

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Aluminium merupakan salah satu material logam yang banyak digunakan dan dikembangkan pada berbagai macam aplikasi. Untuk meningkatkan kualitas fisik maupun mekanis aluminium, maka dilakukan proses *anodizing*. Proses *anodizing* adalah sebuah proses elektrokimia yang bertujuan untuk mempertebal lapisan protektif alami pada logam aluminium. 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 dapat dipergunakan untuk *anodizing* adalah magnesium dan titanium (Taufiq, 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, 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, 2010).

Penelitian ini sudah pernah dilakukan oleh Prastya, Y.A., (2016) dengan pembahasan tentang *Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Hasil Proses Anodizing Pada Aluminium Seri IXXX*, dengan ukuran panjang aluminium 50 mm, lebar 30 mm, tebal 2,8 mm. Dengan varisai arus, 1 Ampere, 2 Ampere, dan 3

Ampere memakai tegangan 18 volt, waktu yang dipakai *cleaning* 1 menit, *etching* 1 menit, *desmut* 2 menit, *anodizing* 10 menit, *dyeing* 10 detik, *sealing* 10 detik, pewarna yang digunakan seberat (20 gr/liter) air RO (*Reverse Osmosis*). Setelah proses *anodizing* maka mendapatkan hasil penelitian dengan variasi kuat arus 1 Ampere, 2 Ampere, 3 Ampere dengan ketebalan lapisan oksida rata-rata sebesar 20 μm , 80 μm , 5 μm , secara berurutan. Sedangkan untuk kekerasan variasi kuat arus sama sebesar 44.36 VHN, 44.16 VHN, 45.3 VHN, secara berurutan. Setelah proses *dyeing* maka variasi kuat arus menghasilkan ketebalan lapisan oksida rata-rata 40 μm , 120 μm , 10 μm , secara berurutan. Untuk kekerasan setelah proses *dyeing* rata-rata 44.43 VHN, 52.1 VHN, 48.73 VHN, secara berurutan. Perbedaannya hanya pada waktu proses pencelupan *cleaning* 5 menit, *etching* 5 menit, *desmut* 5 menit, *anodizing* 20 menit, *dyeing* 5 menit, *sealing* 5 menit.

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

Santhiarsa, N.N., (2009) membahas tentang *Pengaruh Variasi Kuat Arus Proses Hard Anodizing Pada Aluminium Terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan*. Bahan aluminium yang digunakan 2024-T3 dengan variasi arus listrik 1 Ampere, 2 Ampere, dan 3 Ampere. Hasil penelitian yang didapatkan pada ketebalan lapisan rata-rata sebesar 2.47 μm , 3.5 μm , 4.16 μm , secara berurutan. Hasil kekerasan rata-rata sebesar 87.35 VHN, 100.54 VHN, 112.23 VHN, secara berurutan.

Dari beberapa penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa proses *anodizing* sangat dipengaruhi pada kuat arus listrik. Semakin besar kuat arus, maka kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan oksida akan semakin meningkat. Pengaruh kuat arus listrik terhadap kekerasan rata-rata permukaan dan ketebalan lapisan oksida aluminium

menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal itu disebabkan karena variable dan komposisi paduan aluminiumnya tidak sama.

Maka penulis melakukan penelitian tentang kuat arus, untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap kecerahan warna, ketebalan lapisan oksida dan nilai kekerasan pada proses *anodizing*. Dengan menggunakan variasi arus listrik 1 Ampere, 2 Ampere dan 3 Ampere, mengikuti tinjauan yang sebelumnya Karena belum mendapatkan titik maksimum pada nilai kekerasan pada aluminium tersebut. Material yang digunakan aluminium 2XXX dengan dimensi panjang 50 mm, lebar 30 mm, tebal 3,5 mm. Waktu yang digunakan pada proses pencelupan *cleaning* 5 menit, *etcing* 5 menit, *desmut* 5 menit, *anodizing* 20 menit, *dyeing* 5 menit, dan *sealing* 5 menit dengan waktu yang berbeda dapat memungkinkan akan meningkatkan kekerasan yang lebih tinggi.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengertian *Anodizing*

Anodizing adalah sebuah proses elektrokimia yang digunakan untuk mempertebal lapisan aluminium atau logam. Lapisan anodik adalah suatu logam yang dilapisi, namun memiliki struktur berpori yang memberikan reaksi sekunder seperti pewarnaan. Proses ini juga dapat mengubah permukaan logam menjadi lebih dekoratif, andal, tahan terhadap korosi. Aluminium adalah logam yang paling mudah untuk *anodizing*. Selain aluminium adapun logam yang dapat digunakan untuk *anodizing* yaitu logam non-ferrous magnesium dan titanium.

Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrolisis merupakan berlangsungnya peristiwa reaksi kimia oleh arus listrik. Komponen paling penting dari proses elektrolisis adalah elektroda dan elektrolit, karena katoda merupakan kutub negatif (-) dan anoda merupakan kutub positif (+).

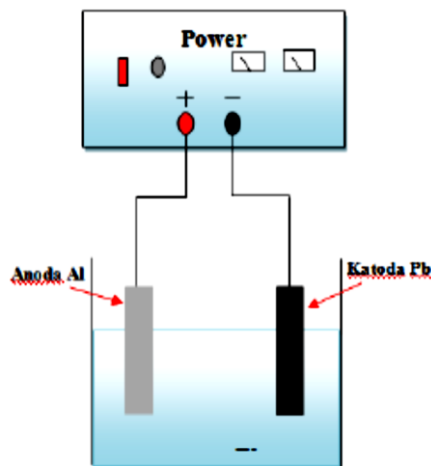
Karakteristik *anodizing* menghasilkan suatu lapisan tipis oksida yang baik terhadap logam dasarnya. Lapisan tersebut memiliki sifat- sifat sebagai berikut:

1. Transparan, dengan warna yang bervariasi.
2. Terintegrasi dengan baik pada logam dasar, dan tidak mudah mengelupas.
3. Sifat-sifat diatas merupakan keunggulan dari lapisan oksida pada proses *anodizing*.

2.2.2. Klasifikasi *Anodizing*

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). Sebuah elektron dalam 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, 2014)

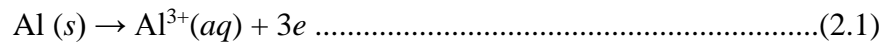
2. Elektrolit

Elektrolit adalah suatu senyawa yang dapat menghantarkan arus listrik apabila dilarutkan kedalam larutan pelarut air *revers osmosis* (RO).

Elektrolit diklasifikasikan berdasarkan kandungan ion H^+ . Elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik digolongkan kedalam elektrolit kuat, salah satunya adalah asam klorida (HCL), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam nitrat, (HNO_3). Selain elektrolit kuat ada pula golongan elektrolit lemah seperti asam cuka encer (CH_3COOH), aluminium hidroksida, kalium karbonat (C_aCO_3).

3. Elektrolisasi aluminium

Elektrolisa benda kerja yang berupa aluminium pada proses anodizing berlaku sebagai anoda dengan dihubungkan pada kutub positif satu daya. Logam aluminium akan berubah menjadi ion aluminium yang larut dalam larutan asam sesuai dengan rumus (2.1) berikut :



Jumlah zat yang bereaksi pada elektroda sel elektrolis berbanding lurus dengan jumlah arus yang melalui sel tersebut, jika jumlah arus tertentu yang mengalir melalui beberapa elektrolisis. Maka akan dihasilkan jumlah ekuivalen masing-masing zat. Hukum Faraday ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (2.2) berikut:

$$n = \frac{i.t}{F.z} \dots\dots\dots (2.2)$$

- Dimana :
- n : jumlah zat (mol)
 - i : arus listrik (ampere)
 - F : tetapan Faraday (1 Faraday = 96485 coulomb/mol)
 - z : jumlah elektron yang ditransfer per ion
 - t : waktu (menit)

Mengingat, massa zat adalah perkalian massa atom (AR) dengan mol atom, maka persamaan dapat di kembangkan seperti ditunjukkan pada persamaan (2.3), (2.4) dan (2.5) berikut :

$$n \cdot AR = \frac{i.t}{F.z} \cdot AR \dots\dots\dots(2.3)$$

$$m = \frac{i.t.AR}{F.z} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\frac{m}{t} = \frac{i.AR}{F.z} \dots\dots\dots(2.5)$$

