BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Anodizing*

Anodizing merupakan proses elektrolisis untuk mendapatkan oksida logam tersebut diatas permukaannya (Sato, 1997:4), dimana logam yang akan di-*anodizing* sebagai anoda. Pada *anodizing* dihasilkan lapisan oksida pada anoda.

Pada dasarnya, proses *anodizing* merupakan proses rekayasa permukaan yang bertujuan untuk memproteksi logam dari korosi. Proses *anodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam (Faraday, 1834).

Prinsipnya proses *anodizing* pada Al menghasilkan lapisan Al oksida (Al_2O_3) yang terbentuk menjadi lebih tebal pada permukaan Al ketika arus listrik dan tegangan listrik tertentu dialirkan pada larutan elektrolit. Dengan lapisan oksida yang semakin tebal akan terbentuk lapisan yang lebih tahan korosi.

2.1.1 Mekanisme *Anodizing*

Mekanisme proses dari *Anodizing* menggunakan prinsip elektrolisis. Prinsip dasar elektrolisis adalah bagian dari sel elektrokimia dan berlawanan dengan prinsip dasar sel volta, yaitu sebagai berikut: (Boyer, 1986)

1. Proses elektrolisis, mengubah energi listrik menjadi energi kimia.
2. Reaksi elektrolisis merupakan reaksi spontan, karena melibatkan energi listrik dari luar.

Dalam proses *Anodizing* ini yang berperan sebagai anoda adalah alumunium (Al) sedangkan yang berperan sebagai katoda adalah Titanium (Ti) dan yang melapisi adalah Titanium (Ti). Reaksi elektrolisis *Anodizing* Al adalah sebagai berikut:

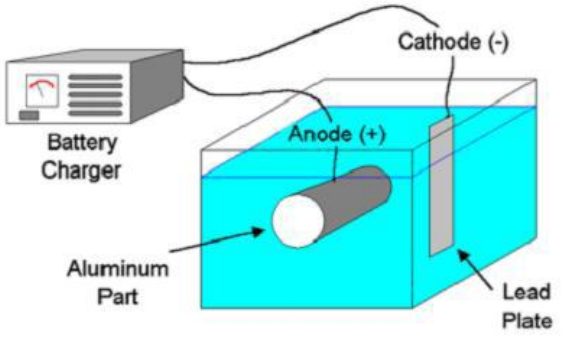
$$H_3PO_4 \rightarrow 3H^+ + PO_4^{3-}$$

Katoda (Ti) : $Ti^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Ti$

Anoda (Al : $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$

Al (anoda) → Ti (katoda)

Jika di gambarkan proses *anodizing* di tampil pada gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Skema Ilustrasi Proses *Anodizing*
Sumber : ASM Page *Anodizing*, 2001

Keterangan :

1. Elektron bergerak dari kutub (-) sumber arus ke katoda, pada katoda terjadi reaksi reduksi.
2. Di anoda terjadi reaksi oksidasi dan elektron mengalir menuju ke sumber arus listrik.
3. Ion (+) bergerak maju ke kutub (-) dan ion (-) bergerak menuju kutub (+), molekul pelarut, bebas tempatnya ada di anoda maupun katoda.
4. Pada anoda akan terjadi endapan Al dan Ti pada katoda akan terus menerus larut dan menempel pada anoda.

$$\text{Katoda (Ti)} : Ti^{2+} + 2\,e^{-} \rightarrow Ti$$

$$Ti^{2+} + O_2 \rightarrow TiO_2$$

Logam pelapis (Ti) akan mengendap pada permukaan Al yang terendam elektrolit, sehingga jika dibiarkan maka reaksi tersebut akan terus berlangsung sebelum tegangan listrik dimatikan atau logam Ti pada anoda yang melapisi Al sampai habis. Setelah proses *anodizing* tersebut produk yang diperoleh adalah Al yang dilapisi oleh Ti. Ti tersebut yang nantinya dapat memproteksi atau melindungi Al dari korosi.

