aluminium harus semurni mungkin. Dalam hal ini dapat digunakan aluminium dengan kemurnian 99,0% atau diatasnya.

2.3.4.5 Ketahanan Terhadap Korosi

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik akibat lapisan oksida aluminium (Al_2O_3) yang terbentuk pada permukaannya. Lapisan ini terbentuk seketika pada permukaan aluminium ketika aluminium berkontaminasi dengan udara.

2.4 Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian suatu elektrolit oleh aliran listrik. Dalam elektrolisis, elektroda yang bermuatan positif disebut anoda dan elektroda yang bermuatan negatif disebut katoda. Sel elektrolisis merupakan tempat terjadinya peristiwa penguraian ion-ion logam pada larutan elektrolit oleh arus listrik searah. Cara kerja sel elektrolisis adalah seperti yang terdapat pada gambar 2.3. dibawah ini :



Gambar 2.3. Sel elektrolisis
(Sumber: Richardson, 2002:46)

1. Sumber arus listrik searah memompa elektron dari anoda ke katoda. Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit sehingga pada permukaan katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation.
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 terhadap anion.

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

- a) Meningkatkan beda potensial antar 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 dalam larutan.
 - 5) Meningkatkan konsentrasi larutan elektrolit.
 - 6) Mengurangi efek polarisasi jika gelembung gas terdapat dalam elektroda.

7) Meningkatkan temperatur elektrolit.

Setiap logam mempunyai sifat reduktor, sebab cenderung melepaskan elektron atau mengalami oksidasi. Pada tahun 1825, Alessandro Giuseppe Volta menyusun urutan logam – logam yang dikenal saat itu, yang baru berjumlah 20 jenis, dari reduktor terkuat hingga reduktor terlemah berdasarkan eksperimen. Urutan logam – logam tersebut kini disebut dengan deret volta. Susunan deret Volta dapat dilihat di bawah ini :

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

Sifat–sifat dari deret volta adalah :

1. Makin kecil (lebih negatif) harga E^0 suatu logam, makin kuat sifat reduktornya (makin ke kiri letaknya dalam deret volta).
2. Logam – logam disebelah kiri H dalam deret volta memiliki E^0 negatif, dan logam-logam disebelah kanan dalam deret volta memiliki E^0 positif.

2.5 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. Fungsi dari larutan 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.

2.5.1. Elektrolit Asam (*Acid Electrolyte*)

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 *tripotik*.

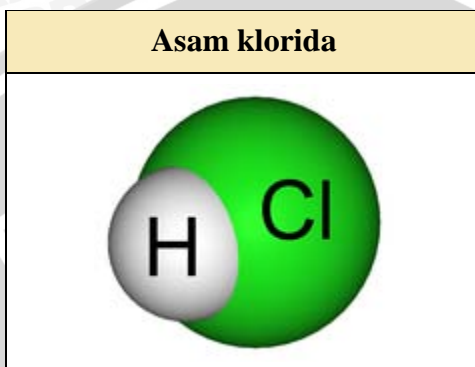
2.5.1.1. Asam *Monoprotik*

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 berikut (Kenaan, 1999) :



2.5.1.2. Asam Klorida (HCL)

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida (HCl). Ia adalah 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. Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu H^+ hanya sekali. seperti yang terlihat pada gambar 2.4. dibawah ini :



Gambar 2.4. Struktur molekul HCL
(Sumber : Wikipedia.org)

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



Beberapa informasi dan sifat-sifat dari asam sulfat dapat dilihat pada tabel 2.4. berikut :

Tabel 2.4. Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Asam Klorida

Karakteristik	Asam klorida
Nama lain	Asam Hidroklorit, Anhidrous hydrogen klorida, Asam muriatik
Rumus molekul	HCl
Titik didih	85 °C (HCl gas)
Titik leleh	114 °C (HCl gas)
Densitas	1,18 g/cm ³
Kelarutan	Larut dalam air, alcohol, benzena dan eter tetapi tidak larut dalam hidrokarbon

Sumber : CRC (1994)

Asam monoprotik memiliki satu tetapan disosiasi asam, K_a , yang mengindikasikan tingkat disosiasi zat tersebut dalam air. Untuk asam kuat seperti HCl, nilai K_a cukup besar. Beberapa usaha perhitungan teoritis telah dilakukan untuk menghitung nilai K_a HCl. Ketika garam klorida seperti NaCl ditambahkan ke larutan

HCl, ia tidak akan mengubah pH larutan secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa Cl^- adalah konjugat basa yang sangat lemah dan HCl secara penuh berdisosiasi dalam larutan tersebut. Untuk larutan asam klorida yang kuat, asumsi bahwa molaritas H^+ sama dengan molaritas HCl cukuplah baik, dengan ketepatan mencapai empat digit angka bermakna.^{[8][9]}

Dari tujuh asam mineral kuat dalam kimia, asam klorida merupakan asam monoprotik yang paling sulit menjalani reaksi redoks. Ia juga merupakan asam kuat yang paling tidak berbahaya untuk ditangani dibandingkan dengan asam kuat lainnya. Walaupun asam, ia mengandung ion klorida yang tidak reaktif dan tidak beracun. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya. Oleh karena alasan inilah, asam klorida merupakan reagen pengasam yang sangat baik.

Asam klorida merupakan asam pilihan dalam titrasi untuk menentukan jumlah basa. Asam yang lebih kuat akan memberikan hasil yang lebih baik oleh karena titik akhir yang jelas. Asam klorida azeotropik (kira-kira 20,2%) dapat digunakan sebagai standar primer dalam analisis kuantitatif, walaupun konsentrasinya bergantung pada tekanan atmosferiknya ketika dibuat.

Asam klorida sering digunakan dalam analisis kimia untuk "mencerna" sampel-sampel analisis. Asam klorida pekat melarutkan banyak jenis logam dan menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen. Ia juga bereaksi dengan senyawa dasar semacam kalsium karbonat dan tembaga (II) oksida, menghasilkan klorida terlarut yang dapat dianalisa.

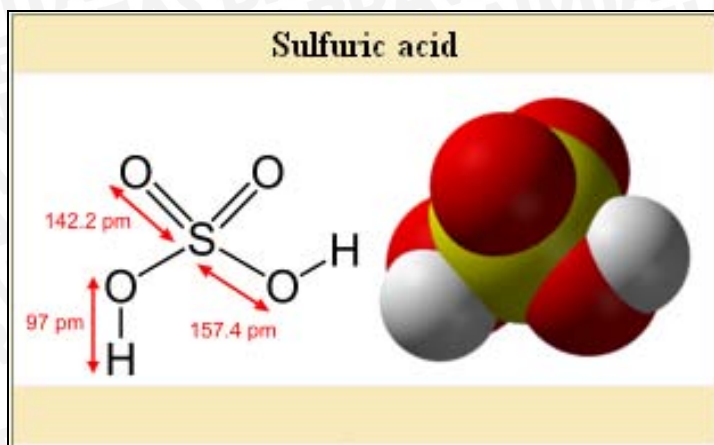
2.5.1.3. Asam Diprotik

Adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang dua proton ke dalam molekul air. Contoh asam *diprotik* adalah asam sulfat.

2.5.1.3.1 Asam sulfat (*Sulphuric Acid*)

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan asam yang paling 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 2.5. berikut :



Gambar 2.5. Struktur molekul H₂SO₄
(Sumber : Wikipedia.org)

Asam sulfat adalah asam kuat yang diperoleh dari pemecahan belerang trioksida (SO₃) dalam air.



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:



Beberapa informasi dan sifat-sifat dari asam sulfat dapat dilihat pada tabel 2.5. berikut :

Tabel 2.5. Informasi dan beberapa sifat dari larutan asam sulfat

Informasi dan Sifat- sifat	
Densitas	1,84 g/cm ³
Titik Lebur	10 °C (283 K)
Titik Didih	338 °C (611 K)
Massa Molar	98,07848 g mol ⁻¹
Rumus Molekul	H ₂ SO ₄
Wujud	Cair

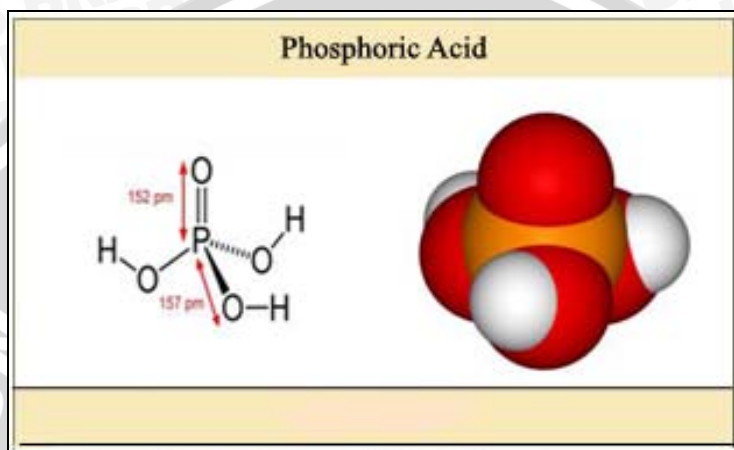
(Sumber : Wikipedia.org)

2.5.1.4. Asam Triprotik

Adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang tiga proton ke sebuah molekul air. Salah satu contoh asam *triprotik* adalah asam fosfat.

