

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Aluminium merupakan salah satu material logam yang banyak digunakan serta dikembangkan pada berbagai macam aplikasi. Untuk meningkatkan kualitas aluminium, baik secara fisik maupun mekanisnya, dilakukan beberapa perlakuan terhadap aluminium tersebut. Salah satu proses yang dilakukan adalah dengan rekayasa permukaan melalui proses *anodizing*. *Anodizing* adalah sebuah proses elektrokimia yang bertujuan untuk mempertebal lapisan protektif alami pada logam. Lapisan oksida adalah bagian dari logam aluminium yang dilapisi, namun memiliki struktur berpori yang memberikan reaksi untuk pewarnaan. Proses *anodizing* dapat mengubah permukaan aluminium menjadi lebih dekoratif, tahan terhadap korosi. Aluminium adalah logam yang paling sesuai untuk proses *anodizing*. Logam *non ferrous* lainnya yang umumnya dilakukan proses *anodizing* adalah magnesium dan titanium (Taufiq, T., 2011).

Proses *anodizing* prinsipnya hampir sama dengan proses pelapisan listrik (*elektroplating*), tetapi bedanya logam yang akan dilapisi ditempatkan sebagai anoda didalam larutan elektrolit. Perbedaan lain larutan elektrolit yang digunakan bersifat asam dan arus yang digunakan searah (DC) *direct current*. Proses utama, dalam *anodizing* aluminium memerlukan larutan asam sulfat, asam kromat atau campuran asam sulfat dan asam oksalat (Santhiarsa, N.N., 2010).

Asam sulfat yang digunakan harus asam pekat, serta asam tersebut menjadi oksidator. Beberapa manfaat dari oksidasi anoda aluminium adalah meningkatkan ketahanan korosi, memperbaiki penampilan dan meningkatkan ketahanan abrasi. Biasanya oksidasi anodik menggunakan asam sulfat, karena selain murah dan mudah untuk didapatkan, dan hasil pelapisannya mempunyai sifat estetika dan fungsional yang luas (Santhiarsa, N.N., 2010).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Wu Xiaohong dalam Priyanto, (2012) membahas tentang *White Anodized Thermal Control Coating On LY12 Aluminum Alloy*. Penelitian tersebut menggunakan aluminium paduan LY12 dan dilakukan dengan suhu konstan yaitu pada suhu 21°C, variasi rapat arus 130-260 A/m² serta variasi tegangan antara 12 - 22 Volt. Hasil dari penelitian tersebut, menggunakan kuat arus 0.5 Ampere, 1 Ampere, 2 Ampere, 2.5 Ampere, 3 Ampere menghasilkan ketebalan lapisan oksida sebesar 1.5 µm, 3.2 µm, 7.9 µm, 11.2 µm, 15.3 µm, secara berurutan.

Santhiarsa, N.N., (2009) membahas tentang *Pengaruh Variasi Kuat Arus Proses Hard Anodizing Pada Alumunium Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan*. Penelitian ini menggunakan aluminium 2024-T3 dengan variasi arus listrik 1 Ampere, 2 Ampere, dan 3 Ampere. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan variasi kuat arus 1 Ampere, 2 Ampere, 3 Ampere, menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 87.35 VHN, 100.54 VHN, 112.23 VHN, secara berurutan. Sedangkan untuk ketebalan lapisan rata-rata untuk variasi kuat arus yang sama sebesar 2.47 µm, 3.5 µm, 4.16 µm, secara berurutan.

Priyanto, A., (2012) juga membahas tentang *Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekerasan Permukaan Logam Aluminium 5XXX Pada Proses Anodizing*. Penelitian tersebut yaitu menggunakan jenis logam aluminium 5XXX, dengan dimensi panjang 100 mm, lebar 30 mm dan tebal 4 mm. Variasi arus yang digunakan adalah 1 Ampere, 2 Ampere, 3 Ampere, dengan waktu pencelupan selama 30 menit. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan (Vickers) dan pengujian foto mikro. Hasil penelitian menunjukkan pada variasi kuat arus 1 Ampere, 2 Ampere, 3 Ampere menghasilkan kekerasan rata-rata permukaan sebesar 66.1 VHN, 64.8 VHN, 64 VHN, secara berurutan. Sedangkan untuk ketebalan lapisan oksida dengan variasi kuat arus yang sama sebesar 40 µm, 60 µm, 70 µm, secara berurutan.