Sebelum melakukan proses *anodizing*, dilakukan terlebih dahulu proses pre-treatment. Proses ini merupakan langkah awal sebelum proses *anodizing*. Tujuan dari pre-treatment ini adalah agar Al hasil *anodizing* menjadi baik. Proses pre-treatment antara lain, adalah:

1. *Degresing*

   Degreasing maerupakan langkah pertama yang dilakukan dalam proses *anodizing*. *Degreasing* dilakukan untuk menghilangkan minyak atau lemak yang terdapat pada permukaan Al sebelum di *anodizing*. *Degreasing* dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat dengan temperatur 60^{o}C sampai 80^{o}C dan dilakukan selama 5 menit.

2. *Etching*

   Etching dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan lapisan oksida murni yang terdapat pada Al. Lapisan oksida murni Al akan hancur karena direndam dalam larutan basa kuat yang dalam hal ini digunakan larutan NaOH. Proses ini dilakukan pada temperatur 30^{o}C sampai 50^{o}C dan proses perendamannya dilakukan selama 5 menit.

3. *Desmuting*

   Desmutting adalah proses pembersihan bercak-bercak hitam akibat reaksi dari paduan Al dengan NaOH yang dilakukan pada proses *etching. Desmutting* dilakukan dengan cara merendam spesimen ke dalam larutan asam nitrat pada temperatur 25^{o}C - 40^{o}C selama 5 menit.

4. *Rinsing*

   Rinsing adalah proses pembersihan benda kerja (Al) dengan menggunakan air murni (*destilated water*). Tujuannya adalah untuk membersihkan benda kerja dari sisa-sisa zat kimia yang terbawa dari proses yang dilakukan sebelumnya. *Rinsing* dilakukan pada setiap proses yang sudah dilakukan baik *pre-treatment* (*degreasing, etching, desmutting*) ataupun *anodizing*.

Pada saat pembentukan lapisan oksida pada aluminium ditunjukkan pada reaksi berikut:

$$2Al \rightarrow 2Al^{3+} + 6e^{-}$$

Dan hasil reaksi pada katoda memproduksi gas hydrogen:

$$6H^{+} + 6e^{-} \rightarrow 3H_2$$

Reaksi anoda pada logam induk/batas oksida (reaksi anion oksigen dengan Al)

$$2Al + 3O^{2-} \rightarrow Al_2O_3 + 6e-$$

Pada batas lapisan oksida (kation Al bereaksi dengan molekul air)

$$2Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H^{+}$$

Hasil dari reaksi ini pada Al

$$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$$

2.1.2 Macam - Macam *Anodizing*

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah merubah permukaan alumunium menjadi alumunium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda di dalam sel elektrolisis. Proses *anodizing* terbagi menjadi tiga yaitu *Chromic Acid Anodize, Sulfuric Acid Anodize, Hard Anodize*.(Boyer, 1986)

- *Chromic Acid Anodize*

Tipe ini menggunakan elektrolit *Chromic Acid*, menghasilkan lapisan hanya sekitar 0,5 sampai 2,5 mikron. Pada saat proses berlangsung, 50 % lapisan oksida terintregasi ke dalam subtrat dan 50% pertumbuhan lapisan keluar. Lapisan yang dihasilkan cenderung lebih ulet dibanding tipe lain.

- *Sulfuric Acid Anodize*

Prinsip dasar operasi ini sama dengan proses asam kromik. Konsentrasi asam sulfur (1,84 sp/gr) dalam larutan anodizing adalah 12 sampai 20% berat larutan mengandung 36 liter (9,5 gal) H_2SO_4 per 380 liter atau (100 gal) dari larutan dapat menjadi lapisan anodik ketika di-*seal* pada didihan larutan dikromat.

- *Hard Anodize*

Hard anodizing adalah jenis *anodizing* yang menghasilkan lapisan oksida yang memiliki kekerasan dan ketahanan korosi yang lebih baik bila dibandingkan dengan jenis *anodizing* lainnya. Perbedaan antara *sulfuric acid anodizing* dengan proses *hard anodizing* adalah temperatur operasi *hard anodizing* dilakukan dengan temperatur elektrolit 0 - 10^oC.