2.5.1.4.1 Asam fosfat (*Phosphoric Acid*)

Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan salah satu asam yang dapat digunakan dalam proses *anodizing*. Asam fosfat merupakan asam yang bersifat korosif tapi 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 yang terlihat pada gambar 2.6. berikut:



Gambar 2.6. Struktur molekul H_3PO_4
(Sumber : Wikipedia.org)

Asam fosfat merupakan asam *tripotik* yang mengalami disosiasi dalam air dalam tiga tahap :



Beberapa informasi dan sifat-sifat dari asam fosfat dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6. Informasi dan beberapa sifat dari larutan asam fosfat

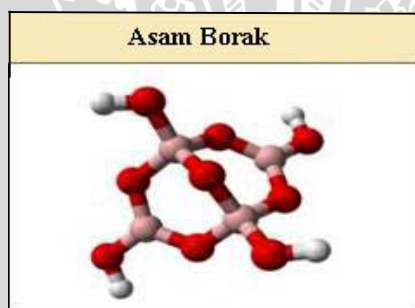
Informasi dan Sifat- sifat	
Densitas	1,68 g/cm ³
Titik Lebur	42,35 °C
Titik Didih	158 °C
Massa Molar	98,0 g/mol
Rumus Molekul	H_3PO_4
Wujud	Cair

(Sumber : Wikipedia.org)

2.5.1.5 Asam Borak

Boraks adalah suatu mineral garam asam bor yang kompleks yang ditemukan di danau playa dan lain deposito evaporite. Struktur dasar dari boraks berisi rantai dari menyambungkan $\text{BO}_2(\text{OH})$ $\text{BO}_3(\text{OH})$ dan segi tiga) bidang empat yang terikat ke rantai dari bidang delapan air dan sodium. Spesimen mineral yang paling tua dari boraks adalah berkapur/pucat putih dalam kaitan dengan suatu reaksi kimia dari pengeringan. Mereka sudah benar-benar mengubah (sedikitnya di permukaan mereka) bagi mineral tincalconite, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dengan hilangnya air. Perubahan macam ini dari satu mineral ke yang lain meninggalkan bentuk yang asli dari kristal itu. Minerologists mengacu pada ini sebagai pseudomorph, atau “bentuk yang gadungan”, sebab tincalconite mempunyai bentuk kristal dari predecesing boraks.

Boraks, juga dikenal sebagai natrium borat, natrium tetraborate, atau dinatrium tetraborate, adalah penting boron senyawa, sebuah mineral, dan garam dari asam borat. Biasanya adalah bubuk putih terdiri dari kristal tak berwarna lembut yang mudah larut dalam air. Seperti yang terlihat pada gambar 2.7. berikut:



Gambar 2.7. Struktur dari anion $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$ pada boraks
(Sumber : Wikipedia.org)

Boraks Istilah ini sering digunakan untuk sejumlah terkait erat mineral atau senyawa kimia yang berbeda dalam air kristal isi:

- Anhidrat boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)
- Pentahydrate boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- Decahydrate boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Boraks biasanya digambarkan sebagai $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ Namun, lebih baik dirumuskan sebagai $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, karena mengandung boraks $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$ ion. Dalam struktur ini, ada dua empat-koordinat atom boron (dua BO_4 tetrahedra) dan dua tiga koordinat atom boron (dua BO_3 segitiga).

Boraks juga dengan mudah dikonversi menjadi asam borat dan lain borates, yang memiliki banyak aplikasi. Jika dibiarkan terkena udara kering, perlahan-lahan

kehilangan air hidrasi dan menjadi putih dan berkapur mineral tincalconite ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Beberapa informasi dan sifat-sifat dari asam Borak dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Informasi dan beberapa sifat dari larutan asam borak

Properties	
Rumus	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{Na}_2 [\text{B}_4\text{O}_5 (\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Massa molar	381,37
Penampilan	padatan putih
Massa jenis	1,73 g / cm^3
Titik lebur	608 ° C ^[1]
Titik didih	1575 ° C

(Sumber : Wikipedia.org)

Boraks memiliki berbagai kegunaan. Ini adalah komponen dari banyak deterjen, kosmetik, dan enamel glazes. Larutan ini juga dapat digunakan untuk membuat larutan buffer dalam biokimia, untuk pelapisan anodizing, sebagai penghambat api, sebagai anti jamur senyawa untuk fiberglass, sebagai insektisida, sebagai fluks dalam metalurgi, sebuah agen texturing memasak, dan sebagai prekursor senyawa boron lain.

Istilah *boraks* digunakan untuk sejumlah terkait erat mineral atau senyawa kimia yang berbeda dalam air kristal konten, namun biasanya merujuk pada decahydrate. Dijual komersial boraks biasanya sebagian mengalami dehidrasi.

Boraks sebagai sumber borat telah digunakan untuk mengambil keuntungan dari kemampuan complexing borat dengan agen lainnya dalam air untuk kompleks berbagai zat. Borat dan yang cocok polimer tempat tidur yang digunakan untuk kromatograf non-glikosilasi hemoglobin glikosilasi diferensial dari hemoglobin (terutama HbA1c), yang merupakan indikator jangka panjang hiperglikemia pada diabetes melitus. Borat dan berpemilik sintesis asam amino, Deselex (dari Henkel) telah digunakan untuk air kompleks "kekerasan" kation untuk membuat non-mempercepat air "pelembut". Borat sendiri tidak memiliki afinitas tinggi untuk "kekerasan" kation, meskipun telah digunakan untuk tujuan itu.

2.5.2. 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 terurai menjadi ion Na^+ dan ion OH^- .

2.5.3. 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^- .

2.6 Elektroda

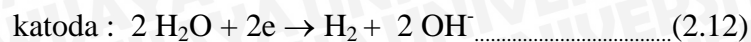
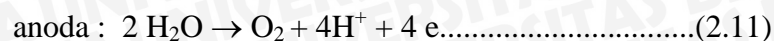
Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan sebuah bagian non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, sebuah elektrolit atau sebuah vakum). Kata ini diutamakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan *hodos* sebuah cara). Pada percobaan *anodizing* ini, digunakan elektroda aluminium sebagai anoda dan katodanya adalah logam timbal. Sebuah elektroda dalam sebuah sel elektrolisis ditunjuk sebagai sebuah anoda atau sebuah katoda, kata-kata yang juga diutamakan oleh Faraday. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari voltase yang diberikan ke sel. Sebuah elektroda bipolar adalah sebuah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah katoda bagi sel lainnya. Berikut ini adalah jenis elektroda: [Michael Faraday, 1834]

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 hidrolisis (terbuat dari platinum)

2.7 Elektrolisa

Elektrolisis adalah peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Alat elektrolisis terdiri atas sel elektrolitik yang berisi elektrolit (larutan atau leburan), dan dua elektroda, yaitu anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksida sedangkan pada elektroda katoda terjadi reaksi reduksi. Pada suatu percobaan elektrolisis reaksi yang terjadi pada katoda bergantung pada kecenderungan terjadinya reaksi reduksi. Elektrolisis HCl pada berbagai keadaan menunjukkan pentingnya suasana sistem yang

dielektrolisis. Jika larutan HCl yang sangat encer dielektrolisis menggunakan elektroda platina maka reaksi pada kedua elektroda sebagai berikut:[Boyer Haward E, 1986]



2.8. Lapisan Yang Terbentuk Pada Proses *Anodizing*

2.8.1 *Aluminium Oxide Film* (Film Oksida Aluminium)

Lapisan film oksida dapat terbentuk pada logam-logam tertentu, seperti aluminium, niobium, tantalum, titanium, tungsten, zirconium. Lapisan ini terbentuk saat logam-logam tersebut mengalami sebuah proses elektrokimia yaitu anodizing. Dari proses ini akan didapatkan lapisan film oksida yang memiliki ketebalan, densitas, dan perkembangan *porous* yang sangat bervariasi, tergantung dari jenis logam yang dipakai.

Untuk logam aluminium, lapisan film oksida yang terjadi adalah lapisan yang unik. Karena logam aluminium dapat membentuk lapisan film oksida yang lebih tebal dan mengandung densitas *porous* yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena aluminium lebih mudah teroksidasi daripada logam jenis lain, seperti digambarkan 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*.

2.8.1.1 Tipe dari Lapisan Film Oksida

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

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

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

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

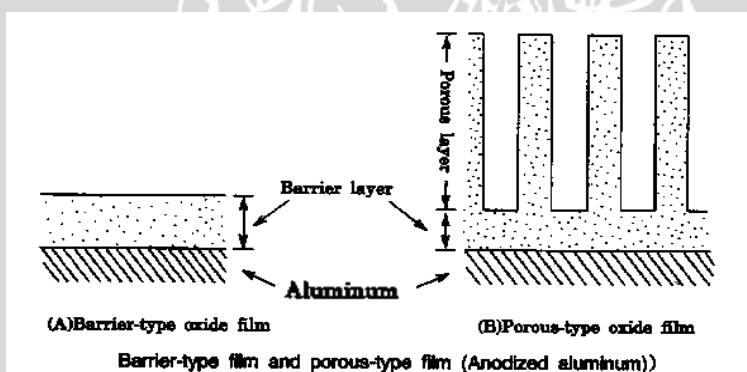
Tetapi, bagaimanapun juga tidak mungkin melakukan anodizing pada voltase yang sangat tinggi, karena batas maksimum pemberian voltase adalah 500V – 700V. Bila voltase yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak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

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

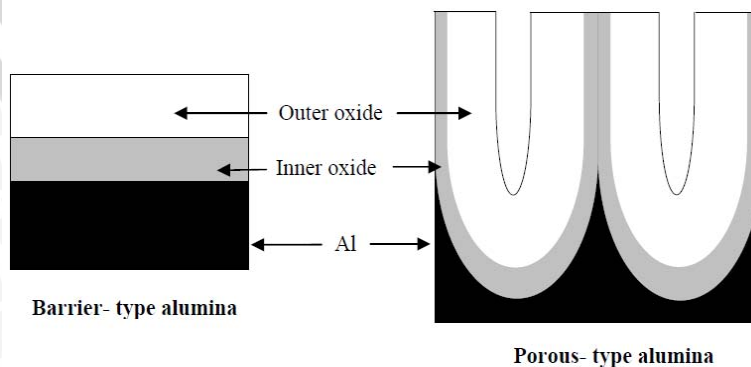
Apabila aluminium dianodisasi dalam larutan asam, maka akan terbentuk lapisan film oksida tipe pori (*porous-type oxide film*). Lapisan film oksida tipe ini disebut juga lapisan film bertingkat (*duplex film*).

