

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Aluminium merupakan logam yang memiliki sifat-sifat menarik dan beragam yang membuat aluminium menjadi logam yang sering digunakan dan memiliki harga yang cukup ekonomis. Aluminium merupakan suatu logam yang secara termodinamika adalah logam yang reaktif (mudah beraksi). (Sipayung, 2008)

Larutan elektrolit sangat diperlukan dalam proses *anodizing*, biasanya menggunakan larutan asam sulfat. Konsentrasi dari asam sulfat akan mempengaruhi hasil dari *anodizing* seperti ketebalan lapisan dan kekerasan permukaan logam. Fitrahuddin, (2009) meneliti aluminium seri 3103 dengan konsentrasi asam sulfat sebesar 15% dengan waktu anodisasi 60 menit mendapatkan kekerasan yang optimum dengan nilai 734,4 Hvn.

Nugroho (2012), meneliti tentang *Pengaruh Rapat Arus Dan Waktu Anodizing Terhadap Laju Korosi Pada Aluminium Paduan 2024-T3 Di Lingkungan Air Laut*. Variasi arus yang digunakan adalah 0,7 A/dm², 1,50 A/dm², 2,25 A/dm², dan 3,00 A/dm². Waktu yang digunakan pada proses anodizing adalah 30, 40, 50, dan 60 menit. Pengujian korosi dilakukan dengan korosi dengan menggunakan sel potensial tiga elektrode. Laju korosi tanpa perlakuan anodizing adalah sebesar 0,03043 mm/yr, namun setelah mengalami proses *anodizing*, laju korosi pada Al 2024-T3 cenderung menurun. Penurunan laju korosi ini disebabkan adanya peningkatan ketebalan dari lapisan pasif berupa aluminium oksida Al₂O₃ pada Al 2024-T3. Laju korosi akan turun dengan bertambah tebalnya lapisan oksida yang terbentuk dan selanjutnya akan mencapai nilai optimum. Namun setelah mencapai nilai optimum maka laju korosi akan meningkat lagi yang kemungkinan disebabkan oleh jenuhnya lapisan aluminium oksida yang terbentuk.

Santhiarsa (2009), meneliti *Tentang Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Waktu Proses Hard Anodizing Pada Aluminium Terhadap Kekerasan Dan Ketebalan*

Lapisan. Penelitian ini menggunakan aluminium 2024-t3. Variasi arus yang digunakan adalah 1 Ampere, 2 Ampere, 3 Ampere, dengan waktu pencelupan selama 10, 20, dan 30 menit. Seiring meningkatnya arus dan waktu pencelupan *anodizing* menghasilkan peningkatan nilai kekerasan permukaan juga, dikarenakan lapisan aluminium oksida yang terbentuk semakin banyak dan rapat. Dari beberapa penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa kuat arus listrik sangat berpengaruh pada proses *anodizing* terhadap ketebalan lapisan oksidasi, laju korosi dan kekerasan permukaan. Selain faktor kuat arus listrik pengaruh waktu *anodizing*, jenis material, konsentrasi elektrolit dan tegangan listrik yang digunakan juga dapat mempengaruhi karakteristik permukaan material aluminium yang dianodizing.

Priyanto (2012), meneliti tentang *Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekerasan Permukaan Logam Aluminium 5xxx Pada Proses Anodizing*. Penelitian ini menggunakan material aluminium seri 5XXX, dengan panjang 100 mm, lebar 30 mm, dan tebal 4mm. Variasi arus yang digunakan adalah 1, 2, dan 3 Ampere dengan waktu pencelupan 30 menit. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai kekerasan yang meningkat. Variasi arus 1 Ampere adalah 66.1 VHN, 2 Ampere adalah 64.8 VHN, dan 3 Ampere adalah 64 VHN. Hasil uji foto mikro didapatkan ketebalan lapisan dengan variasi kuat arus 1, 2, dan 3 Ampere sebesar 40 μm , 60 μm , dan 70 μm . Dari penelitian ini dapat disimpulkan semakin besar arus yang diberikan maka semakin tebal juga lapisan oksidasi, namun pada aluminium seri 5XXX ini nilai kekerasannya menurun dengan bertambahnya kuat arus.