Sedangkan persamaan untuk aluminium, dijelaskan pada persamaan (2.6) dan (2.7) berikut :

$$\frac{m}{t} = \frac{i \cdot 26,98}{96485 \cdot 3} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\frac{m}{t} = 9,32 \times 10^{-5} \cdot i \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana m : massa (g/dm^2)
 t : waktu (menit)
 i : kuat arus (*Ampere*)

2.2.3. Material Aluminium

Dalam penggunaan logam dibidang industri, aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Hal ini berarti dalam klasifikasi logam *non ferrous*, aluminium merupakan logam yang paling sering digunakan dalam industri. Aluminium logam yang sangat ringan, dengan berat jenis kurang lebih sepertiga berat jenis baja atau paduan tembaga, yaitu 2.70 gr/cm.

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.

Aluminium sangat reaktif terhadap oksigen, dengan membentuk lapisan oksida dipermukaannya. Hal ini terjadi secara alami karena pengaruh reaksi energi bebas yang cukup tinggi untuk mengoksidasi permukaan aluminium. Lapisan oksida yang terbentuk memiliki sifat yang lebih keras dari logam induk, dengan ketebalan antara $1-30 \times 10^{-6}$

Inci sampai dengan 3 mikron. Selain dapat terbentuk secara alami, lapisan oksida pada permukaan aluminium ini dapat juga dibentuk dengan proses elektrokimia yaitu proses *anodizing*. Lapisan oksida yang dihasilkan melalui proses ini memiliki ketebalan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida yang terbentuk dengan proses *anodizing* akan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Salah satu produk aluminium yang banyak diproduksi dan digunakan dalam proses *anodizing* belakangan ini adalah aluminium foil. Aluminium foil biasanya adalah hampir murni aluminium, yaitu sekitar 92%-99.99% Al. Produk aluminium foil dibuat dengan proses pengecoran yang dilanjutkan dengan *rolling* maupun melalui proses *continuous casting*. Bila pada awalnya proses *anodizing* lebih banyak diarahkan pada peningkatan nilai estetika dan nilai kekerasan dari material, maka pada perkembangannya saat ini proses *anodizing* telah dikembangkan untuk aplikasi pada bidang nanoteknologi. Penggunaan logam aluminium, terutama *aluminium foil* yang memiliki komposisi hampir 100% Al, diupayakan untuk dapat menjadi *template* material untuk diaplikasikan pada bidang nano teknologi, dan pada akhirnya dapat dimanfaatkan pada industri pesawat terbang, semikonduktor, dan mikro elektronik (Hutasoit, 2008).

2.2.4. Klasifikasi Aluminium

a. Aluminium murni

Aluminium murni didapat dalam keadaan cair melalui proses elektrolisa, yang umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Namun, bila dilakukan proses elektrolisa lebih lanjut, maka akan didapatkan aluminium dengan kemurnian 99,99%. 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 99,99% (Rasyid dkk. 2009).

b. Aluminium Paduan

Aluminium paduan dikelompokkan dalam berbagai standard oleh berbagai negara di dunia. Namun pengklasifikasian yang paling terkenal dan sempurna adalah standard (AA) *Aluminium Association* di Amerika yang didasarkan pada standard sebelumnya dari ALCOA (*Aluminium Company of America*).

1. Aluminium *copper alloy* (seri 2xxx)

Paduan ini dapat di *heat treatment* terutama yang mengandung (2,5-5%) Cu. Dari seri ini yang terkenal seri 2017 dikenal dengan nama “*duralumin*” mengandung 4%Cu, 0,5%Mg, 0,5%Mn pada komposisi standard. Paduan ini Mg ditingkatkan pada komposisi standard dari Al, 4,5%Cu, 1,5%Mg, 0,5%Mn, dinamakan paduan 2024 yang bernama *duralumin* super. Paduan yang memiliki Cu mempunyai ketahanan korosi yang jelek, jadi apabila ketahanan korosi khusus diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alkad. Paduan ini banyak digunakan untuk alat-alat yang bekerja pada temperatur tinggi misalnya pada piston dan silinder head motor bakar.