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

Walaupun berbeda, namun tiap-tiap tipe mengandung lapisan oksida dalam (*inner oxide*) dan lapisan oksida luar (*outer oxide*). Pada gambar 2.8 dan 2.9, *Inner oxide* yang mengandung alumina (Al_2O_3) murni terbentuk karena reaksi antara oksida dan logam. Sedangkan *outer oxide* yang mengandung alumina yang masih terkontaminasi logam anionnya, terbentuk karena reaksi antara oksida dan larutan elektrolit



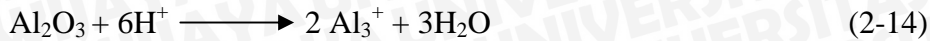
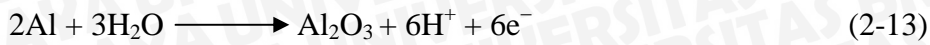
Gambar 2.8. Dua tipe lapisan oksida yang terbentuk pada proses anodizing aluminium (Sumber : Sato T, 1997:208)



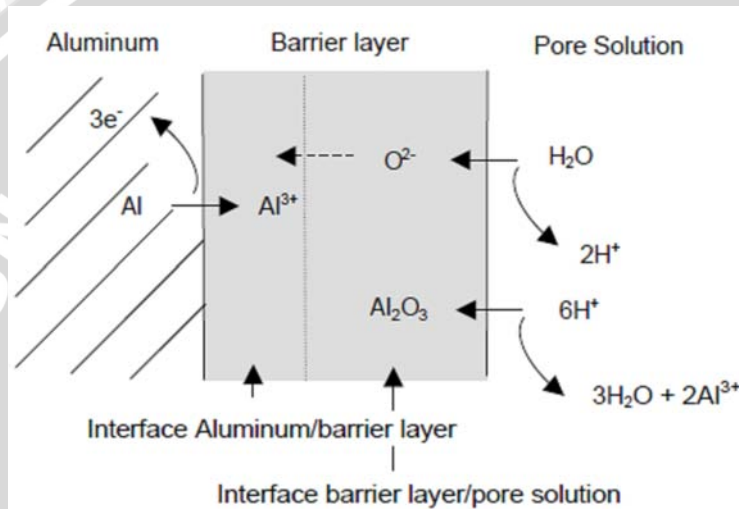
Gambar 2.9. Penampang melintang lapisan oksida tipe *barrier* dan tipe *porous* (Sumber : Anonim, 1990)

2.8.1.2 Pembentukan Lapisan Oksida tipe Pori

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



Reaksi yang pertama pada persamaan (2-13) menunjukkan reaksi pembentukan lapisan oksida dan reaksi yang kedua pada persamaan (2-14) menunjukkan reaksi pelarutan kimia dari lapisan oksida dalam larutan elektrolit asam seperti asam sulfat. Gambar 2.10 menunjukkan reaksi awal dari kedua proses tersebut.

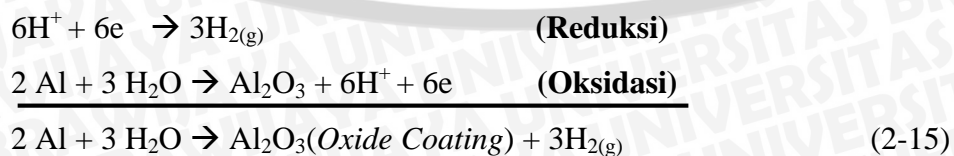


Gambar 2.10. Ilustrasi dari proses awal terbentuknya film oksida *porous* pada aluminium
(Sumber : Anne Deacon Juhl, 2002:5)

Pada reaksi pembentukan ketika arus mulai di berikan, maka proses elektrolisis mulai berjalan. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan katoda terjadi reaksi reduksi.

Reaksi redoks adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia (N. V Parthasaradhy, 1989: 25).

Jika kedua reaksi tersebut (oksidasi dan reduksi) dirangkai dan disetarakan maka akan membentuk reaksi redoks sebagai berikut:



Reaksi oksidasi adalah :

1. Peristiwa pelepasan elektron.
2. Terjadi penambahan (naiknya) bilangan oksidasi.
3. Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda.
4. Zat yang mengalami proses oksidasi disebut reduktor.

Reaksi reduksi adalah :

1. Peristiwa menangkap elektron.
2. Terjadi pengurangan (turunnya) bilangan oksidasi.
3. Pada sel elektrokimia reduksi terjadi di katoda.
4. Zat yang mengalami proses reduksi disebut oksidator.

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

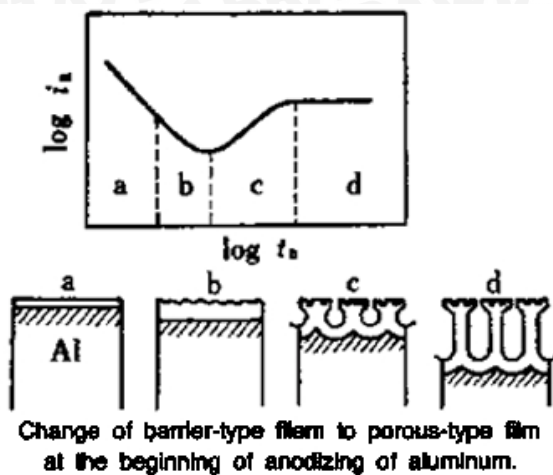
Potensial listrik yang ditimbulkan akibat reaksi reduksi disebut potensial elektrode (E). Semakin mudah suatu unsur mengalami reduksi, maka makin besar potensial elektrodanya.

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

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

Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion logam Al^{3+} dengan O^{2-} atau OH^- dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier (barrier layer)*. Dalam lapisan *barrier* terjadi reaksi penguraian ion HCl^- yang diperoleh dari penguraian asam klorida pada larutan yaitu :





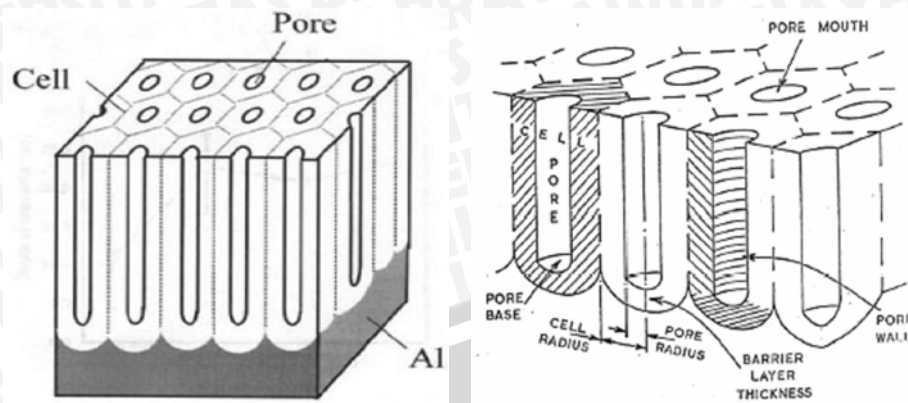
Gambar 2.11 Skema proses perubahan lapisan film tipe *barrier* menjadi tipe *porous* (Sumber : Sato T, 1997:209)

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

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

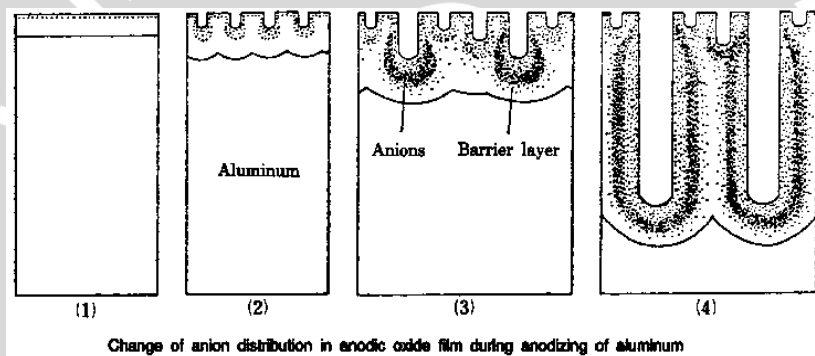
Kemudian dihasilkan permukaan lapisan yang tidak rata (kasar). Ketidakrataan ini menyebabkan arus akan terkonsentrasi pada permukaan yang tipis oksidanya (berlubang), kemudian terjadilah proses pelarutan akibat naiknya arus yang menimbulkan aksi medan listrik dan aksi elektrolit. Peristiwa ini terjadi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

Pada daerah *d* arus akan mencapai level konstan, dimana angka dari pembentukan dan pelarutan lapisan oksida menjadi steady state. Lapisan oksida yang terbentuk mempunyai struktur atom hexagonal dengan pori di tengahnya serta lapisan oksida yang terbentuk menyatu dengan logam induknya, sehingga sulit untuk terkelupas. Struktur atom hexagonal tersebut biasa disebut dengan nama *cell*. Untuk lebih jelasnya, lapisan oksida *porous* yang terbentuk dapat dilihat pada skema ilustrasi yang ditunjukkan oleh gambar 2.12.



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

Dalam kenyataan, kandungan lapisan oksida tidak hanya aluminium oksida saja, melainkan terdapat zat tambahan lain yaitu sulfat dan air dari elektrolitnya. Letak dan distribusi dari sulfat dan air ditunjukkan pada gambar 2.13 di bawah ini.