Prastya (2016), meneliti tentang *Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Hasil Proses Anodizing Pada Aluminium Seri 1XXX*. Penelitian ini menggunakan aluminium seri 1XXX dengan panjang 50 mm, lebar 30 mm, dan tebal 2,8mm. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 1 Ampere, 2 Ampere, dan 3 Ampere dengan tegangan 18 volt dan waktu pencelupan 10 menit. Dari hasil penelitian didapatkan ketebalan lapisan oksida pada kuat arus 1 Ampere, 2 Ampere, dan 3 Ampere sebesar 20 μm , 80 μm , 5 μm . Kesimpulan pada penelitian ini adalah ketebalan lapisan oksida yang paling tinggi adalah 80 μm

pada kuat arus 2 Ampere dan nilai kekerasan tertinggi pada 3A 45.3 VHN. lapisan oksida akan menurun sejalan dengan naiknya temperatur.

Prabowo (2016), melakukan penelitian tentang *Pengaruh Variasi Waktu Anodizing Terhadap Struktur Permukaan, Ketebalan Lapisan Oksida dan Kekerasan Aluminium 1XXX*. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium seri 1XXX berdimensi 50 mm x 30 mm x 2.8 mm. Penelitian menggunakan variasi waktu pencelupan 5, 10, 15 menit. Hasil penelitian ini mendapatkan nilai kekerasan dan ketebalan lapisan paling tinggi pada waktu 15 menit yaitu 55,16 VHN dan 56,8 μ m. Namun struktur makro permukaan terbentuk lapisan berbutir maksimal pada waktu 10 menit.

Dari beberapa hasil penelitian di atas menunjukkan arus yang digunakan pada proses *anodizing* sangat mempengaruhi hasil dari ketebalan lapisan dan kekerasan aluminium karena arus berpengaruh dengan kerapatan arus yang akan mempengaruhi ketebalan lapisan. Namun dari beberapa penelitian tersebut belum melakukan pengujian terhadap laju korosi pada aluminium seri 1XXX dengan tingkat kemurnian 99%. Oleh sebab itu untuk mengetahuinya maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap material ini dengan menggunakan metode *anodizing*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Anodizing

Proses *anodizing* hampir sama dengan electroplating dengan tujuan untuk dekoratif dan perlindungan terhadap korosi. *Anodizing* (anodisasi) adalah proses pembentukan lapisan oksida tipis pada permukaan aluminium yang melalui proses elektrolisis dalam larutan elektrolit dengan cara bereaksi atau mengkorosikan logam dengan oksigen (O₂) yang diambil dari larutan elektrolit sebagai media. Proses *anodizing* dan electroplating sama-sama berlangsung dalam larutan elektrolit, tetapi memiliki dua perbedaan yaitu :

1. Pada electroplating, substrat bertindak sebagai katoda dalam larutan, sedang pada anodizing bahan yang bertindak sebagai anoda akan terlarut dalam larutan elektrolit yang berfungsi sebagai katoda.

2. Pada electroplating, lapisan terbentuk oleh adhesi dari ion yang berasal dari anoda dan selanjutnya menempel pada substrat (katoda) sedang pada anodizing, lapisan terbentuk pada permukaan substrat karena reaksi kimia antara substrat dengan oksida yang terdapat dalam larutan.

Aluminum *anodizing* adalah proses pelapisan secara elektrokimia yang mengkonversi aluminium menjadi aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan material yang akan dilapisi. Proses elektrokimia yaitu merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. *Anodizing* bertujuan untuk mendapatkan lapisan oksida yang lebih tebal dan kuat pada permukaan substrat.

Prinsip dasar proses *anodizing* ialah elektrolisis. Proses elektrolisis merupakan peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Komponen terpenting dalam proses elektrolisis adalah elektroda dan elektrolit. Dalam proses elektrolisis katoda berperan sebagai penghantar benda kerja yang merupakan kutub negatif (-) dan anoda adalah kutub positif (+) sebagai substrat atau benda kerja.

2.2.2 Tujuan *Anodizing*

Tujuan dari *anodizing* ialah untuk menghasilkan suatu lapisan tipis oksida yang baik terhadap logam dasarnya. Lapisan tersebut bersifat keras, transparan dan tidak dapat mengelupas. Keuntungan dari *anodizing* ialah :

1. Dapat meningkatkan ketahanan korosi. Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam akan melindungi logam dibawahnya yang bertindak sebagai penghalang (*barrier*) dan menghalangi oksigen bereaksi lebih lanjut dengan aluminium sehingga logam lebih tahan terhadap serangan korosi dalam lingkungan air garam maupun lingkungan yang lebih korosif.
2. Dapat meningkatkan sifat adhesif lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodizing* yang menggunakan asam fosfat dan kromat dapat meningkatkan ketanggunhan, biasanya digunakan pada industri penerbangan.
3. Dapat meningkatkan ketahanan aus (*wear resistant*), karna dari proses *hard anodizing* dapat menghasilkan ketebalan lapisan 25-100 mikron.