Dari beberapa penelitian diatas, maka dapat disimpulkan bahwa kuat arus listrik sangat berpengaruh pada proses *anodizing*. Semakin tinggi kuat arus yang digunakan, maka kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan oksida akan semakin meningkat. Namun, pengaruh kuat arus listrik terhadap kekerasan rata-

rata permukaan dan ketebalan lapisan oksida aluminium menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal itu diduga karena variabel dan komposisi paduan aluminiumnya tidak sama. Untuk mengetahui pengaruh *anodizing* terhadap aluminium seri 1XXX, perlu dilakukan penelitian tentang variasi kuat arus *anodizing* terhadap ketebalan lapisan oksida dan kekerasan rata-rata permukaan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengertian *Anodizing*

Anodizing merupakan proses anodisasi adalah proses pembentukan lapisan oksida pada logam dengan cara bereaksikan atau mengkorosikan suatu logam terutama aluminium dengan oksigen (O_2) yang diambil dari larutan elektrolit yang digunakan sebagai media, sehingga terbentuk lapisan oksida. Proses ini juga disebut sebagai *anodic oxidation* yang prinsipnya hampir sama dengan proses pelapisan dengan cara listrik (*elektroplating*), tetapi bedanya logam yang akan dioksidasi ditempatkan sebagai anoda didalam larutan elektrolit. Perbedaan lain larutan elektrolit yang digunakan bersifat asam dengan penyearah arus *direct current* (DC) bertipe dan ampere tinggi.

Pengertian lain dari *anodizing* adalah proses pelapisan secara elektrolisis yang merubah aluminium menjadi aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan yang akan dilapisi. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrolisis merupakan peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Komponen yang terpenting dari proses elektrolisis adalah elektroda dan elektrolit. Pada proses elektrolisis, katoda merupakan kutub negatif (sebagai penghantar benda kerja) dan anoda merupakan kutub positif (sebagai benda kerja). Karakteristik dalam lapisan *anodizing* menghasilkan suatu lapisan tipis oksida yang baik terhadap logam dasarnya.

2.2.2. Jenis – Jenis *Anodizing*

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah merubah permukaan aluminium menjadi aluminium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda di dalam

bagian elektrolisis. Pada proses *anodizing* terdapat 3 tipe *anodizing* yang paling umum digunakan antara lain :

2.2.2.1. *Chromic Acid Anodizing* (CAA)

Tipe ini menggunakan larutan elektrolit *chromic acid* dan menghasilkan lapisan yang paling tipis, hanya sekitar 0,5 hingga 2,5 mikron. Pada saat proses berlangsung, 50% Al_2O_3 terintegrasi ke dalam lapisan dan 50% pertumbuhan lapisan kearah luar. Dapat meningkatkan ketahanan korosi pada aluminium. Lapisan yang dihasilkan cenderung lebih ulet dibandingkan tipe lainnya.

2.2.2.2. *Sulfuric Acid Anodizing* (SAA)

Tipe ini adalah yang paling umum dilakukan yaitu dengan menggunakan larutan *sulfuric acid* sebagai elektrolit dengan kemampuan menghasilkan lapisan protektif hingga 25 mikron. Selama proses berlangsung, 67% lapisan oksida melindungi dan sisanya tumbuh kearah luar. Lapisan yang dihasilkan berpori sehingga dapat dilakukan pewarnaan. Tipe ini biasanya digunakan untuk aplikasi arsitektur, bagian pesawat terbang, otomotif, maupun komputer.

2.2.2.3. *Hard Coating Anodizing* (HCA)

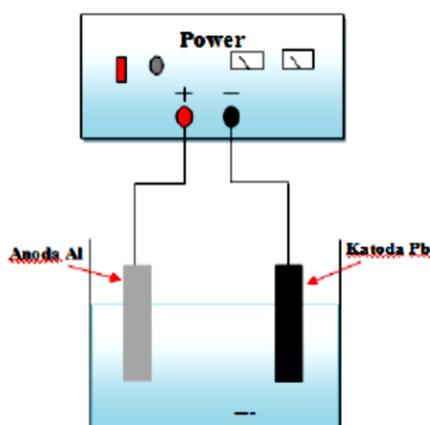
Menggunakan larutan elektrolit yang sama dengan (SAA) namun dengan konsentrasi elektrolit yang lebih tinggi pada temperatur yang lebih rendah. Lapisan yang dihasilkan lebih tangguh, memiliki ketahanan abrasi yang baik, ketahanan korosi, anti pudar, tahan terhadap suhu tinggi, dan memiliki kekerasan yang baik. Lapisan mencapai ketebalan 75 mikron sehingga juga dapat menjadi insulator (penyekat) listrik yang baik. Umumnya digunakan pada peralatan yang membutuhkan ketahanan aus yang sangat tinggi seperti pada piston dan *hydraulic gear*.