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

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

2.9 KEAUSAN

Keausan adalah suatu proses hilangnya material dari satu atau dua permukaan padat yang mengalami kontak antar permukaan akibat gerakan relatif yang berupa geseran (*sliding*) atau gelinding (*rolling*) (Patwardhan, A.K., 1998). Hilangnya material tersebut biasanya berlangsung sangat lambat tetapi berlangsung terus menerus. Faktor yang mempengaruhi dalam sistem keausan yaitu :

- a) Variabel metalurgi : kekerasan, ketangguhan, komposisi kimia dan mikrostruktur dari material yang mengalami keausan.
- b) Variabel operasional : yaitu material yang bersentuhan, tekanan kontak, suhu operasi, kekerasan permukaan, pelumasan, kecepatan sliding. (Faraq. Moh, M., 1997).

Laju keausan dinyatakan sebagai total berat kehilangan dalam satu satuan waktu, sedangkan ketahanan aus merupakan suatu fungsi terbalik dari laju ketahanan aus. (Utomo, 2007)

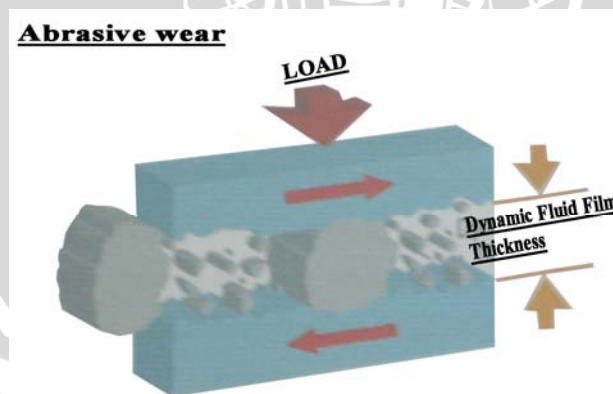
2.9.1 Macam-macam keausan :

Keausan dapat terjadi dengan beberapa cara atau mekanisme. Ada 3 macam penggolongan keausan (dalton WK, 1996 : 321) :

- a) Keausan abrasi (*Abrasive Wear*)

Keausan abrasi disebabkan oleh partikel yang bergerak seperti elemen yang berada di antara permukaan yang mengikis logam dari permukaan. Partikel-partikel-partikel itu terjebak antara dua permukaan atau bisa juga bebas bergerak. Kehadiran partikel-partikel itu bisa karena berdiri sendiri ataupun bersamaan

dengan cairan, pelumas, gas dan lain-lain. Keausan yang disebabkan oleh abrasi adalah yang paling membahayakan dari mekanisme keausan. seperti yang terlihat pada gambar 2.14. berikut :



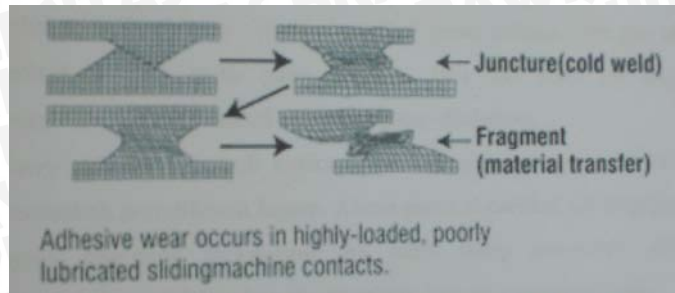
Gambar 2.14 *Abrasive wear*
(Sumber : Robert scot, 2008)

Dalam keausan abrasi, partikel-partikel dapat dianggap alat potong yang digerakan oleh *counter surface*. Jumlah dan jenis keausan yang terjadi adalah apakah partikel tersebut berkumpul atau terjebak dalam ruang antara permukaan.

Macam-macam keausan abrasi :

- *High stress abrasion* : jika partikel-partikel itu besar dan berada diantara dua material yang bergesekan, pergerakan material dapat menjebak partikel-partikel itu diantara dua permukaan dan terjadi *high stress abrasion*. Dalam kondisi ini partikel-partikel mungkin patah dan terjadi sudut tajam yang baru.
 - *Low stress abrasion* : jika jarak antara permukaan cukup besar sehingga dapat membuat partikel-partikel berkumpul ke dalam celah, partikel-partikel itu ada dalam *low stress situation* dan lebih terlihat diam ditempat.
 - *Grooving abrasion* : partikel-partikel yang terbentuk oleh proses *grooving*, partikel yang bersudut tajam atau partikel yang bersifat melekat akan lebih menimbulkan kerusakan dibanding partikel yang berbentuk bulat yang dapat bergerak bebas sepanjang permukaan.
 - *Abrasion by cutting, plowing & chipping* : tergantung pada bentuk partikel dan kekerasannya terhadap material, partikel akan membuat abrasi seperti *cutting, plowing & chipping*. Dalam *cutting particle*, partikel yang tajam bergerak seperti potongan dan memindahkan chip logam dari permukaan. Dalam *plowing* partikel yang lebih bulat membuat lubang pada permukaan dan meninggalkan alur. *Chipping* terjadi jika logam yang cukup *brittle*, sehingga sebuah partikel menyebabkan sebuah perpatahan sepanjang lintasan dan chip dari permukaan logam keluar.
- b) Keausan yang disebabkan oleh gesekan dengan permukaan material lain (*contact wear*)

Contact wear terjadi ketika permukaan dan *counter surface* diberi gaya bersama dan bergerak relatif satu terhadap yang lain, dibawah kondisi tertentu kedua permukaan dapat membentuk oksida dan mengontrol laju dari keausan. Dibawah beban yang besar dan tanpa oksida mungkin kedua permukaan akan melekat, hal itu disebut *galling*, dan dalam kasus yang ekstrim akan menyebabkan pengurangan ukuran (*seizing*) atau pengelasan. Dalam *Contact wear* tegangan yang terbentuk akibat kekerasan (*asperities*) cukup besar untuk membuat dua permukaan berubah bentuk (*deform*). seperti yang terlihat pada gambar 2.15. berikut :



Gambar 2.15 *Contact Wear (Adhesive wear)*
(Sumber : Robert Scot, 2008)

Macam-macam *Contact wear* :

- *Galling* : jika beban antar permukaan meningkat, *asperities* akan mulai mengunci dan melekat satu sama lain, hal ini disebut *galling* atau *adhesive wear*.
 - *Contact fatigue* : ketika beban besar dikonsentrasikan pada permukaan logam, seperti menekan permukaan-permukaan tersebut, perpindahan tegangan geser dimulai dari bawah permukaan. Bila beban dan tegangan ini kontinyu maka permukaan logam akan rusak karena lelah (*fatigue*).
 - *Fretting* : adalah fenomena keausan yang terjadi antara dua permukaan yang lebih disebabkan karena adanya getaran dan bukan karena adanya gerakan relatif antar material.
- c) Keausan Erosi (*Erosive wear*)

Keausan erosi adalah kehilangan dari material padat yang disebabkan karena gerakan relatif saat kontak dengan fluida yang mengandung partikel padat. seperti yang terlihat pada gambar 2.16. berikut :



Gambar 2.16 *Erosion Wear*
(Sumber : Robert Scot, 2008)

Keausan erosive dibagi menjadi 3 macam :

- *Solid particle erosion* : Partikel-partikel padat dibawa oleh gas akan mengikis permukaan dari metal yang dilewati, laju dari erosi ini tergantung pada kecepatan, ukuran partikel dan sudut yang dilaluinya.
- *Slurry erosion* : terjadi ketika aliran cairan membawa partikel-partikel dan menumbuk permukaan logam. Aliran partikel-partikel ini sepanjang permukaan logam membuat mekanisme ini lebih mirip *low-stress abrasion*, yang membedakan adalah cairan itu ditambah dengan komponen korosi.
- *Liquid droplet erosion* : Contoh dari erosi ini terjadi pada pesawat terbang yang dengan kecepatan tinggi melewati hujan deras. Proses ini melibatkan titik-titik hujan yang dengan gaya yang cukup untuk menimbulkan tekanan plastis (*plastic depression*) pada permukaan logam.

2.10 Perhitungan Ketebalan lapisan Oksida

Untuk menghitung tebal lapisan oksida dapat menggunakan rumus

$$V = \frac{m_a - m_b}{\rho} \left[\frac{g}{g/cm^3} \right] \quad (2-16)$$

Dimana :

m_a adalah Berat awal sebelum proses anodizing [g]

m_b adalah Berat akhir sesudah proses *anodizing* [g]

ρ adalah Berat jenis aluminium [g/cm³]

V = Volume total keausan [cm³]

Dari rumus (2-16) maka didapatkan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{V}{L_s} \left[\frac{cm^3}{cm^2} \right] \quad (2-17)$$

Dimana :

V adalah volume lapisan oksida [cm³]

L_s adalah luas selimut [cm²]

T adalah tebal lapisan oksida [μm]

2.11 Perhitungan Keausan

Perhitungan keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah menghitung laju keausan, maka digunakan perumusan laju keausan ASTM G65 yang merupakan sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan laju keausan secara umum.