4. Untuk dekoratif. Lapisan oksida yang terbentuk memiliki tampilan yang mengkilap. Lapisan oksida yang terbentuk dapat diberi warna dengan metode *dyeing*, pemberian warna pada pori-pori lapisan.
5. Aluminium yang di anodisasi secara umum dapat menjadi material yang aman untuk diaplikasikan sebagai kemasan makanan dan minuman maupun penggunaan medis.

2.2.3 Jenis-jenis Anodizing

Reaksi dasar dari proses anodizing adalah merubah permukaan aluminium menjadi aluminium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda di dalam sel elektrolis. Terdapat 3 jenis *anodizing* yang umum digunakan dan memiliki tujuan masing-masing yaitu :

1. *Chromic Acid Anodizing (CAA)*

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

2. *Sulfuric Acid Anodizing (SAA)*

Jenis ini adalah yang paling umum digunakan untuk *anodizing*, yaitu dengan menggunakan larutan asam sulfat 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. Jenis ini umumnya digunakan untuk aplikasi arsitektur, bagian pesawat terbang, otomotif, maupun komputer.

3. *Hard Coating Anodizing (HCA)*

Menggunakan larutan elektrolit yang sama dengan (SAA) namun dengan konsentrasi elektrolit yang lebih tinggi pada temperatur yang lebih rendah dibawah 20°C. Lapisan mencapai ketebalan 75 mikron sehingga dapat menjadi insulator (penyekat) listrik yang baik. Lapisan yang dihasilkan lebih tangguh,

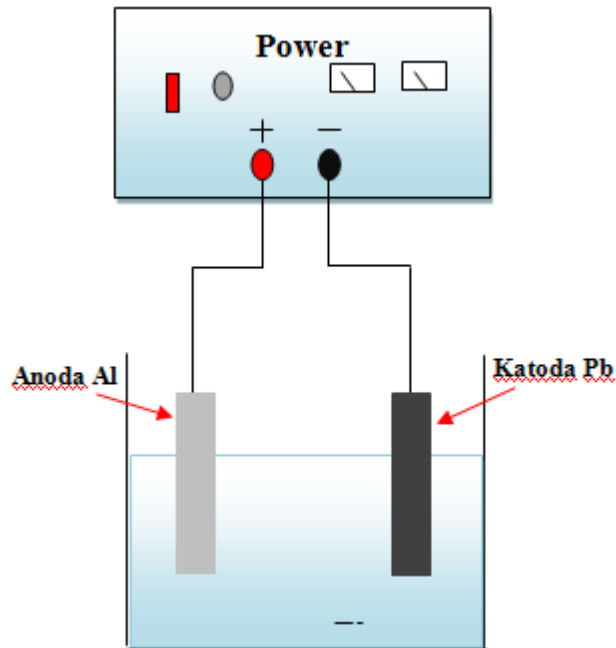
memiliki ketahanan abrasi yang baik, ketahanan korosi, anti pudar, tahan terhadap suhu tinggi, dan memiliki kekerasan yang baik. Biasanya digunakan pada peralatan yang membutuhkan ketahanan aus yang sangat tinggi seperti pada piston dan *hydraulic gear*.

2.2.4 Klasifikasi Komponen *Anodizing*

Proses *anodizing* terdapat logam yang melapisi dan logam yang akan dilapisi. Untuk itu terdapat komponen penting pada *anodizing* diantaranya elektroda, elektrolit, dan elektrolisis.

1. Elektroda

Elektroda ditemukan oleh Michael Faraday dari bahasa Yunani yaitu elektron. Elektroda didefinisikan sebagai konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian non-logam dari sebuah rangkaian listrik. Pada proses *anodizing* bagian anoda dan katoda menggunakan jenis logam yang sama yaitu aluminium. Elektron dalam sebuah sel elektrolisis ditunjukkan sebagai anoda atau katoda. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung tegangan yang diberikan ke sel elektrolit. Anoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel elektrokimia kemudian menimbulkan oksidasi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel elektrokimia dan terjadi reduksi. Sebuah elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



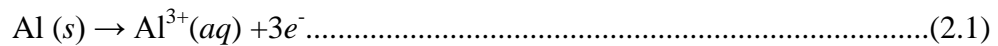
Gambar 2.1 Skema Rangkaian Sel Anodisasi
(Sidharta, 2014)