2.2.3. **Klasifikasi *Anodizing***

2.2.3.1. Elektroda

Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian sebuah non-logam dari sebuah sirkuit. Pada percobaan *anodizing*

digunakan elektron aluminium sebagai anoda dan katodanya adalah logam timbal (Pb). Elektron dalam sebuah sel elektrolisis ditunjuk sebagai anoda atau sebuah katoda. Anoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung tegangan yang diberikan ke sel elektrolit. Sebuah Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya. Skema elektroda proses *anodizing*, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema elektroda proses *anodic oxidation* (Sidharta, B.W., 2014)

2.2.3.2. Elektrolit

Komponen yang tidak kalah penting lainnya yaitu larutan elektrolit. Elektrolit adalah suatu senyawa yang bila dilarutkan dalam pelarut akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Elektrolit sering diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit yang dapat menghantarkan dengan baik digolongkan kedalam elektrolit kuat, contohnya yaitu asam klorida (HCl), asam sulfat (H₂SO₄), dan asam nitrat (HNO₃). Selain elektrolit kuat, ada pula golongan elektrolit lemah seperti asam cuka encer (CH₃CO₂H), aluminium hidroksida, kalium karbonat (CaCO₃). Berdasarkan kandungan ion H⁺, elektrolit asam dapat dibagi tiga yaitu :

a. Asam *monoprotik*

Asam *monoprotik* adalah asam yang hanya memiliki satu ion H^+ di dalam elektrolit. Contoh dari asam *monoprotik* adalah asam nitrat (HNO_3). Seperti yang ditunjukkan pada rumus (2.1) berikut :



b. Asam *diprotik*

Asam *diprotik* adalah asam yang memiliki dua ion H^+ dari dalam elektrolit. Contoh dari asam *diprotik* adalah asam sulfat (H_2SO_4). Seperti yang ditunjukkan pada rumus (2.2) berikut :



c. Asam *tripotik*

Asam *tripotik* adalah asam yang memiliki tiga ion H^+ di dalam elektrolit. Contoh dari asam *tripotik* adalah asam fosfat (H_3PO_4). Seperti yang ditunjukkan pada rumus (2.3) berikut :



2.2.3.3. Elektrolisis

Elektrolisa benda kerja yang berupa aluminium pada proses anodizing berlaku sebagai anoda dengan dihubungkan pada kutub positif catu daya. Logam aluminium akan berubah menjadi ion aluminium yang larut dalam larutan asam sesuai dengan rumus (2.4) berikut :



Jumlah zat yang bereaksi pada elektroda sel elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah arus yang melalui sel tersebut, jika sejumlah arus tertentu mengalir melalui beberapa elektrolisis. Maka akan dihasilkan jumlah ekuivalen masing-masing zat. Hukum Faraday ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (2.5) berikut :

$$n = \frac{i \cdot t}{F \cdot z} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

n : jumlah zat (mol)

i : arus listrik (ampere)

F : tetapan Faraday (1 Faraday = 96485 coulomb/mol)

z : jumlah elektron yang ditransfer per ion

Mengingat, massa zat adalah perkalian massa atom (AR) dengan mol atom maka dari persamaan diatas bisa dimodifikasi menjadi :

$$n \cdot AR = \frac{i \cdot t}{F \cdot z} \cdot AR \dots\dots\dots (2.6)$$

$$m = \frac{i \cdot t \cdot AR}{F \cdot z} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\frac{m}{t} = \frac{i \cdot AR}{F \cdot z} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

n : jumlah zat (mol)

i : arus listrik (ampere)

F : tetapan Faraday (1 Faraday = 96485 coulomb/mol)

z : jumlah elektron yang ditransfer per ion

AR : massa atom

Untuk aluminium, Seperti yang ditunjukkan pada rumus (2.9) berikut :

$$\frac{m}{t} = \frac{i \cdot 26,98}{96485 \cdot 3} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\frac{m}{t} = 9,32 \times 10^{-5} \cdot i \dots\dots\dots(3.0)$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa laju massa aluminium yang larut berbanding lurus dengan besarnya arus listrik yang digunakan.

2.2.4. Anodizing Menurut Sumber Arus

2.2.4.1. AC Anodizing

AC *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus bolak-balik (*alternating current*). Proses pembentukan lapisan oksida pada AC *anodizing* lebih lambat dibandingkan dengan DC *anodizing* karena polaritas positif dan negatif *power supply* bergantian secara cepat. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan rendah. Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan aluminium foil. Apabila pembuatan aluminium foil dilakukan menggunakan DC *anodizing*, maka akan diperoleh hasil *anodizing* dengan kekerasan tinggi yang mengakibatkan aluminium foil akan patah jika di tekuk atau di rol. Apabila pembuatan aluminium foil ini dilakukan dengan menggunakan AC *anodizing* maka akan diperoleh aluminium foil dengan sifat tahan tekuk dan rol.