Anodizing dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber arus yang digunakan, yaitu : (Sato, 1997:30)

1. AC *anodizing*

   AC *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus bolak-balik (*alternating current*). Proses pembentukan oksida pada AC *anodizing* lebih lambat dari pada DC *anodizing*. Pelapisan dengan *anodizing* tipe ini bertujuan untuk memeperoleh hasil pelapisan dan juga kekerasan yang rendah. Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan aluminium foil.

2. DC *anodizing*

   DC *anodizing* adalah *anodizing* dengan menggunakan arus searah (*direct current*), Karena kutub positif selalu berada pada benda kerja maka proses *anodizing* tipe ini memerlukan waktu yang lebih singkat apabila dibandingkan dengan tipe AC anodizing dalam proses pembentukan lapisan oksida. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

   a. Continous anodizing

   Continous anodizing adalah jenis anodizing yang dilakukan dengan besar arus yang dialirkan secara konstan selama proses anodizing.

b. Pulse Anodizing

Pulse anodizing adalah jenis anodizing yang dilakukan dengan memberikan rapat arus naik turun secara periodik. Pulse anodizing ini dilakukan dengan merubah rapat arus yang diberikan secara tepat.

2.2 Aluminium (Al)

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

Al mempunyai konduktivitas panas yang baik. Sebuah penghantar listrik yang terbuat dari Al hanya membutuhkan separuh dari berat tembaga untuk kapasitas hantaran yang sama. Aluminium mempunyai daya ikat yang tinggi dengan oksigen. Pada udara terbuka yang kering, aluminium akan membungkus dirinya sendiri dengan suatu lapisan oksida. Sifat-sifat yang dimiliki aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Sifat Umum Al

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm^3
Massa jenis pada wujud cair	2,735 gram/cm^3
Titik lebur	660,32^oC
Titik didih	2519 ^oC
Kalor jenis (25^oC)	24,2 J/mol K
Resistansi listrik (20^oC)	28,2 nΩ m
Konduktivitas thermal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian thermal (25^oC)	23,1 µm/m K
Modulus young	70 N/m^2
Modulus geser	26 N/m^2
Kekerasan skala Vickers	167 VHN
Kekerasan skala Brinnel	245 BHN

Sumber : Wisnu (2012: 4)

2.2.1 Aluminium dan Paduannya

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang umum digunakan adalah standar Al Association of America (AA) yang didasarkan atas standar yang terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*) (Surdia, 1999:135).

Paduan Al berdasarkan cara pembuatannya yaitu :

1. Aluminium *wrongt alloy* (lembaran)

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

2. Aluminium *casting alloy* (batang cor)

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

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

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang ditambahkan.
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dari Al murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S, sebagai contoh 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063.

Al dapat diklasifikasikan menurut paduannya, sebagai berikut :

1. Jenis Al-murni (seri 1xxx)

   Al jenis ini kemurniannya 99,0% hingga 99,99%. Memiliki sifat tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik serta mampu las yang baik. Namun kekuatannya yang relatif rendah.

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

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

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

   Paduan Al-Mn adalah jenis yang tidak dapat di *heat-treatmen*t sehingga untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada saat proses pembuatan. Sangat mudah untuk dibentuk, memiliki daya tahan korosi, mampu

potong dan sifat mampu las yang baik. Kekuatan pada paduan jenis ini lebih unggul dariapada Al murni. Banyak dipakai untuk pipa, tangki minyak.

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

   Paduan Al-Si termasuk jenis Al yang tidak dapat di *heat-treatment*. Paduan jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Selain itu paduan ini juga mudah ditempa, dan memiliki koefisien pemuaian panas yang rendah.

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

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

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

   Paduan Al dengan Magnesium dan silikon ini relatif mudah untuk dibentuk. Paduan jenis ini memeberikan sifat penuangan, kekuatan dan ketahanan korosi yang baik.