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} \left[\frac{g}{s} \right] \quad (2-18)$$

Dimana :

m_a adalah berat sebelum uji keausan	[g]
m_f adalah berat sesudah uji keausan	[g]
t adalah waktu proses	[s]
W adalah laju keausan	[g/s]

Untuk menghitung ketahanan aus dengan Persamaan keausan Archard adalah sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan keausan secara umum.

$$Q = \frac{KWL}{H} \quad (2-19)$$

Dari rumus (2-19) maka didapatkan rumus sebagai berikut :

$$K = \frac{QH}{WL} \quad (2-20)$$

Dimana :

Q adalah volume total keausan	[m ³]
W adalah besar pembebanan normal	[N]
L adalah panjang sliding atau bidang kontak	[m]
H adalah kekerasan ; kekerasan alumina (Al ₂ O ₃)	[g / cm ²]
K adalah koefisien keausan ; $1/K$ adalah ketahanan aus	

2.11 Hipotesis

Dengan berbagai variasi jarak anoda dan katoda (2,5 cm s/d 12,5 cm) yang digunakan selama proses anodizing akan mempengaruhi kualitas *aluminium oxide layer*, semakin tebal lapisan yang terbentuk akan menyebabkan ketahanan terhadap abrasi atau keausan akan meningkat pula. Berdasarkan tinjauan diatas maka dapat diambil hipotesis yaitu variasi jarak anoda dan katoda berpengaruh terhadap keausan lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Dalam hal ini penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing. Data dan informasi pendukung diperoleh dari kajian buku, artikel dan jurnal yang diperoleh dari perpustakaan dan internet untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel-variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya diubah-ubah untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari obyek penelitian. Dalam hal ini variabel bebasnya adalah :

a. Jarak anoda dan katoda 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas dan diketahui setelah penelitian itu dilakukan. Besar variabel terikat dapat berubah-ubah sesuai dengan variabel bebas jika terdapat hubungan antara keduanya. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah ketahanan aus.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dalam rentang waktu bulan April 2010 di Laboratorium , Landungsari Malang untuk melakukan proses anodizing dan untuk proses pengujian ketahanan aus.

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mistar

2. Kertas gosok
3. Timbangan elektrik
4. Gelas ukur
5. Pipet
6. Gergaji besi
7. Ragum
8. Alat pemanas (heater)
9. Instalasi anodizing
10. Masker Hidung
11. Sarung tangan
12. Tang jepit
13. Termometer
14. Stabilizer tegangan listrik
15. Avometer

3.4.2 Bahan yang Digunakan

Spesimen yang digunakan adalah aluminium 6063 dengan komposisi sebagai berikut.

Al	: 97.6 %	V	: 0.018 %	Cu	: 0.181 %
P	: 0.46 %	Cr	: 0.039 %	Zn	: 0.130 %
Ca	: 0.30 %	Mn	: 0.153 %	Ga	: 0.032 %
Sc	: 0.017 %	Fe	: 0.975 %	Y	: 0.018 %
Ti	: 0.034 %	Ni	: 0.027 %	Os	: 0.037 %

3.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, yaitu:

1. Studi literatur
2. Persiapan bahan dan alat
3. Melakukan proses *pre-treatment* specimen

Langkah-langkah proses *pre treatment* spesimen anodizing pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Degreasing

Degreasing dilakukan untuk menghilangkan oli atau lemak yang terdapat pada permukaan aluminium sebelum diproses anodizing. Pembersihan biasanya

dilakukan dengan cara direndam kedalam larutan asam sulfat dengan temperatur antara $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ selama 5 – 15 menit.

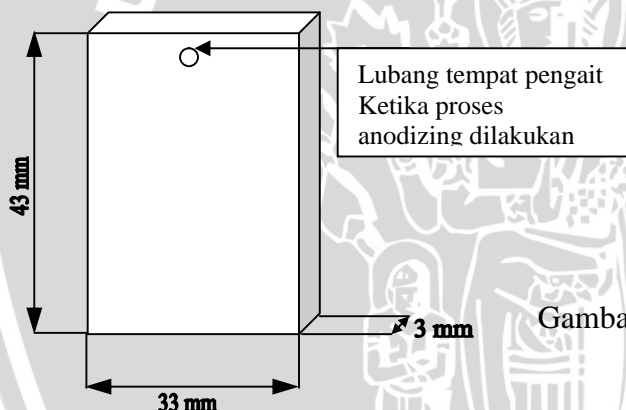
b. Etching

Etching dilakukan untuk memperhalus permukaan dan menghilangkan lapisan film oksida aluminium yang terbentuk secara alami pada permukaan aluminium yang akan dianodizing. Etching dilakukan dengan cara merendam aluminium kedalam larutan soda api dengan temperatur $60^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$ selama 5 – 25 menit tergantung kehalusan permukaan yang diinginkan.

c. Desmutting

Desmutting adalah proses pembersihan bercak hitam akibat dari proses etching. Dilakukan dengan cara merendam benda kerja pada larutan asam nitrat dengan temperatur $25^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit.

Adapun bentuk atau dimensi spesimen yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Dimensi spesimen

4. Pemberian kode pada spesimen

5. Proses anodizing

Langkah-langkah proses anodizing pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Persiapan instrumen anodizing
- b. Persiapan larutan elektrolit.
- c. Penuangan larutan elektrolit ke dalam bak anodizing.
- d. Pemanasan larutan elektrolit hingga mencapai suhu $\pm 45^{\circ}\text{C}$, dengan menggunakan heater.
- e. Penimbangan berat awal spesimen.
- f. Melakukan proses anodizing selama 15 menit.
- g. Setelah 15 menit, aluminium diangkat dan dibilas dengan air, untuk membersihkan sisa-sisa elektrolit.

- h. Penimbangan berat akhir spesimen
- 6. Melakukan proses *last treatment* spesimen.
 - a. *Sealing* adalah proses yang diperlukan agar pori yang terbentuk di permukaan menutup. Dilakukan dengan cara merendam benda kerja yang telah dianodizing kedalam air mendidih dengan suhu $> 96^{\circ}$ selama 10 menit.
- 7. Pengujian ketahanan aus permukaan aluminium hasil anodizing
 - a. Menimbang berat awal spesimen
 - b. Menyiapkan spesimen uji pada instrumen uji keausan
 - c. Melakukan proses pengausan pada permukaan spesimen
 - d. Membersihkan spesimen yang telah diuji
 - e. Menimbang spesimen uji yang telah mengalami keausan
- 8. Analisis data dan pembahasan.
- 9. Pengambilan kesimpulan.

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian bertujuan mencari pengaruh dari variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida aluminium hasil anodizing. Variasi jarak anoda dan katoda dilakukan dengan lima tingkatan dan diulang sebanyak tiga kali. Seperti ditunjukkan pada tabel rancangan penelitian di bawah ini.

Tabel 3.1 Rancangan Penulisan Data Hasil Pengujian Ketahanan Aus Pada Jarak anoda dan katoda

perlakuan Pengulangan	Tanpa Proses Anodizing	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm	Jumlah
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	-
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	Y_{26}	-
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	Y_{36}	-
Jumlah	$\sum Y_{i1}$	$\sum Y_{i2}$	$\sum Y_{i3}$	$\sum Y_{i4}$	$\sum Y_{i5}$	$\sum Y_{i6}$	$\sum Y_{ij}$
Rata-rata	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3	\bar{Y}_4	\bar{Y}_5	\bar{Y}_6	\bar{Y}_j

Keterangan:

Y adalah data hasil pengujian ketahanan aus

Y_{ij} adalah data pengujian yang berupa data pengujian tiap pengulangan ke-i pada variasi jarak anoda dan katoda ke-j

Dari data-data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisa menggunakan analisa statistik. Analisa statistik digunakan untuk mengetahui kebenaran data dan hasil yang didapatkan dari pengujian dan pengukuran.

3.7 Analisa Varian Satu Arah

Dengan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing. Dari data yang diperoleh dan diuji secara statistik, akan diketahui bagaimana pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$ dan μ_5 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (Tidak ada perbedaan atau pengaruh nyata dari hasil tiap variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (Ada perbedaan atau pengaruh nyata dari hasil tiap variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus oksida pada aluminium hasil anodizing)

Kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Jumlah kuadrat perlakuan (JK_P)

$$JK_P = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{Y}_{j.} - \bar{Y}_{..}) \dots \dots \dots (3-1)$$

2. Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$JK_G = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \dots \dots \dots (3-2)$$

3. Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$KT_P = \frac{JK_P}{k - 1} \dots \dots \dots (3-3)$$

4. Kuadrat tengah galat (KT_G)

$$KT_G = \frac{JK_G}{n - k} \dots \dots \dots (3-4)$$

5. Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G} \dots \dots \dots (3-5)$$

Untuk melakukan uji analisa varian, maka dibuat tabel analisa varian satu arah seperti pada tabel 32:

Tabel 3.2 Tabel Analisa Varian Satu Arah

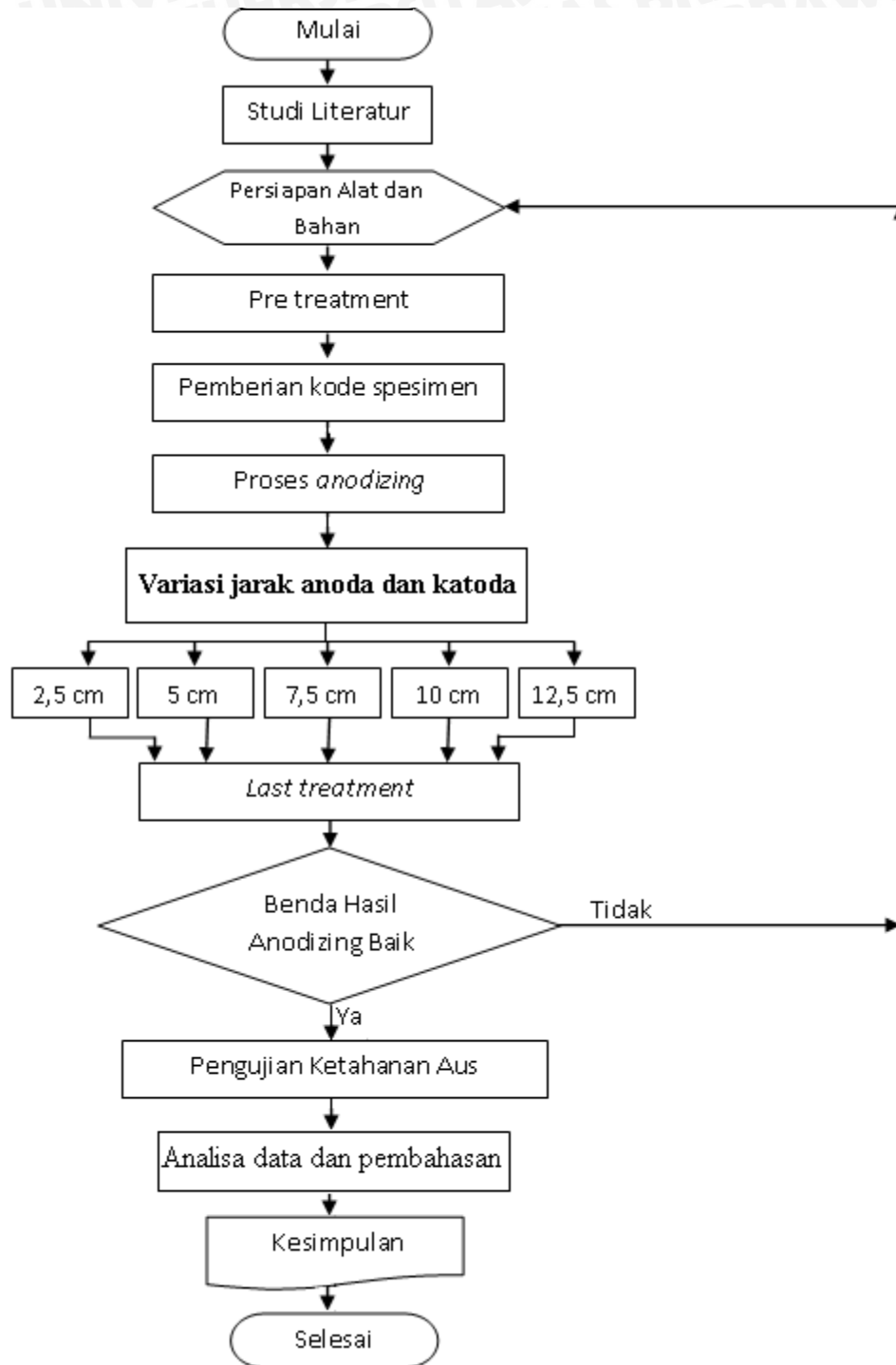
Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (kategori)	k-1	$JK_P = \sum_{j=1}^k n_i (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})$	$KT_P = \frac{JK_P}{k-1}$	$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G}$	F{ ;(n-k);(k-)} k);(k-)}
Galat	n-k	$JK_G = \sum_{i=1}^k (n_i - 1)S_i^2$	$KT_G = \frac{JK_G}{n-k}$		

Kesimpulan bahwa ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} sebagai berikut:

1. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, menyatakan bahwa ada perbedaan atau pengaruh yang nyata dari pengaruh variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing.
2. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ berarti H_0 diterima dan H_1 ditolak, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan atau pengaruh yang nyata dari pengaruh variasi jarak anoda dan katoda terhadap ketahanan aus lapisan oksida pada aluminium hasil anodizing.



3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

4.1.1. Data Hasil Perhitungan Tanpa Proses *Anodizing*

4.1.1.1 Data Hasil Perhitungan Volume Keausan

Dari pengujian keausan menggunakan alat uji Keausan abrasi (*Abrasive Wear*) maka didapat data-data sebagai berikut. Untuk menghitung volume keausan, maka digunakan rumus seperti dibawah ini.

- Berat jenis aluminium (ρ) = 2,717 g/cm³
- Berat awal spesimen sebelum uji keausan (m_a) 1.1 = 12,76 g
- Berat akhir spesimen setelah uji keausan (m_b) 1.1 = 12,51 g
- Volume keausan (cm³)

$$V = \frac{m_a - m_b}{\rho} \left[\frac{g}{g/cm^3} \right]$$

$$= \frac{0,10}{2,717}$$

$$= 0,092 \text{ cm}^3$$

Dari contoh perhitungan di atas didapatkan data-data berat spesimen aluminium tanpa proses *anodizing* Seperti pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data pengujian ketahanan aus pada spesimen aluminium tanpa proses *anodizing*

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Vol Keausan (cm ³)
1.1	12,76	12,55	0,077
1.2	12,54	12,32	0,081
1.3	12,65	12,43	0,081
Jumlah	37,95	37,30	0,239
Rata-Rata	12,65	12,43	0,080

*) waktu proses uji keausan 9 menit

4.1.1.2 Data Hasil Perhitungan Ketahanan Aus

Untuk menghitung ketahanan aus, maka digunakan perumusan keausan Archard yang merupakan sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan keausan secara umum. Untuk mencari ketahanan aus maka perhitungan awal adalah menentukan koefisien keausan masing-masing spesimen.

$$K = \frac{VH}{WL}$$

Dimana :

V adalah volume total keausan [cm³]

W adalah besar pembebanan normal [g]

L adalah panjang sliding atau bidang kontak = 77436 [cm]

H adalah kekerasan ; kekerasan alumina (Al₂O₃) BHN = 2 x 10⁸ [g/cm²]

K adalah koefisien keausan ; 1/K adalah ketahanan aus

Contoh perhitungan koefisien keausan Spesimen aluminium tanpa proses anodizing.

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{VH}{WL} \\
 &= \frac{0,092 \times (2 \times 10^8)}{5000 \times 77436} \\
 &= 0,048
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan diatas maka didapatkan data-data hasil perhitungan koefisien keausan rata-rata setiap variasi seperti pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan koefisien keausan pada aluminium tanpa proses anodizing

No. Spesimen	Koefisien Aus
1.1	0,040
1.2	0,042
1.3	0,042
Jumlah	0,124
Rata-Rata	0,041

Jika K adalah koefisien keausan dan 1/K adalah ketahanan aus, maka didapatkan tingkat ketahanan aus rata-rata untuk masing-masing variasi. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Ketahanan aus dapat dinyatakan dalam bentuk persentase (%) seperti berikut :

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan ketahanan keausan pada aluminium tanpa proses anodizing

No. Spesimen	Ketahanan Aus (%)
1.1	25,043
1.2	23,905
1.3	23,905
Jumlah	72,853
Rata-Rata	24,284

4.1.1.3 Data Hasil Perhitungan Laju Keausan

Untuk menghitung laju keausan, maka digunakan perumusan laju keausan ASTM G65 yang merupakan sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan laju keausan secara umum. Berikut adalah contoh perhitungannya :

- Berat sebelum uji keausan (m_a) = 12,76 [g]
- Berat sesudah uji keausan (m_f) = 12,51 [g]
- Waktu proses (t) = 540 [s]
- Laju keausan (W) [g/s]

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} \left[\frac{g}{s} \right]$$
$$= \frac{11,99 - 11,89}{540}$$
$$= 0,00019 \quad (g / s)$$

Dari contoh perhitungan diatas maka didapatkan data-data hasil perhitungan laju keausan rata-rata setiap variasi seperti pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Data hasil perhitungan laju keausan pada aluminium tanpa proses *anodizing*

No. Spesimen	Laju Keausan (g/s)
1.1	0,00039
1.2	0,00041
1.3	0,00041
Jumlah	0,00120
Rata-Rata	0,00040

4.1.2. Data Hasil Perhitungan Dengan Proses *Anodizing*

4.1.2.1 Data Hasil Perhitungan Tebal lapisan Oksida

Proses pelapisan anodizing dilakukan dengan jarak anoda dan katoda 2,5 cm sampai 12,5 cm, konsentrasi larutan HCL 10 %, dan dilakukan selama 15 menit untuk setiap pengambilan data setiap specimen. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mengetahui tebal lapisan oksida yang terdapat pada aluminium hasil *anodizing*.

$$V = \frac{m_a - m_b}{\rho} \left[\frac{g}{g/cm^3} \right]$$

Dimana :

Berat awal sebelum proses anodizing (m_a) = 12,47 g

Berat akhir sesudah proses *anodizing* (m_b) = 11,99 g

Berat jenis aluminium (ρ) = 2,717 g/cm³

Volume lapisan oksida (V) [cm³]

$$V = \frac{0,48}{2,717} \left[\frac{g}{g/cm^3} \right]$$

$$= 0,177 \text{ cm}^3$$

Hasil dari contoh perhitungan di atas dapat dimasukkan ke perhitungan dibawah ini.

$$T = \frac{V}{L_s} \left[\frac{cm^3}{cm^2} \right]$$

Dimana :

V adalah volume lapisan oksida = 0,177 cm³

L_s adalah luas selimut [cm²]

T adalah tebal lapisan oksida [μm]

$$T = \frac{V}{L_p} \left[\frac{cm^3}{cm^2} \right]$$

$$= \frac{V}{2(p \times t) + 2(l \times t) + 1(p \times l)} \left[\frac{cm^3}{cm^2} \right]$$

$$= \frac{0,177}{2(3 \times 4) + 2(0,25 \times 4) + 1(3 \times 0,25)} \left[\frac{cm^3}{cm^2} \right]$$

$$= \frac{0,177}{26,75} \left[\frac{cm^3}{cm^2} \right]$$

$$= 0,0066 \text{ cm}$$

$$= 66 \mu\text{m}$$

Dari contoh perhitungan di atas didapatkan data-data tebal lapisan oksida pada spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda dan katoda yang berbeda-beda Seperti pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan tebal lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 2,5 cm.

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Volume Lapisan Oksida cm ³	Tebal lapisan oksida [μm]
1,1	12,47	11,99	0,177	66
1,2	12,53	12,06	0,173	65
1,3	12,55	12,07	0,177	66
Jumlah	37,55	36,12	0,526	197
Rata-Rata	12,52	12,04	0,175	66

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan tebal lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 5 cm.