2.2.4.2. Arus DC Anodizing

DC (*direct current*) *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus searah. Proses pembentukan lapisan oksida pada DC *anodizing* lebih cepat dibandingkan dengan AC *anodizing* karena polaritas positif *power supply* selalu berada pada benda kerja. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan tinggi.

2.2.5. Aluminium

Aluminium merupakan unsur *non ferrous* yang paling banyak terdapat di bumi. Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik, serta mudah dibentuk. Paduan aluminium

dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu aluminium *wrought alloy* (lembaran) dan aluminium *casting alloy* (batang cor). Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar $2,7 \text{ g/cm}^3$, densitas $2,685 \text{ kg/m}^3$, dan titik leburnya pada suhu $660 \text{ }^\circ\text{C}$. Aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil/tidak bereaksi dengan lingkungan sekitar, sehingga melindungi bagian dalam.

Unsur- unsur paduan dalam aluminium antara lain:

1. Tembaga atau *Copper* (Cu), menaikkan kekuatan dan kekerasan, namun menurunkan elongasi (pertambahan perpanjangan saat ditarik). Kandungan Cu dalam aluminium yang paling optimal adalah antara 4-6%.
2. Seng (Zn), menaikkan nilai tensile.
3. Mangan (Mn), menaikkan kekuatan dalam temperatur tinggi.
4. Magnesium (Mg), menaikkan kekuatan aluminium dan menurunkan nilai *ductility*-nya. Ketahanan korosi dan *weldability* juga baik.
5. Silikon (Si), menyebabkan paduan aluminium tersebut bisa diperlakukan panas untuk menaikkan kekerasannya. Lithium (Li), ditambahkan untuk memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

Berbagai sifat aluminium antara lain :

1. Memiliki ketahanan yang baik terhadap larutan kimia, cuaca/udara, dan berbagai gas, sehingga membantu ketahanan terhadap korosi.
2. Dapat ditingkatkan kekuatan mekanis dan fisiknya dengan penambahan unsur-unsur paduan.
3. Memiliki sifat reflektivitas yang sangat baik.
4. Konduktivitas panas dan listrik tinggi.
5. Memiliki sifat elastisitas yang tinggi, sehingga materil ini sering digunakan dalam aplikasi yang melibatkan kondisi pembebanan kejut.
6. Biaya fabrikasi rendah.
7. Mudah ditempa dan dibentuk.

2.2.6. Aluminium Murni Seri 1XXX

Alumunium didapat dalam keadaan cair melalui proses elektrolisa, yang umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Namun, bila dilakukan proses elektrolisa lebih lanjut, maka akan didapatkan alumunium dengan kemurnian 99,99% yaitu dicapai bahan dengan angka sembilannya empat. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam waktu bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga, tetapi massa jenisnya kurang lebih sepertiga dari tembaga sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya. Oleh karena itu, dapat dipergunakan untuk kabel dan dalam berbagai bentuk. Misalnya sebagai lembaran tipis (*foil*). Dalam hal ini dapat dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk *reflector* yang memerlukan reflektifitas yang tinggi juga untuk kodensor elektrolitik dipergunakan Al dengan angka Sembilan empat.

Tabel 2.1 Komposisi Aliminium seri 1XXX

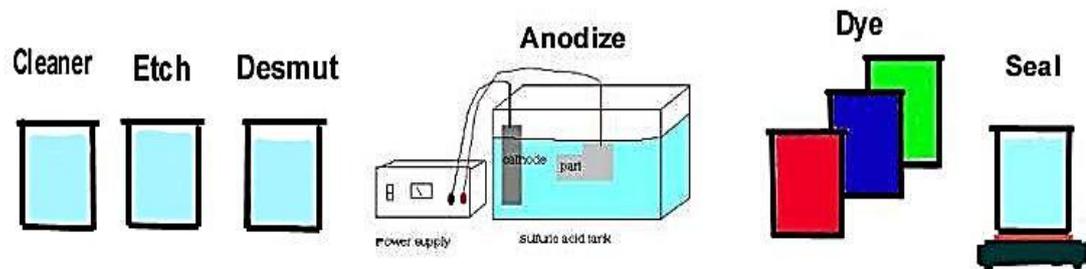
No	Jenis	Si,%	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Mg, %	Zn, %	Ti, %	Lainnya ,%	Al, % min
1	1050	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	99,5
2	1060	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	99,6
3	1100	0.95 Si + Fe		0.05 -0.2	0,05	-	0,1	-	0,15	99
4	1145	0.55 Si + Fe		0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	99,45
5	1200	1.00 Si + Fe		0,05	0,05	-	0,1	0,05	0,15	99
6	1230	0.70 Si + Fe		0,1	0,05	0,05	0,1	0,03	0,03	99,3
7	1350	0,1	0,4	0,05	0,01	-	0,05	-	0,11	99,5