2. Elektrolit

Elektrolit adalah senyawa kimia yang akan terpisah menjadi ion-ion jika dilarutkan dalam sebuah pelarut atau zat cair, hasil dari pemisahan ini berupa ion-ion akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan listrik. Fungsi larutan elektrolit adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Elektrolit diklasifikasikan berdasarkan kandungan ion H^+ . Di dalam larutan terdapat ion positif (+) dan ion negatif (-). Dengan adanya ion tersebut dalam larutan menimbulkan beda potensial listrik (tegangan listrik), karena adanya beda potensial, arus listrik dapat mengalir sehingga larutan dapat menghantar listrik. Elektrolit diklasifikasikan berdasarkan kemampuan dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik digolongkan ke elektolitik kuat, contohnya seperti asam klorida (HCL), asam nitrat (HNO_3), dan asam sulfat (H_2SO_4). Sedangkan golongan elektrolit lemah seperti aluminium hidroksida $Al(OH)_3$, asam (cuka) encer (CH_3COOH), dan kalium karbonat ($KaCO_3$). Perbedaan dari larutan elektrolit kuat dan lemah terletak pada jumlah partikel ion (mol ion) dari tiap 1 mol zat.

3. Elektrolisis

Dalam proses *anodizing* terjadi peristiwa elektrolisis, sebagian permukaan pada logam aluminium dilarutkan menggunakan arus listrik. Elektrolisis adalah penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Energi dari arus listrik diubah menjadi energi kimia (reaksi redoks). Alat elektrolisis terdiri atas sel elektrolitik yang berisi elektrolit (larutan atau leburan), dan dua elektroda yaitu anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi (mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik) sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi (menerima elektron dari sumber arus listrik). Elektrolisis benda kerja yang berupa aluminium pada proses *anodizing* berlaku sebagai anoda dengan dihubungkan pada kutub positif. Logam aluminium akan berubah menjadi ion aluminium yang larut dalam larutan asam sesuai dengan rumus :



Jumlah zat yang bereaksi pada elektroda sel elektrolisis 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 berikut:

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

Keterangan : 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 dari persamaan diatas bisa dimodifikasi menjadi :

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

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

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

Untuk aluminium :

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

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

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

2.2.5 Anodizing Berdasarkan Sumber Arus

1. Arus AC *anodizing*

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

2. Arus DC *anodizing*

DC (*dirrect current*) *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus searah. Proses pembentukan oksida pada DC *anodizing* lebih cepat daripada 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.

2.2.6. Material Aluminium

Aluminium adalah unsur kimia dengan lambang Al dan nomor atom 13. merupakan logam *non ferrous* atau logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Aluminium memiliki titik lebur yang cukup rendah yaitu sekitar 660°C, memiliki struktur FCC (face centered cubic) Aluminium mempunyai sifat ringan, tahan korosi dan mudah dibentuk. Sifat tahan korosi aluminium didapat dari terbentuknya lapisan oksida aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan. Lapisan tersebut stabil/tidak bereaksi dengan lingkungan sekitar sehingga melindungi bagian dalam aluminium.

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.

2.2.7 Aluminium Seri 1XXX

Aluminium ini memiliki kadar 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) 90Mpa. Pada umumnya aluminium jenis ini dipergunakan di udara tahan dalam waktu bertahun-tahun. Hantaran listrik aluminium kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga, akan tetapi massa jenisnya kurang lebih sepertiga dari tembaga sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya. Oleh karena itu, dapat gunakan untuk kabel dan dalam berbagai bentuk. Misalnya sebagai lembaran tipis (*aluminium foil*), dalam hal ini dapat dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk reflector yang memerlukan reflektivitas yang tinggi juga

untuk kodensor elektrolitik dipergunakan aluminium dengan kemurnian 99,99%. Aluminium diperoleh dalam keadaan cair melalui suatu proses yang disebut elektrolisasi, umumnya mencapai kemurniaan 99,85%. Melalui proses elektrolisasi kembali maka diperoleh aluminium dengan nilai kemurnian mencapai 99,99%. Ketahanan korosi berubah menurut kemurniannya, pada umumnya untuk kemurnian aluminium 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan diudara tahan dalam waktu yang bertahun-tahun, komposisi aluminium seri 1XXX dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Aluminium Seri 1XXX (Rasyid, Dkk. 2009)