2. Aluminium *magnese alloy* (seri 3xxx)

Mn adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Dalam diagram fasa, Al-Mn yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah Al₆Mn(25,3%). Sebenarnya paduan Al-1,2%Mn dan Al-1,2%Mn-1,0%Mg dinamakan paduan 3003 dan 3004 yang dipergunakan sebagai paduan tanpa perlakuan panas. Paduan dalam seri ini tidak dapat dikeraskan dengan *heat treatment*. Seri 3003 dengan 1,2%Mn mudah dibentuk, tahan korosi, dan (*weldability*) baik. Banyak digunakan untuk pipa dan tangki minyak.

3. Aluminium *silikon alloy* (seri 4xxx)

Paduan Al-Si sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan yang sangat bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan, paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang sangat kecil, dan sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Karena memiliki kelebihan yang baik, paduan ini

sangat banyak dipakai. Tetapi dalam hal ini modifikasi tidak perlu dilakukan. Sifat-sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Umumnya dilakukan paduan dengan 0,15-0,4%Mn dan 0,5%Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan dan dituakan dinamakan *silumin gamma* dan yang hanya ditemper dinamakan silumin beta. Paduan yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas, bahan ini biasa digunakan untuk torak motor.

Koefisien pemuaian termal Si yang sangat rendah membuat koefisien termal paduannya juga rendah apabila ditambah Si lebih banyak. Telah dikembangkan paduan hypereutektik Al-Si sampai 29% Si untuk memperhalus butir primer Si. Proses penghalusan akan lebih efektif dengan penambahan P oleh paduan Cu-P atau penambahan fosfor klorida (PCl_5) untuk mencapai presentasi 0,001%P, dapat tercapai penghalusan primer dan homogenisasi. Paduan Al-Si banyak dipakai sebagai elektroda untuk pengelasan yaitu terutama mengandung 5%Si. Paduan seri ini non *heat treatable*. Paduan seri 4032 yang mengandung 12,5%Si mudah ditempa dan memiliki koefisien muai panas sangat rendah digunakan untuk piston yang ditempa.

4. Aluminium *magnesium alloy* (seri 5xxx)

Aluminium Seri 5xxx adalah paduan dengan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 5050 hingga 5086. Dalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam Al_3Mg_2 . Sel satuannya merupakan hexagonal susunan rapat (eph) tetapi ada juga yang sel satuannya kubus berpusat muka (fcc) rumit. Titik eutektiknya adalah $450^\circ C$, 35%Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperature eutektik adalah 17,4% yang menurun pada temperature biasa sampai kira-kira 1,9%Mg, jadi kemampuan penuaan dapat diharapkan. Paduan Al-Mg umumnya digunakan sebagai bahan pembuat badan kapal. Paduan lainnya akan mudah mengalami korosi ketika berhadapan dengan larutan alkali seperti air laut. Paduan Al-Mg

mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik disebut *hidrinalium*. Paduan dengan 2-3%Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi. Paduan Al-Mg umumnya non *heat treatable*. Seri 5052 dengan 2,5%Mg banyak digunakan untuk campuran minyak dan bahan bakar pesawat terbang. Seri 5052 biasa digunakan sebagai bahan tempaan. Paduan 5056 adalah paduan paling kuat setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlakukan kekerasan tinggi. Paduan 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5%Mg) yang kuat dan mudah dilas sehingga banyak digunakan sebagai bahan untuk tangki LNG. Seri 5005 dengan 0,8%Mg banyak digunakan sebagai batang profil ekstrusi. Seri 5050 dengan 1,2%Mg dipakai sebagai pipa saluran minyak dan gas pada kendaraan.