(Rasyid, et. al., 2009)

2.3. Proses Anodizing

Anodizing merupakan proses elektrolisasi yang dilakukan untuk menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal daripada lapisan oksida yang terbentuk secara alami. Ketahanan terhadap korosi pada lingkungan akan diperoleh jika proses *anodizing* berhasil dilakukan dengan tepat. Secara umum,

anodizing merupakan proses konversi *coating* pada permukaan logam aluminium dan paduannya untuk menjadi lapisan *porous* aluminium oksida (Al_2O_3). Langkah-langkah proses *anodizing* pada aluminium dapat ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *Anodizing*
(Taufiq, T., 2011)

Keterangan gambar :

1. *Cleaning*

Proses *cleaning* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium dengan menggunakan larutan detergen murni/natrium karbonat (Na_2CO_3) dan air RO (*Reverse Osmosis*), untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada aluminium sebelum dilakukan proses *etching*.

2. *Etching*

Etching (etsa) adalah proses menghilangkan lapisan oksida pada permukaan aluminium yang tidak dapat dihilangkan dengan proses sebelumnya baik itu proses *cleaning* atau *rinsing*. Selain itu, proses ini untuk memperoleh permukaan benda kerja yang lebih rata dan halus dengan menggunakan bahan soda api (NaOH) dan air RO (*Reverse Osmosis*).

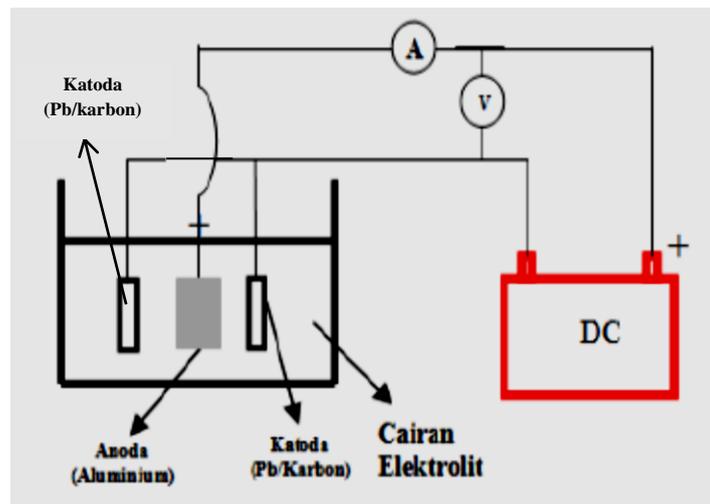
3. *Desmut*

Proses *desmut* adalah suatu proses yang berfungsi sebagai pembersihan bercak-bercak hitam yang diakibatkan oleh proses *etching*. Larutan yang dipakai

adalah Campuran dari asam phospat (H_3PO_4), asam sulfat (H_2SO_4) dan asam cuka (CH_3CO_2H).

4. *Anodic oxidation*

Proses *anodic oxidation* adalah proses pelapisan secara elektrokimia yang merubah aluminium menjadi aluminium oksida dengan proses elektrolisis, larutan yang digunakan asam sulfat (H_2SO_4) dan air RO (*Reverse Osmosis*). Logam atau benda kerja dipasang pada anoda (+) dan sebagai katoda (-) dapat menggunakan lembaran Pb atau aluminium dan karbon. Rangkaian pada proses *anodic oxidation* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian proses *anodic oxidation*
(Priyanto, A., 2012)

Logam aluminium atau benda kerja pada larutan elektrolit *anodic oxidation* sebagai anoda sehingga logam inilah yang akan teroksidasi. Persamaan (2.6) adalah reaksi yang terjadi pada anoda.



Atom atom yang terdapat pada aluminium akan teroksidasi menjadi ion-ion yang larut dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4). Hal ini membuat permukaan logam

aluminium menjadi berlubang membentuk pori-pori. Sedangkan katoda terjadi reaksi sebagaimana persamaan (2.7) berikut :



5. *Dyeing* (pewarnaan)

Proses pewarnaan berfungsi sebagai pemberian warna pada pori-pori lapisan oksida yang terbentuk setelah *anodic oxidation*, sehingga dihasilkan tampilan warna yang menarik pada lapisan oksida aluminium. Pewarna yang dipakai adalah pewarna khusus untuk proses *anodizing* dan air RO (*Reverse Osmosis*).