Designation	Si,%	Fe,%	Cu,%	Mn,%	Mg,%	Zn,%	Ti,%	Others,%	Al, % min
1050	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	99,5
1060	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	99,6
1100	0.95 Si + Fe		0.05- 0.2	0,05	-	0,1	-	0,15	99
1145	0.55 Si + Fe		0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	99,45
1200	1.00 Si + Fe		0,05	0,05	-	0,1	0,05	0,15	99
1230	0.70 Si + Fe		0,1	0,05	0,05	0,1	0,03	0,03	99,3
1350	0,1	0,4	0,05	0,01	-	0,05	-	0,11	99,5

2.2.8 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat mekanis adalah kemampuan bahan untuk menerima pembebanan atau menahan beban yang diterima baik beban statis maupun beban dinamis. Sifat mekanis terdiri dari beberapa aspek seperti :

1. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya necking. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu

acuan terhadap kekuatan bahan. Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan. Dengan dipadukan dengan logam lain, ditambah dengan berbagai perlakuan termal, aluminium paduan akan memiliki kekuatan tarik hingga 600 Mpa (paduan 7075).

2. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, ductility, dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. Yang paling umum adalah metode *Brinell*, *Vickers*, *Mohs*, dan *Rockwell*. Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 20 skala Brinell, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan kekerasan, aluminium perlu dipadukan dengan logam lain dan/atau diberi perlakuan termal atau fisik. Aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlakukan quenching, lalu disimpan pada temperatur tinggi dapat memiliki tingkat kekerasan Brinell sebesar 160.

3. Ductility (kelenturan)

Ductility didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tarik, ductility ditunjukkan dengan bentuk neckingnya; material dengan ductility yang tinggi akan mengalami necking yang sangat sempit, sedangkan bahan yang memiliki ductility rendah, hampir tidak mengalami necking. Sedangkan dalam hasil pengujian tarik, ductility diukur dengan skala yang disebut elongasi. Elongasi adalah seberapa besar pertambahan panjang suatu bahan ketika dilakukan uji kekuatan tarik. Elongasi ditulis dalam persentase pertambahan panjang per panjang awal bahan yang diujikan.

4. Recyclability (daya untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang dapat didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.

5. Reflectivity (daya pemantulan)

Aluminium adalah reflektor yang baik dari cahaya serta panas, dan dengan bobot yang ringan, membuatnya ideal untuk bahan reflektor misalnya atap.

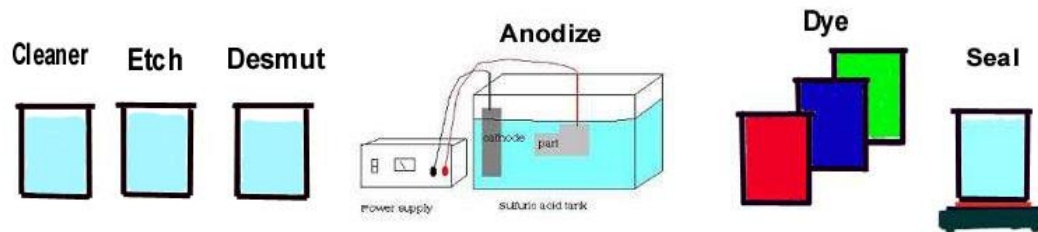
Tabel 2.2 Sifat Mekanis Aluminium (Rasyid, Dkk. 2009)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

2.2.9 Mekanisme Anodizing

Mekanisme dari proses *anodizing* merupakan pembentukan lapisan oksida, proses ini mirip dengan proses mekanisme korosi pada logam. Pada pH dan potensial tertentu dari logam aluminium mampu teroksidasi menjadi bentuk ion sehingga aluminium dapat berkaitan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Logam aluminium pada proses *anodizing* diposisikan sebagai anoda sehingga logam inilah yang akan teroksidasi. Anoda dan katoda dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang bersifat asam maupun basa, hal ini dimaksudkan agar pH aluminium berada pada daerah yang rentan terhadap proses oksidasi. Anoda dan katoda dihubungkan pada sumber arus searah (DC), dimana

aluminium (anoda) dihubungkan ke kutub positif dan katoda dihubungkan ke kutub negatif. Ketika arus mengalir dari kutub positif hal ini akan menyebabkan aluminium teroksidasi dan berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Langkah-langkah proses *anodizing* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *Anodizing* (Taufiq, 2011)

Proses *anodizing* terdiri dari beberapa langkah yang dilewati dan dilakukan secara berurutan sebelum ke proses pencelupan, langkah-langkah tersebut memiliki fungsi masing-masing sebagai berikut :

1. *Cleaning*

Cleaning adalah proses pembersihan benda kerja dari kotoran-kotoran dan minyak yang menempel pada aluminium sebelum dilakukan proses *etching*. Larutan yang digunakan adalah detergen murni karbonat (Na_2CO_3). Selanjutnya adalah *rinsing cleaning* yaitu proses pembilasan benda kerja setelah proses *cleaning* dengan menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium.