5. Aluminium *magnesium silicon alloy* (seri 6xxx)

Penambahan sedikit Mg pada Al akan menyebabkan pengerasan penuaan sangat jarang terjadi, namun apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat diperkeras dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. Hal ini dikarenakan senyawa M_2Si berkelakuan sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Paduan dalam sistem ini memiliki kekuatan yang lebih kecil dibanding paduan lainnya yang digunakan sebagai bahan tempaan, tetapi sangat liat, sangat baik kemampuan bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Paduan 6063 banyak digunakan sebagai rangka konstruksi. Karena paduannya memiliki kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hantaran listrik maka dipergunakan untuk kabel tenaga. Dalam hal ini percampuran dengan Cu, Fe, dan Mn perlu dihindari karena unsur-unsur tersebut menyebabkan tahanan listrik menjadi tinggi. Magnesium dan Silikon membentuk senyawa Mg_2Si (Magnesium Silisida) yang memberikan kekuatan tinggi pada paduan ini setelah proses heat treatment. Seri 6053, 6061, 6063 memiliki sifat tahan korosi sangat baik dari pada *heat treatable* aluminium lainnya. Penggunaan aluminium seri 6xxx banyak digunakan untuk piston motor dan silinder head motor bakar.

6. Aluminium Zink alloy (seri 7xxx)

Aluminium menyebabkan keseimbangan biner semu dengan senyawa antar logam $MgZn_2$ dan kelarutannya menurun apabila temperaturnya turun. Telah diketahui sejak lama bahwa paduan sistem ini dapat dibuat keras sekali dengan penuaian setelah perlakuan pelarutan. Tetapi sejak lama, tidak dipakai sebab mempunyai sifat patah getas oleh retakan korosi tegangan. Di Jepang pada permulaan tahun 1940, Iragashi dkk mengadakan studi dan berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira-kira 0,3%Mn atau Cr, dimana butir Kristal padat diperhalus, dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan ESD, *Duralumin*, supereksstra. Selama perang dunia ke II di Amerika Serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan, yaitu suatu paduan yang terdiri dari Al-5, 5%Zn-2,5%Mn-1,5%Cu-0,3%Cr-0,2%Mn, sekarang dinamakan paduan 7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini paling besar adalah untuk konstruksi pesawat udara. Di samping itu penggunaannya menjadi lebih penting sebagai bahan konstruksi.

Dimana unsur – unsur paduan dalam aluminium berfungsi antara lain:

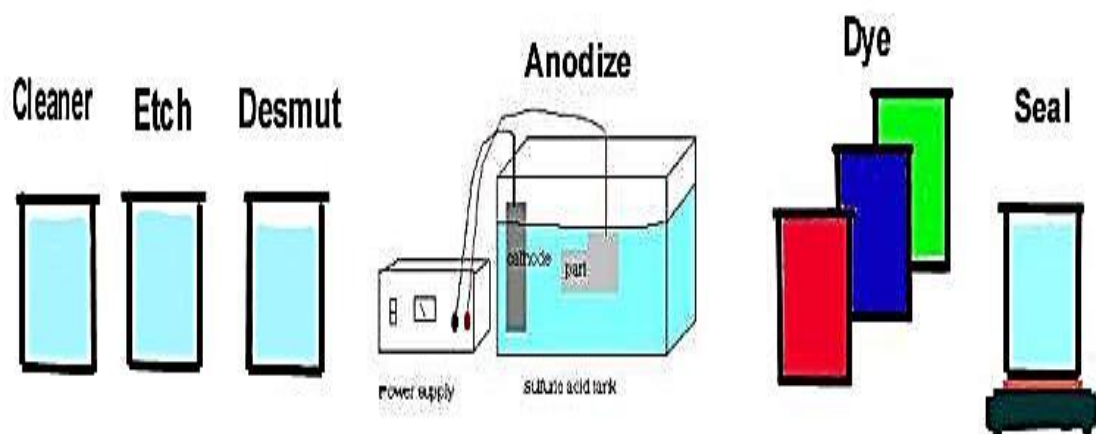
- a. *Copper* (Cu), menaikkan kekuatan dan kekerasan, namun menurunkan elongasi (pertambahan panjang saat ditarik). Kandungan Cu dalam aluminium yang paling optimal adalah antara 4-6%.
- b. *Zink* atau Seng (Zn), menaikkan nilai tensile.
- c. *Mangan* (Mn), menaikkan kekuatan dalam temperature tinggi.
- d. *Magnesium* (Mg), menaikkan kekuatan aluminium dan menurunkan nilai *ductility*-nya (Keuletan).
- e. Silikon (Si), menyebabkan paduan aluminium tersebut bisa diperlakukan panas untuk menaikkan kekerasannya.
- f. *Lithium* (Li), ditambahkan untuk memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