6. *Sealing*

Proses *sealing* berfungsi menutup pori-pori lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodic oxidation* yang masih terbuka. Lapisan yang telah ditutup dengan proses *sealing* untuk mencegah pewarna keluar dari pori-pori lapisan oksida atau pudar, pada proses *sealing* larutan yang digunakan adalah asam asetat atau asam cuka ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$) dan air RO (*Reverse Osmosis*).

Proses *anodizing* memiliki beberapa tujuan, antara lain :

1. Meningkatkan ketahanan korosi.

Dari proses *anodizing*, lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam tahan terhadap korosi dan mampu menahan serangan atmosfer serta air garam. Lapisan oksida melindungi logam yang ada dibawahnya dengan bertindak sebagai penghalang (*barrier*) dari serangan lingkungan yang korosif.

2. Meningkatkan sifat *adhesive*.

Lapisan ini hasil proses anodisasi yang menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dapat meningkatkan kekuatan ikatan dan ketangguhan, biasanya digunakan pada industri pesawat terbang.

3. Meningkatkan ketahanan aus (*wear resistant*).

Proses *hard anodizing* dapat menghasilkan lapisan setebal 25-100 mikron. Lapisan tersebut, dengan kekerasan inheren aluminium oksida yang sedemikian cukup tebal dapat digunakan untuk aplikasi dibawah kondisi ketahanan abrasi. Dimana lapisan oksida (Al_2O_3) ini memiliki nilai kekerasan yang cukup tinggi (sebanding dengan *sapphire*) atau paling keras setelah intan.

4. Isolator listrik.

Lapisan oksida memiliki resistivitas yang tinggi khususnya lapisan oksida yang porinya tertutup.

5. Dapat menempel pada *plating* selanjutnya.

Pori dari lapisan anodik oksida mendukung proses *elektroplating*, biasanya asam yang digunakan apabila ingin melakukan pelapisan lanjutan adalah asam fosfor.

6. Aplikasi dekorasi.

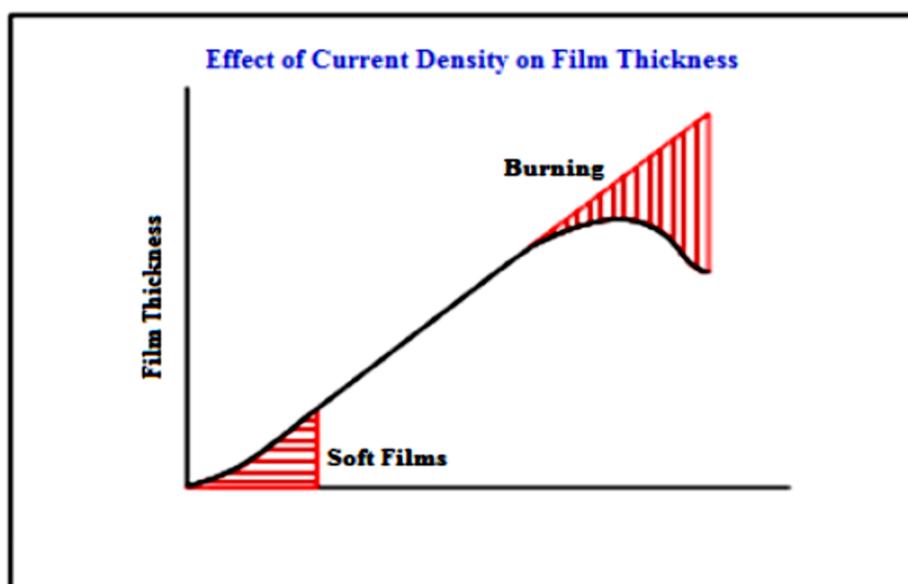
Pada permukaan logam, lapisan oksida yang terbentuk memiliki tampilan yang mengkilau, dimana pada aluminium tampilan oksida yang alami sangat diinginkan. Selain itu, lapisan oksida yang dihasilkan dapat diberi warna dengan metode yang berbeda. Pewarnaan anorganik akan diserap pada lapisan pori untuk menghasilkan warna tertentu dan pigmen mineral yang mengendap di dalam pori akan menghasilkan warna yang stabil.