2. *Etching*

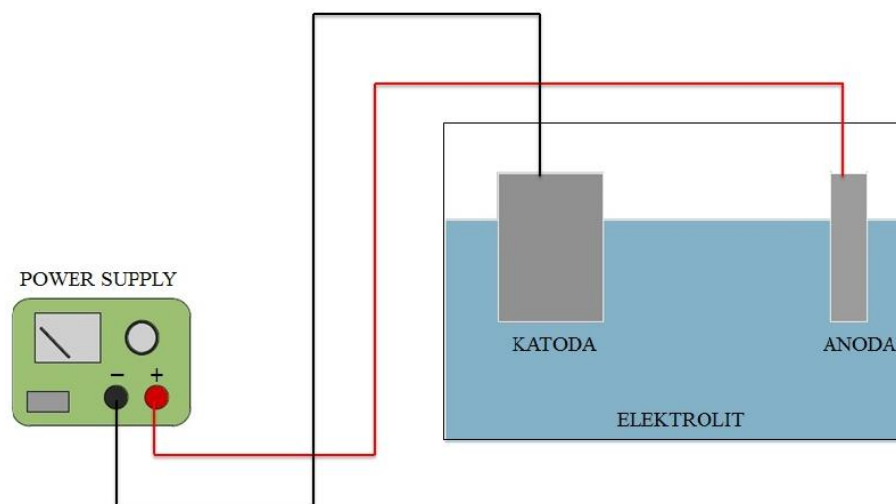
Etching (etsa) adalah proses menghilangkan lapisan oksida pada permukaan aluminium secara kimiawi yang tidak dapat dihilangkan dari proses *cleaning* dan bertujuan untuk memperoleh permukaan benda kerja yang lebih rata dan halus. Proses ini menggunakan bahan soda api (NaOH). Selanjutnya adalah *rinsing etching* yaitu proses pembilasan benda kerja setelah proses *etching* dengan menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium.

3. *Desmut*

Desmut adalah proses pembersihan bercak-bercak hitam yang diakibatkan oleh proses *etching* dan menghilangkan unsur partikel paduan yang tidak diinginkan dari proses *etching*. Proses ini menggunakan larutan campuran dari asam fosfat (H_3PO_4) 75% ditambah asam sulfat (H_2SO_4) 15% dan asam nitrat (HNO_3) 10%. Selanjutnya adalah *rinsing desmut* yaitu proses pembilasan benda kerja setelah proses *desmut* dengan menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *anodizing*.

4. *Anodizing*

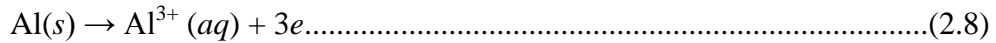
Anodizing sering juga disebut *anodic oxidation* yaitu proses pembentukan lapisan oksida (Al_2O_3). Benda kerja dipasang pada anoda (+) dan lembaran Pb atau aluminium dan karbon di pasang pada katoda (-). Larutan yang digunakan pada proses ini ialah asam sulfat (H_2SO_4). Rangkaian proses *anidizing* ditunjukkan pada Gambar 2.3. Selanjutnya adalah *rinsing anodizing* yaitu proses pembilasan benda kerja setelah proses *anodizing* dengan menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses pewarnaan, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



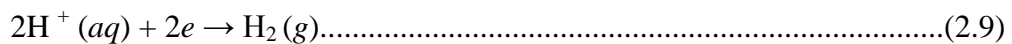
Gambar 2.3 Rangkaian proses *anodic oxidation*

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 :



5. *Dyeing/coloring*

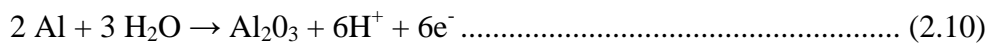
Dyeing adalah proses pewarnaan pada pori-pori lapisan oksida yang terbentuk setelah proses *anodizing*, sehingga akan menghasilkan warna yang menarik pada permukaan aluminium. Perwarna yang digunakan ialah perwarna khusus *anodizing* dan juga perwarna menggunakan bahan organik.

6. *Sealing*

Sealing adalah proses penting untuk menghasilkan lapisan yang baik. Proses ini berfungsi menutup pori-pori lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodizing* yang masih terbuka. *Sealing* juga mencegah perwarna keluar dari pori-pori lapisan oksida sehingga warna sulit untuk memudar. Setelah proses *sealing* maka struktur lapisan akan menjadi halus dan rata. Proses ini menggunakan larutan asam asetat atau asam cuka (CH_3COOH).