2.2.2 Aluminium Paduan Seri 6061

Al paduan seri 6061 merupakan paduan yang paling luas pemakaiannya pada seri 6XXX. Mempunyai karakteristik ketangguhan yang baik, kekuatannya sedang hingga tinggi dan paduan yang *heat-treatable*. Biasanya digunakan untuk komponen transportasi karena sifat permesinan yang bagus, alat-alat *outdoor* dan sifat mampu bentuk yang baik dan banyak digunakan untuk rangka-rangka konstruksi. Selain itu Al seri ini sangat mudah di las dan disambung dengan beberapa metode, karakteristik *finishing* yang baik dan juga bagus untuk *anodizing* dengan sifat pewarnaan yang baik dan juga kekerasan lapisan yang tinggi. Al seri 6061 memliki berat jenis sebesar 2.7 g/cm^3 sementara konduktivitas termal dan ketahanan listrik Al seri ini masing – masing sebesar 173 W/m.K dan 3.7 – 4.0 $x10^{-6}$ Ω.cm.

Tabel 2.2 Kandungan unsur pada Al 6061

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
Kandungan (%)	0.4 s/d 0.8	0.7	0.15	0.15	0.8 s/d 1.2	0.25	0.15	0.04	*balance*

Sumber : matweb, 2014

2.3 Titanium (Ti)

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Logam ini kuat, berkilau, tahan korosi termasuk tahan terhadap air laut dengan ciri-ciri warna putih metalik keperakan. Titanium mempunyai berbagai keunggulan sebagai berikut (Wisnu, 2012) :

a) Salah satu karakteristik Titanium yang terkenal adalah dia sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja.
b) Kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi daripada paduan aluminium.
c) Tahan suhu tinggi. Titik lebur titanium adalah 1941 K (1668^{o}C)
d) Ketahanan korosi titanium lebih tinggi daripada aluminium dan baja.

Dari keunggulan-keunggulan tersebut, produksi titanium dalam bidang industri sudah tidak asing lagi karena titanium dapat dipakai dalam beberapa hal, sebagai berikut (Wisnu, 2012) :

- Industri

  Beberapa mesin pemindah panas (*heat exchanger*) dan bejana bertekanan tinggi serta pipa-pipa tahan korosi memakain bahan titanium.
- Kedokteran

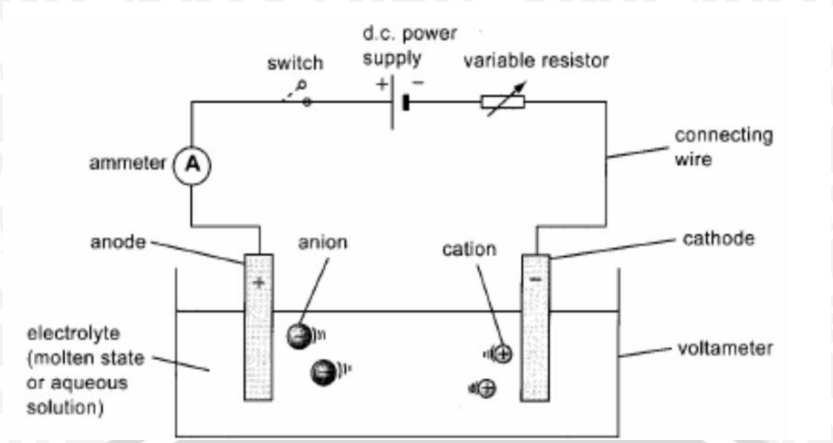
  Bahan implan gigi, penyambung tulang, pengganti tulang tengkorak, struktur penahan katup jantung.
- Mesin

  Material pengganti untuk batang piston.

2.4 Elektrolisis dan Reaksi Redoks

Elektrolisis adalah peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Sedangkan sel dimana terjadinya reaksi tersebut disebut sel elektrolisis. Sel elektrolisis terdiri dari larutan yang dapat menghantarkan listrik yang disebut elektrolit, dan dua buah elektroda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi, sedangkan pada elektroda katoda terjadi reaksi reduksi.