2.3.1. Rapat Arus

Rapat arus (*current density*) adalah aliran muatan pada suatu luas penampang tertentu di suatu titik penghantar, rapat arus memiliki satuan A/m^2 . Besarnya rapat arus dapat mempengaruhi hasil *anodizing*. Rapat arus memiliki pengaruh terhadap tampilan dari lapisan oksida yang dihasilkan. Rapat arus yang lebih rendah akan menghasilkan lapisan oksida yang lebih terang dibandingkan

dengan yang menggunakan rapat arus yang lebih tinggi untuk ketebalan lapisan oksida yang sama.

Adapun penggunaan rapat arus yang lebih tinggi diaplikasikan untuk mengimbangi proses *anodizing* yang menggunakan elektrolit pekat. Pada rapat arus yang sangat tinggi, cenderung akan terjadi *burning* (gosong), hal ini merupakan pengembangan dari aliran rapat arus yang berlebihan pada area tertentu sehingga terjadi pemanasan lokal pada area tersebut. Grafik rapat arus terhadap ketebalan lapisan oksida dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



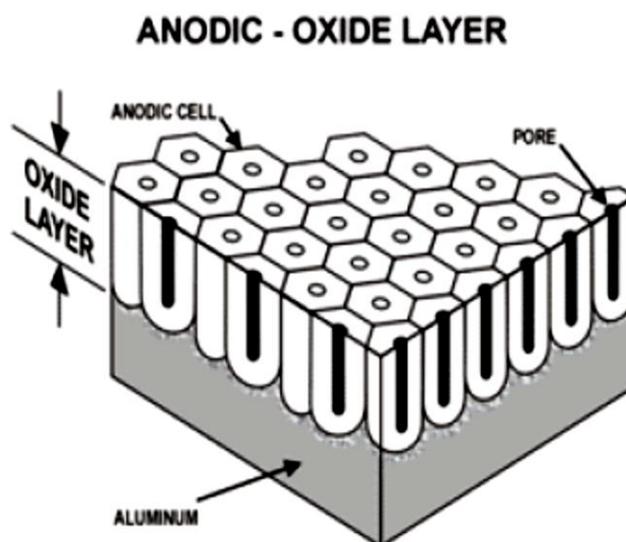
Gambar 2.4 Grafik rapat arus terhadap ketebalan lapisan oksida (Hutasoit, F.M., 2008)

2.3.2. Pembentukan Lapisan Oksida

Lapisan hasil *anodizing* memiliki struktur yang berbeda dari lapisan oksida yang terbentuk secara alami, dimana lapisannya memiliki struktur pilar *hexagonal* berpori yang memiliki karakteristik yang unik sehingga meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium. Secara umum lapisan oksida hasil dari proses anodisasi memiliki karakteristik yang keras dan memiliki kekerasan

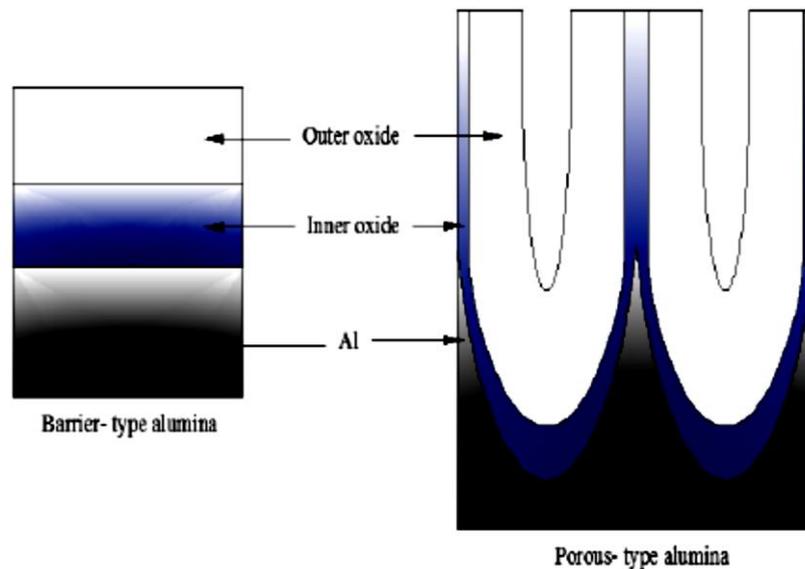
sebanding dengan batu *sapphire*, insulatif dan tahan terhadap beban, transparan, tidak ada serpihan.