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Volume Lapisan Oksida cm ³	Tebal lapisan oksida [μm]
2,1	12,29	11,86	0,158	59
2,2	12,53	12,10	0,158	59
3,3	12,78	12,37	0,151	56
Jumlah	37,6	36,33	0,467	175
Rata-Rata	12,53	12,11	0,156	58

Tabel 4.7 Data hasil perhitungan tebal lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 7,5 cm.

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Volume Lapisan Oksida cm ³	Tebal lapisan oksida [μm]
3,1	12,77	12,39	0,140	52
3,2	12,96	12,60	0,132	50
3,3	12,83	12,45	0,140	52
Jumlah	38,56	37,44	0,412	156
Rata-Rata	12,85	12,48	0,137	52

Tabel 4.8 Data hasil perhitungan tebal lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 10 cm.

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Volume Lapisan Oksida cm ³	Tebal lapisan oksida [μm]
4,1	12,75	12,41	0,125	47
4,2	12,68	12,33	0,129	48
4,3	12,52	12,19	0,121	45
Jumlah	37,95	36,93	0,38	140
Rata-Rata	12,65	12,31	0,13	47

Tabel 4.9 Data hasil perhitungan tebal lapisan oksida pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 12,5cm.

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Volume Lapisan Oksida cm ³	Tebal lapisan oksida [μm]
5,1	12,41	12,14	0,099	37
5,2	12,86	12,61	0,092	34
5,3	12,72	12,46	0,096	36
Jumlah	37,99	37,21	0,29	107
Rata-Rata	12,66	12,40	0,10	36

4.1.2.2 Data Hasil Perhitungan Volume Keausan

Untuk menghitung volume keausan, maka digunakan rumus seperti dibawah ini.

- Berat jenis aluminium (ρ) = 2,717 g/cm³

- Berat awal spesimen sebelum uji keausan (m_a) 1.1 = 11,99 g
- Berat akhir spesimen setelah uji keausan (m_b) 1.1 = 11,89 g
- Volume keausan (cm^3)

$$V = \frac{m_a - m_b}{\rho} \left[\frac{\text{g}}{\text{g/cm}^3} \right]$$

$$= \frac{0,10}{2,717}$$

$$= 0,037 \text{ cm}^3$$

Dari contoh perhitungan di atas didapatkan data-data berat spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda dan katoda (*cm*) dan total keausan yang berbeda. Seperti pada tabel 4.6 sampai dengan tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Data pengujian ketahanan aus pada spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 2,5 cm

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Vol Keausan (cm^3)
1.1	11,99	11,89	0,037
1.2	12,06	11,95	0,040
1.3	12,07	11,98	0,033
Jumlah	36,12	35,82	0,110
Rata-Rata	12,04	11,94	0,037

*)Konsentrasi larutan HCL adalah 10 % ; waktu proses *anodizing* 15 menit

Tabel 4.11 Data pengujian ketahanan aus pada spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 5 cm

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Vol Keausan (cm^3)
2,1	11,86	11,72	0,052
2,2	12,40	12,27	0,048
2,3	12,37	12,24	0,048
Jumlah	36,63	36,23	0,147
Rata-Rata	12,21	12,08	0,049

*)Konsentrasi larutan HCL adalah 10 % ; waktu proses *anodizing* 15 menit

Tabel 4.12 Data pengujian ketahanan aus pada spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 7,5 cm

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Vol Keausan (cm^3)
3,1	12,39	12,25	0,052
3,2	12,60	12,44	0,059
3,3	12,45	12,29	0,059
Jumlah	37,44	36,98	0,169
Rata-Rata	12,48	12,33	0,056

*)Konsentrasi larutan HCL adalah 10 % ; waktu proses *anodizing* 15 menit

Tabel 4.13 Data pengujian ketahanan aus pada spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 10 cm

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Vol Keausan (cm ³)
4,1	12,60	12,41	0,070
4,2	12,50	12,33	0,063
4,3	12,35	12,19	0,059
Jumlah	37,45	36,93	0,191
Rata-Rata	12,48	12,31	0,064

*)Konsentrasi larutan HCL adalah 10 % ; waktu proses *anodizing* 15 menit

Tabel 4.14 Data pengujian ketahanan aus pada spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 12,5 cm

No. Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Vol Keausan (cm ³)
5,1	12,34	12,14	0,074
5,2	12,79	12,61	0,066
5,3	12,65	12,46	0,070
Jumlah	37,78	37,21	0,210
Rata-Rata	12,59	12,40	0,070

*)Konsentrasi larutan HCL adalah 10 % ; waktu proses *anodizing* 15 menit

4.1.2.3 Data Hasil Perhitungan Ketahanan Aus

Untuk menghitung ketahanan aus, maka digunakan perumusan keausan Archard yang merupakan sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan keausan secara umum. Untuk mencari ketahanan aus maka perhitungan awal adalah menentukan koefisien keausan masing-masing spesimen.

$$K = \frac{VH}{WL}$$

Dimana :

V adalah volume total keausan [cm³]

W adalah besar pembebanan normal [g]

L adalah panjang sliding atau bidang kontak = 77436 [cm]

H adalah kekerasan ; kekerasan alumina (Al₂O₃) VHN = 2 x 10⁸ [g/cm²]

K adalah koefisien keausan ; 1/K adalah ketahanan aus

Contoh perhitungan koefisien keausan Spesimen aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda dan katoda 2,5 cm

$$K = \frac{VH}{WL}$$

$$= \frac{0,037 \times (2 \times 10^8)}{5000 \times 77436}$$

$$= 0,019$$

Dari contoh perhitungan diatas maka didapatkan data-data hasil perhitungan koefisien keausan rata-rata setiap variasi seperti pada tabel 4.11 sampai dengan tabel 4.15 berikut :

Tabel 4.15 Data hasil perhitungan koefisien keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 2,5 cm

No. Spesimen	Koefisien Aus
1.1	0,019
1.2	0,021
1.3	0,017
Jumlah	0,057
Rata-Rata	0,019

Tabel 4.16 Data hasil perhitungan koefisien keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 5 cm

No. Spesimen	Koefisien Aus
2.1	0,027
2.2	0,025
2.3	0,025
Jumlah	0,076
Rata-Rata	0,025

Tabel 4.17 Data hasil perhitungan koefisien keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 7,5 cm

No. Spesimen	Koefisien Aus
3.1	0,027
3.2	0,030
3.3	0,030
Jumlah	0,087
Rata-Rata	0,029

Tabel 4.18 Data hasil perhitungan koefisien keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 10 cm

No. Spesimen	Koefisien Aus
4.1	0,036
4.2	0,032
4.3	0,030
Jumlah	0,099
Rata-Rata	0,033

Tabel 4.19 Data hasil perhitungan koefisien keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 12,5 cm

No. Spesimen	Koefisien Aus
5.1	0,038
5.2	0,034
5.3	0,036
Jumlah	0,108
Rata-Rata	0,036

Jika K adalah koefisien keausan dan 1/K adalah ketahanan aus, maka didapatkan tingkat ketahanan aus rata-rata untuk masing-masing variasi. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.16 sampai dengan tabel 4.20. Ketahanan aus dapat dinyatakan dalam bentuk persentase (%) seperti berikut :

Tabel 4.20 Data hasil perhitungan ketahanan keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 2,5 cm

No. Spesimen	Ketahanan Aus (%)
1.1	52,598
1.2	47,817
1.3	58,443
Jumlah	158,858
Rata-Rata	52,945

Tabel 4.21 Data hasil perhitungan ketahanan keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 5 cm

No. Spesimen	Ketahanan Aus (%)
2.1	37,565
2.2	40,455
2.3	40,455
Jumlah	118,474
Rata-Rata	39,491

Tabel 4.22 Data hasil perhitungan ketahanan keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 7,5 cm

No. Spesimen	Ketahanan Aus (%)
3.1	37,565
3.2	32,869
3.3	32,869
Jumlah	103,304
Rata-Rata	34,435

Tabel 4.23 Data hasil perhitungan ketahanan keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 10 cm

No. Spesimen	Ketahanan Aus (%)
4.1	27,679
4.2	30,936
4.3	32,869
Jumlah	91,485
Rata-Rata	30,495

Tabel 4.24 Data hasil perhitungan ketahanan keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 12,5 cm

No. Spesimen	Ketahanan Aus (%)
5.1	26,295
5.2	29,217
5.3	27,679
Jumlah	83,192
Rata-Rata	27,731

4.1.2.4 Data Hasil Perhitungan Laju Keausan

Untuk menghitung laju keausan, maka digunakan perumusan laju keausan ASTM G65 yang merupakan sebuah rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan laju keausan secara umum. Berikut adalah contoh perhitungannya :

- Berat sebelum uji keausan (m_a) = 11,99 [g]
- Berat sesudah uji keausan (m_f) = 11,89 [g]
- Waktu proses (t) = 540 [s]
- Laju keausan (W) [g/s]

$$W = \frac{m_a - m_f}{t} \left[\frac{g}{s} \right]$$

$$= \frac{11,99 - 11,89}{540} = 0,00019 \quad (g / s)$$

Dari contoh perhitungan diatas maka didapatkan data-data hasil perhitungan laju keausan rata-rata setiap variasi seperti pada tabel 4.21 sampai dengan tabel 4.25 berikut :

Tabel 4.25 Data hasil perhitungan laju keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 2,5 cm

No. Spesimen	Laju Keausan (g/s)
1.1	0,00019
1.2	0,00020
1.3	0,00017
Jumlah	0,00056
Rata-Rata	0,00019

Tabel 4.26 Data hasil perhitungan laju keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 5 cm

No. Spesimen	Laju Keausan (g/s)
2.1	0,00026
2.2	0,00024
2.3	0,00024
Jumlah	0,00074
Rata-Rata	0,00025