Jenis aluminium dibedakan berdasarkan kemurnian atau persentase aluminium murni dalam komposisi kimia materialnya. Pengelompokan ini diatur oleh *Aluminium Association (AA)*. Kode aluminium terdiri dari 4 digit dari 1XXX, 2XXX, 3XXX, ..., 8XXX. Digit pertama menandakan tingkat kemurnian atau unsur paduan yg terkandung:

- a) Untuk aluminium dengan kemurnian di atas 99%.
- b) Untuk paduan *Coper*.
- c) Untuk paduan *Mangan*.
- d) Untuk paduan Silikon.
- e) Untuk paduan Magnesium.
- f) Untuk paduan Magnesium Silikon.
- g) Untuk paduan *zinc*.

2.2.5. Proses *Anodizing*

Anodizing atau oksida anodik merupakan proses elektrolisis yang dilakukan untuk menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal dari pada lapisan oksida yang terbentuk secara alami. Ketahanan terhadap korosi pada lingkungan akan diperoleh jika proses anodisasi berhasil dilakukan dengan tepat. Secara umum, anodisasi 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, 2011)

Dari keterangan gambar diatas memiliki fungsi sebagai berikut:

1. *Cleaning*

Proses *cleaning* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium dengan menggunakan larutan detergen murni untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada aluminium sebelum dilakukan proses *etching*. Detergen murni natrium karbonat (Na_2CO_3) dengan konsentrasi larutan yang digunakan 50 gr/liter.

2. *Rinsing cleaning*

Proses *rinsing cleaning* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *cleaning* dengan menggunakan air RO dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *etching*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya.

3. *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) konsentrasi 100 gr/liter.

4. *Rinsing Etching*

Proses *rinsing etching* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *etching* dengan menggunakan air RO dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *desmut*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya.

5. *Desmut*

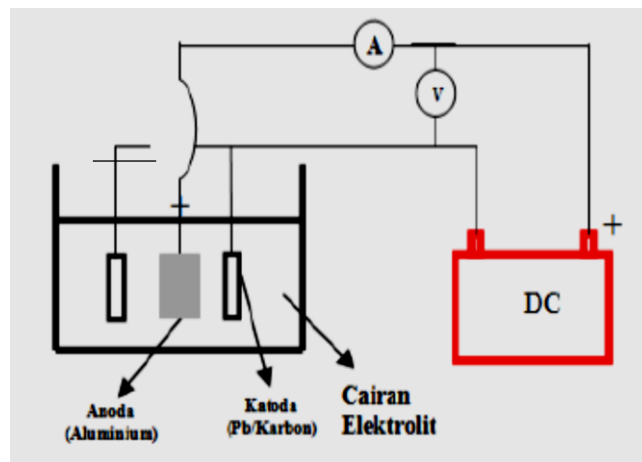
Proses *desmut* adalah suatu proses yang berfungsi sebagai pembersihan bercak-bercak hitam yang diakibatkan oleh proses *etching*. Larutan yang dipakai adalah Campuran dari asam fosfat (H_3PO_4) 75% ditambah asam sulfat (H_2SO_4) 15% dan asam nitrat (HNO_3) 10%.

6. *Rinsing Desmut*

Proses *rinsing desmut* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *desmut* dengan menggunakan air RO dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *anodizing*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya.

7. Anodizing

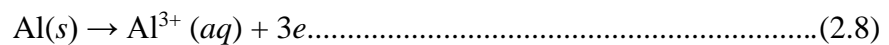
Proses *anodic oxidation* adalah proses pelapisan secara elektrokimia yang merubah aluminium menjadi aluminium oksida dengan proses elektrolisis, larutan yang digunakan asam sulfat dengan konsentrasi 400 ml/liter. Logam atau benda kerja dipasang pada anoda (+) dan sebagai katoda (-) dapat menggunakan lembaran Pb atau aluminium dan karbon. Rangkaian pada proses *anodic oxidation* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



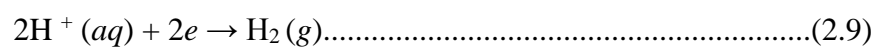
Gambar 2.3 Rangkaian proses *anodic oxidation*
(Priyanto, 2012)

Logam aluminium atau benda kerja pada larutan *elektrolit anodic oxidation* sebagai anoda sehingga logam inilah yang akan teroksidasi.