Lapisan oksida yang terbentuk dari proses ini akan meningkatkan ketahanan *abrasive*, kemampuan insulator elektrik logam, serta kemampuan untuk menyerap zat pewarna untuk menghasilkan variasi tampilan warna pada permukaan hasil *anodizing*. Aluminium serta paduan-paduannya mempunyai sifat tahan terhadap korosi karena adanya lapisan oksida protektif. Tebal dari lapisan oksida sekitar 0,005-0,01 μm , atau $0,1-0,4 \times 10^{-6}$ inch atau $0,25-1 \times 10^{-2}$ mikron. Struktur lapisan aluminium oksida ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur lapisan aluminium oksida
(Hutasoit, F.M., 2008)

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang di anodisasi bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan mempunyai struktur yang *porous* atau berpori dengan bentuk strukturnya heksagonal, dengan pori yang terdapat di tengah. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema lapisan pori aluminium oksida
(Sipayung, P.P.S., 2008)

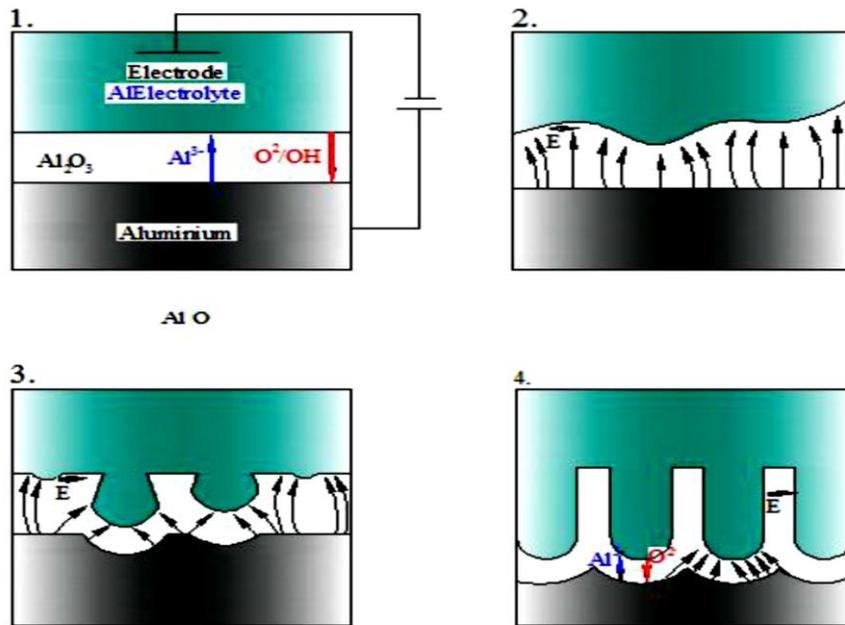
Lapisan dasar merupakan lapisan yang tipis dan padat, yang berfungsi sebagai lapisan antara lapisan pori dan logam dasar (*base metal*). Lapisan tersebut memiliki sifat yang melindungi dari korosi lebih lanjut dan tahan terhadap arus listrik. Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dari pelarutan lapisan oksida. Pada awalnya lapisan pori yang terbentuk selinder memanjang namun karena kemudian bersinggungan dengan oksida-oksida lainnya yang berada disisi-sisinya, maka lapisan oksida tersebut bertransformasi menjadi bentuk saluran heksagonal yang memanjang (Sipayung, P.P.S., 2008).

Proses pembentukan lapisan oksida dapat dipelajari dengan memperhatikan dan mengamati perubahan arus pada tegangan anodisasi yang tetap atau perubahan tegangan pada arus tetap. Proses pembentukan lapisan oksida dapat dibagi dalam 4 tahapan, antara lain:

1. Penambahan *barrier layer* yang ditandai dengan penurunan arus yang mengalir. *Barrier layer* ini merupakan lapisan oksida aluminium yang menebal akibat adanya reaksi oksidasi pada permukaan logam. Akibat

adanya penebalan maka hambatan yang ditimbulkan menjadi lebih besar. Hal itulah yang menimbulkan penurunan arus selama pembentukan *barrier layer*.

2. Setelah *barrier layer* menebal, mulai muncul benih-benih pori dekat batas antara oksida dan larutan. Pada tahapan ini terjadi penurunan arus pada sistem dan akan mencapai titik minimum saat tahapan ini berhenti.
3. Inisiasi pori yang terbentuk menjadi awal pembentukan struktur oksida berpori. Bentuk pori pada tahapan ini tidak sempurna dan terjadi peningkatan arus yang mengalir pada sistem.
4. Arus yang mengalir pada sistem akan terus meningkat dengan semakin sempurnanya morfologi lapisan oksida. Peningkatan ini terjadi hingga pada suatu saat arus yang mengalir akan konstan saat struktur berpori telah terbentuk sempurna. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tahapan pembentukan lapisan oksida,

1. Pembentukan *barrier layer*
2. Awal pembentukan pori-pori
3. Pori mulai terbentuk dan berkembang
4. Pori yang terbentuk semakin stabil

(Sipayung, P.P.S., 2008)