Tabel 4.27 Data hasil perhitungan laju keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 7,5 cm

No. Spesimen	Laju Keausan (g/s)
3.1	0,00026
3.2	0,00030
3.3	0,00030
Jumlah	0,00085
Rata-Rata	0,00028

Tabel 4.28 Data hasil perhitungan laju keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 10 cm

No. Spesimen	Laju Keausan (g/s)
4.1	0,00035
4.2	0,00031
4.3	0,00030
Jumlah	0,00096
Rata-Rata	0,00032

Tabel 4.29 Data hasil perhitungan laju keausan pada aluminium hasil *anodizing* dengan variasi jarak anoda - katoda 12,5 cm

No. Spesimen	Laju Keausan (g/s)
5.1	0,00037
5.2	0,00033
5.3	0,00035
Jumlah	0,00106
Rata-Rata	0,00035

4.2 Analisa Statistik

4.2.1 Analisa Varian Satu Arah Ketahanan Aus

Tabel 4.30 Penulisan data hasil pengujian ketahanan aus dengan variasi jarak anoda - katoda (cm)

Perlakuan Pengulangan	Tanpa proses <i>anodizing</i>	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm	Jumlah
1	25,043	52,598	37,570	37,565	27,679	26,295	-
2	23,905	47,817	40,460	32,869	30,936	29,217	-
3	24,905	58,443	40,460	32,869	32,869	27,679	-
Rata-rata	24,284	52,945	39,491	34,435	30,495	27,731	209,381
						Rata-rata	34,896

Dari data yang telah diperoleh pada tabel 4.26 kemudian dilakukan analisa varian satu arah. Dengan analisis varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi jarak anoda dan katoda pada aluminium hasil *anodizing* terhadap ketahanan aus. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$ dan μ_6 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$ (Tidak ada perbedaan atau pengaruh nyata dari variasi jarak anoda dan katoda pada aluminium hasil *anodizing* terhadap ketahanan aus).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6$ (Ada perbedaan atau pengaruh nyata dari variasi jarak anoda dan katoda pada aluminium hasil *anodizing* terhadap ketahanan aus).

Untuk mengetahui apakah F_{hitung} lebih besar atau lebih kecil dari pada F_{tabel} maka perlu dilakukan perhitungan statistik

Dimana : $\alpha = 0,05$;

n_i (jumlah pengulangan) = 3 ;

k (jumlah variasi) = 6 ;

n (jumlah data yang diambil pada setiap titik simpul) = 18

1. Jumlah kuadrat perlakuan (JK_P)

$$JK_P = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{Y}_j - \bar{Y}_{..})^2$$

$$= 0,00381$$

2. Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$JK_G = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2$$

$$= 0,00017$$

3. Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$KT_P = \frac{JK_P}{k - 1}$$

$$= \frac{0,00381}{5}$$

$$= 0,00076$$

4. Kuadrat tengah galat (KT_G)

$$KT_G = \frac{JK_G}{n - k}$$

$$= \frac{0,00017}{12}$$

$$= 0,000014$$

5. Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G}$$

$$= \frac{0,00117}{0,000014}$$

$$= 83,57143$$

Untuk melakukan uji analisa varian, dibuat tabel analisa varian satu arah seperti pada tabel 4.31:

Tabel 4.31 Tabel Analisa Varian Satu Arah

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (kategori)	5	0,00586	0,00117	83,57143	$F(0,05; 12; 5) = 3,11$
Galat	12	0,00017	0,000014		

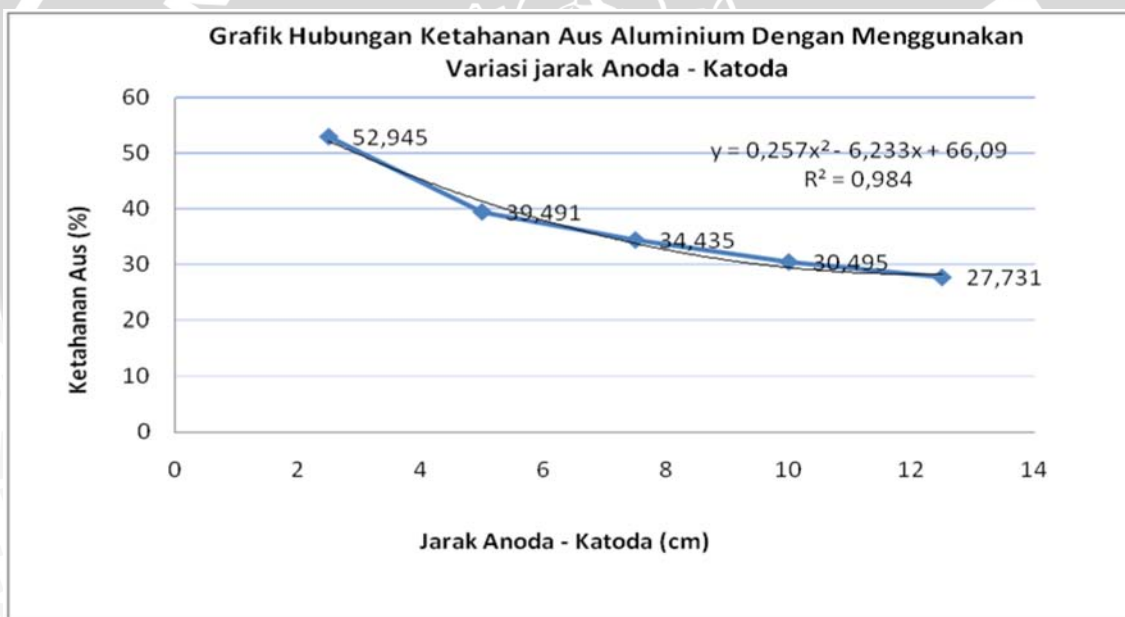
Berdasarkan tabel 4.34 dapat disimpulkan bahwa:

$F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya menyatakan bahwa ada perbedaan atau pengaruh yang nyata antara variasi tegangan listrik pada proses *anodizing* terhadap ketahanan aus permukaan aluminium.

4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1. Pengaruh Variasi Jarak Anoda - Katoda Terhadap Ketahanan Aus Aluminium Hasil *Anodizing*

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan variasi jarak anoda dan katoda, maka didapatkan besarnya ketahanan aus aluminium hasil *anodizing*. Untuk mempermudah menganalisa maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan hubungan antara ketahanan aus dengan perubahan variasi jarak anoda - katoda



Gambar 4.1. Grafik hubungan ketahanan aus aluminium dengan menggunakan variasi jarak anoda - katoda

Ketahanan aus atau *wear resistance* menunjukkan Kemampuan suatu logam untuk menahan kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan yang disebabkan oleh abrasi dan gesekan. Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai ketahanan aus bersamaan dengan bertambahnya jarak antara anoda dan katoda. Nilai ketahanan aus berangsur-angsur turun pada jarak 5 cm, 7,5 cm, 10 cm dan 12,5 cm secara berurutan 39,491%, 34,435 %, 30,495 % dan 27,731 %. 2,5 cm merupakan Jarak antara anoda dan katoda teraman yang dapat

dilakukan pada proses anodizing. Penggunaan jarak yang terlalu dekat dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya konsleting listrik. Dalam Penggunaan jarak yang semakin jauh akan menghasilkan lapisan oksida yang semakin tipis. Hal ini sesuai dengan rumus konduktansi (*conductance*), semakin dekat jarak anoda dan katoda kecepatan ion berpindah atau bermigrasi semakin bertambah (Parthasaradhy,1989:17).

$$C = \frac{K a}{l}$$

Dengan semakin tebalnya lapisan oksida maka menunjukkan bahwa ketahanan logam itu tinggi terhadap keausan. Semakin jauh jarak anoda dan katoda yang diberikan pada saat proses, maka daya serap lapisan oksida sangat lambat sehingga lapisan oksida yang terbentuk akan tipis pula. Lapisan oksida yang tipis ini tidak dapat meningkatkan ketahanan terhadap aus dan abrasi. Selain itu, pada analisa varian satu arah diatas $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya menyatakan bahwa ada pengaruh yang nyata antara variasi jarak anoda dan katoda pada proses *anodizing* terhadap ketahanan aus permukaan aluminium.

Ketahanan aus dapat menentukan umur efektif suatu lapisan. Umur efektif sebuah lapisan selain tergantung pada lingkungan operasional terutama juga tergantung pada ketebalan lapisan (Chamberlain, 1991:274). Makin tebal lapisan oksida akan menyebabkan ketahanan aus meningkat, atau dengan kata lain laju keausan menurun karena lapisan yang terbentuk akan dapat menahan aus.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari data hasil percobaan, dan juga pembahasan dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

- *Anodizing* Al adalah merupakan proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar.
- Prinsip dari *anodizing* Al hampir sama dengan elektrolisis yaitu merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia tetapi penempatan katoda dan anodanya berdasarkan prinsip sel volta.
- *Anodizing* lebih banyak digunakan sebagai rekayasa permukaan logam karena lebih ekonomis.
- Variasi jarak anoda dan katoda berpengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida, Semakin tebal lapisan oksida maka ketahanan aus semakin meningkat, sedangkan laju keausan semakin menurun. Ketahanan aus tertinggi terdapat pada jarak 2,5 cm yaitu sebesar 52.945 %.

5.1. Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *anodizing* guna menunjang dan memperlengkap hasil penelitian.
- *Continous anodizing* sebaiknya dilanjutkan dengan proses pewarnaan agar, penelitian dapat lebih baik mengetahui kualitas permukaan aluminium hasil *anodizing*.
- Pada saat melakukan penelitian hendaknya sangat diperhatikan suhu larutan elektrolit dijaga konstan.