Persamaan reaksi yang terjadi pada anoda sebagai berikut (2.8) :



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 reaksi yang terjadi pada katoda seperti ditunjukkan pada persamaan (2.9) berikut :



8. *Rinsing anodizing*

Proses *rinsing anodizing* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *anodizing* dengan menggunakan air RO dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *coloring*, sehingga tidak mengganggu proses berikutnya.

9. *Coloring/dyeing*

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 digunakan adalah pewarna khusus *anodizing* dengan konsentrasi larutan 15 gr/liter.

10. *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 dengan konsentrasi 5 gr/liter. Setelah dilakukan proses *sealing*, maka struktur permukaan lapisan akan menjadi lebih halus dan rata.

11. *Rinsing sealing*

Proses *rinsing sealing* adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses *sealing* dengan menggunakan air RO dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium, sehingga tidak ada sisa bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium.

Proses *anodizing* memiliki beberapa tujuan, antara lain :

1. Meningkatkan ketahanan korosi.

Dari proses anodisasi, 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 *adhesif*.

Lapisan ini hasil proses anodisasi yang menggunakan asam fosfor dan kromat 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 proses plating selanjutnya

Pori dari lapisan anodik oksida mendukung proses *electroplating*, asam yang digunakan apabila ingin melakukan pelapisan lanjutan adalah asam *phosfor*.

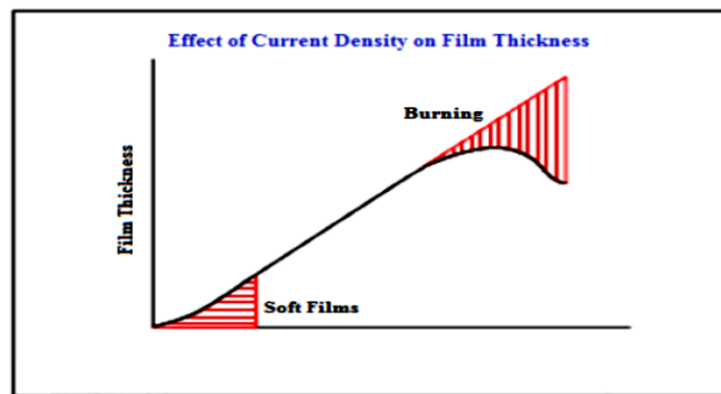
6. Aplikasi dekorasi.

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

2.2.6. . 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.

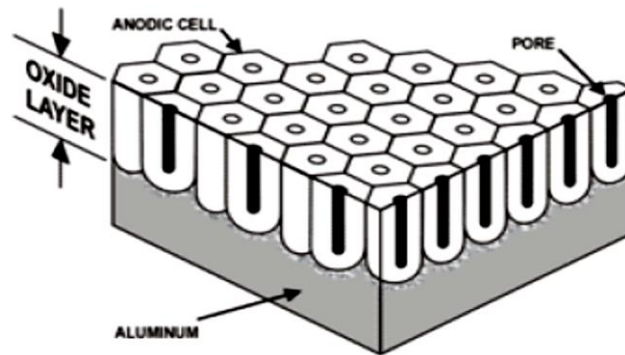


Gambar 2.4 Grafik rapat arus terhadap ketebalan lapisan oksida (Hutasoit, 2008)