2.2.10 Pembentukan Lapisan Oksida

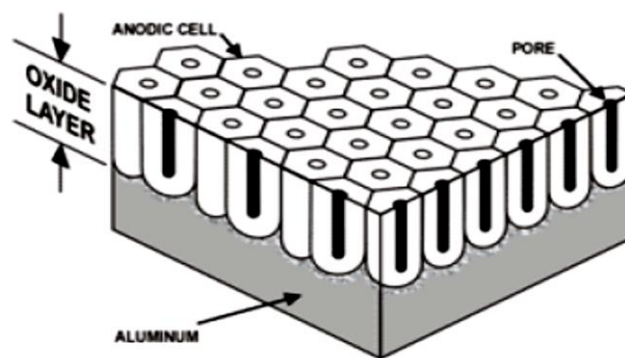
Hasil dari proses *anodizing* membentuk lapisan oksida tipis yang terintegrasi dengan baik terhadap logam dasarnya. Lapisan tersebut memiliki struktur pilar *hexagonal* berpori yang memiliki karakteristik yang unik sehingga meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium. Reaksi pembentukan lapisan oksida pada aluminium ditunjukkan pada persamaan (2.10) :



Pada umumnya lapisan oksida ini memiliki karakteristik dan merupakan keunggulan dari proses *anodizing* sebagai berikut :

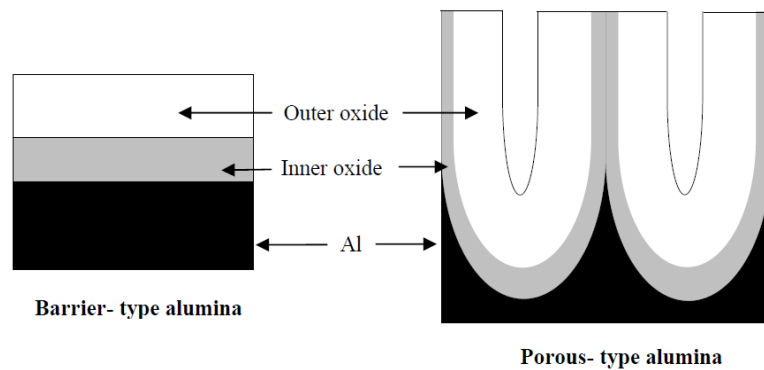
1. Keras. Aluminium (Al_2O_3) yang memiliki kekerasan sebanding dengan *sapphire*.
2. Transparan, dengan beberapa variasi warna.
3. Terintegrasi dengan baik pada logam dasarnya, tidak dapat mengelupas.

Lapisan oksida yang terbentuk akan meningkatkan ketahanan abrasif, kemampuan insulator elektrik logam, dan kemampuan menyerap zat pewarna (*dyestuff*) untuk menghasilkan tampilan warna pada permukaan aluminium. Aluminium serta paduan-paduannya mempunyai sifat tahan terhadap korosi atmosferik dikarenakan adanya lapisan oksida protektif yang mampu terbentuk cepat pada saat logam terpapar udara, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur lapisan aluminium oksida
(Hutasoit, 2008)

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang di anodisasi bergantung pada jenis larutan elektrolit yang digunakan, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida memiliki struktur yang *porous* atau berpori dengan bentuk *hexagonal*, dengan pori yang terdapat ditengahnya, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



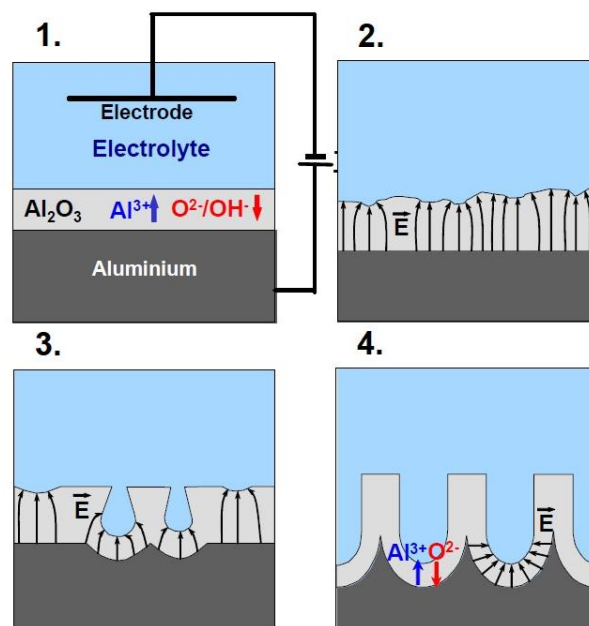
Gambar 2.5 Skema lapisan pori hasil anodisasi.
(Sipayung, 2008)