2.2.7. Pembentukan Lapisan Oksida

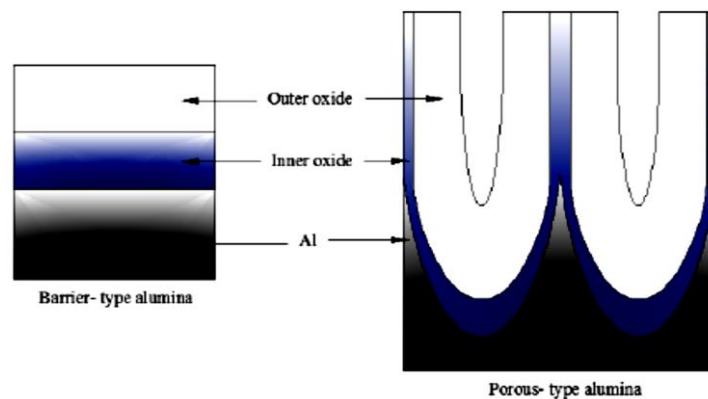
Lapisan hasil *anodizing* memiliki struktur yang berbeda dari lapisan oksida yang terbentuk secara alami, dimana lapisannya memiliki struktur pilar *hexagonal* berpori yang memiliki karakteristik yang unik sehingga meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium. Secara umum lapisan oksida hasil dari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



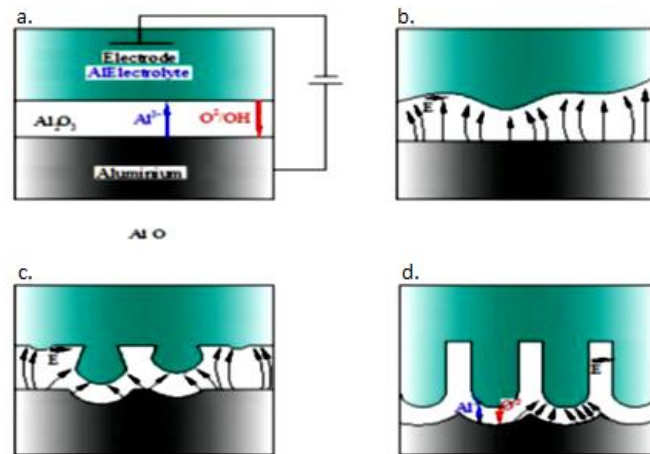
Gambar 2.6 Skema lapisan pori aluminium oksida
(Sipayung, 2008)

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, 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 (a) Pembentukan *barrier layer* (b) Awal pembentukan pori-pori, (c) Pori mulai terbentuk dan berkembang, (d) Pori yang terbentuk semakin stabil.
(Sipayung, 2008)

2.2.8. Sifat Penerapan *Anodizing*

Anodizing dilaksanakan dengan berbagai alasan serta tujuan tertentu, dimana untuk menyesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan. Adapun dengan pemakaian *anodizing* mempunyai maksud untuk memperbaiki sifat ataupun penerapan, yaitu diantaranya:

1. Meningkatkan ketahanan korosi.
2. Meningkatkan adhesi cat.
4. Memperbaiki penampilan dekoratif.
5. Menghasilkan isolasi listrik/non konduktor.
6. Meningkatkan ketahanan abrasi.

Dengan *anodizing* lapisan pelindung dipertebal sehingga dapat digunakan di luar rumah misalnya untuk pemakaian di laut, mobil, keperluan arsitektur, jendela, gerbang toko, dan sebagainya. Aluminium yang di *anodizing* juga mempermudah dan memperkuat pengecatan, termasuk untuk penggunaan-penggunaan kritis dalam kedirgantaraan, misalnya baling-baling helikopter, torpedo dan sebagainya.

Aluminium di-*anodizing* dalam elektrolit sulfat menghasilkan lapisan konduktif yang memperkuat rekatan *plating* berikutnya. Bila pemilihan *alloy*, sistem serta prosedur *anodizing*nya tepat, produk aluminium dapat beraneka penampilan permukaan, cerah atau buram, berarah atau tidak teksturnya, kombinasi warnanya. Perhiasan alat olahraga,

komponen bangunan, keperluan dapur dan rumah tangga sampai papan nama dapat memanfaatkannya.

Untuk pengisolasi listrik, *anodizing* aluminium dapat menahan tegangan 40 volt tiap mikron serta tahan suhu tinggi tanpa hangus, maka baik untuk trafo dan keperluan alat-alat listrik lainnya. Industri otomotif dan konstruksi merupakan pengguna terbesar teknologi *anodizing*, juga di Indonesia ini (Priyanto, 2012).