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 korosi dan tahan terhadap arus listrik. Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dan pelarutan lapisan oksida. Pada awalnya lapisan pori yang terbentuk memiliki bentuk silinder memanjang namun kemudian bersinggungan dengan oksida-oksida lainnya yang berada disisinya, maka lapisan tersebut bertransformasi menjadi berbentuk saluran *hexagonal* yang memanjang.

Proses pembentukan lapisan oksida dapat dipelajari dengan mengamati perubahan arus pada tegangan yang tetap atau perubahan tegangan pada arus tetap pada proses anodisasi. Proses pembentukan lapisan oksida dapat dibagi dalam 4 tahapan, yaitu :

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. Akibatnya adanya penebalan maka hambatan yang ditimbulkan menjadi lebih besar. Hal ini yang menimbulkan penurunan arus selama pembentukan *barrier layer*.
2. Setelah *barrier layer menebal*, mulailah 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 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 sempurnanya morfologi lapisan oksida. Peningkatan ini terjadi sampai suatu saat arus yang mengalir akan konstan saat struktur berpori telah terbentuk sempurna, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.



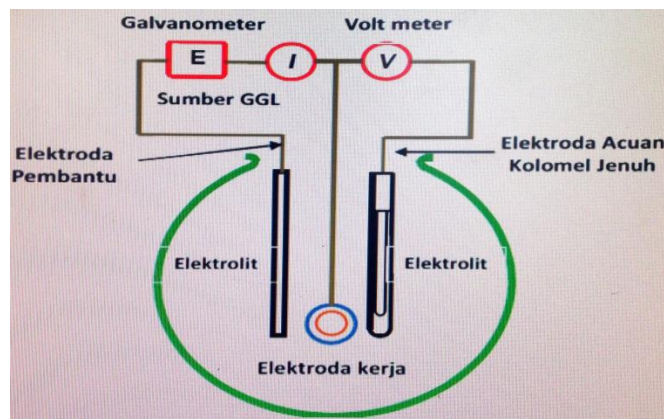
Gambar 2.6 Tahapan pembentukan lapisan oksida (a) Pembentukan *barrier layer* (b) Awal pembentukan pori-pori, (c) Pori mulai terbentuk dan berkembang, (d) Pori yang terbentuk semakin stabil.
(Sipayung, 2008)

2.2.11 Korosi

Korosi merupakan kerusakan material yang disebabkan oleh interaksi / reaksi material dengan media sekelilingnya. Korosi merupakan hal yang tidak dapat dihindarkan tetapi dapat dikendalikan. Hal yang penting dalam mengendalikan korosi adalah pemilihan bahan secara tepat serta perawatan yang teratur. Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan pengecatan, pelapisan dengan bahan plastic maupun logam, dan lain-lain. Dari berbagai pengendalian

tersebut, maka dapat dihitung laju korosi suatu logam, sehingga akan diketahui tingkat ketahanan material tersebut.

Pada umumnya laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan 2 cara, yaitu dengan metode kehilangan berat (*weight losses*) dan metode elektrokimia. Pengujian laju korosi dengan metode *weight losses* ialah dengan cara menimbang hilangnya berat bahan pada selang waktu kontak tertentu dengan lingkungannya tetapi metode ini memerlukan waktu yang lama. Metode elektrokimia adalah dengan menggunakan teknik pengukuran-pengukuran listrik seperti pengukuran arus (I), potensial (V) dan hambatan (R). Salah satu cara sederhana menentukan laju korosi adalah pengukuran perubahan hambatan logam yang terkorosi terhadap waktu selama selang waktu tertentu. Ketika suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, nilai potensial elektrodanya akan berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih diantara keduanya disebut polarisasi. Alat yang digunakan pada metode ini yaitu dengan alat uji tipe sel tiga elektroda. Skema alat uji ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema alat uji korosi Sel Tiga Elektroda (Masruri, 2011)

Pengujian dengan metode elektrokimia ini dilakukan dengan mengukur intensitas arus korosi (I_{kor}) benda uji di dalam lingkungannya. Nilai intensitas arus korosi (I_{kor}) sangat penting karena berbanding langsung dengan besarnya laju korosi logam di dalam lingkungannya.