Dalam sistem elektrolisis, elektroda yang bermuatan positif disebut anoda dan yang negatif disebut katoda. Selama proses elektrolisis berlangsung, terjadi reaksi reduksi pada katoda dan oksidasi pada anoda. Ion-ion bermuatan negatif mengalir ke anoda untuk di oksidasi, sedangkan ion-ion bermuatan positif mengalir ke katoda untuk direduksi (Wicaksono, 2007:9). Skema proses elektrolisi dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Skema Cara Kerja Elektolisis
Sumber: Wicaksono (2007:10)

Cara kerja sel elektrolisis adalah seperti yang terdapat pada gambar 2.2 diatas :

1. Sumber arus listrik mengalirkan elektron dari anoda ke katoda. Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit sehingga pada permukaan katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation.
2. Pada saat yang sama, anion (ion negatif) pada larutan elektrolit melepaskan elektron. Dan melalui anoda, elektron dikembalikan ke sumber arus. Dengan demikian, pada permukaan anoda terjadi reaksi oksidasi.

Reaksi redoks didefinisikan sebagai sebuah proses yang melibatkan perpindahan elektron dari satu reaktan ke raktan lainnya (Purtadi, 2006:95).

Pada reaksi redoks terjadi beberapa fenomena, yaitu :

a. Reaksi Reduksi :

- Terjadi pengurangan (turunnya) bilangan oksidasi.
- Pada sel elektrokimia, reduksi terjadi pada sel katoda.
- Terjadi peristiwa penangkapan elektron.

b. Reaksi Oksidasi

- Terjadi penambahan bilangan oksidasi.
- Pada sel elektrokimia, oksidasi terjadi pada sel anoda.
- Terjadi peristiwa pelepasan elektron.

2.5 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit

umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat.

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Hal ini disebabkan karena zat terlarut akan terurai sempurna (derajat ionisasi = 1) menjadi ion-ion sehingga dalam larutan tersebut banyak mengandung ion-ion. Larutan elektrolit lemah adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan lemah. Hal ini disebabklan karena zat terlarut akan terurai sebagian (derajat ionisasi << 1) menjadi ion-ion sehingga dalam larutan tersebut sedikit mengandung ion.

2.5.1 Elektrolit Asam

Elektrolit asam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (H^+). Elektrolit-elektrolit asam tersebut bila dilarutkan dalam pelarut (biasanya adalah air) maka akan terurai menjadi ion H^+, contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4) dan asam klorida (HCl). Berdasarkan kandungan ion H+, elektrolit asam dapat dibagi tiga, yaitu asam monoprotik, asam diprotik, dan asam tripotik, seperti berikut penjelasannya:

1. Asam Monoprotik

   Asam ini merupakan asam dengan molekul yang dapat menyumbangkan satu proton ke sebuah molekul air. Contoh asam monoprotik adalah HCl yang larut dalam air. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya. Oleh karena alasan inilah, asam klorida merupakan reagan pengasam yang baik.

2. Asam Diprotik

   Asam diprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang dua proton ke dalam molekul air. Contoh asam diprotik adalah asam sulfat. Asam sulfat memiliki sifat yang sangat korosif (merusak logam). Sering juga digunakan untuk membersihkan bekas-bekas kotoran ataupun lemak pada permukaan logam. Asam sulfat mengalami disosiasi dalam air melalui dua tahap.

3. Asam Triprotik

   Asam triprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang tiga proton ke sebuah molekul air. Salah satu contoh asam tripotik adalah asam fosfat. Asam fosfat (H3PO4) merupakan salah satu asam yang dapat digunakan dalam proses *anodizing*. Molekul dari asam fosfat ini terdiri dari tiga atom hidrogen, satu atom fosfor dan empat

atom oksigen. Asam fosfat merupakan asam yang mengalami disosiasi dalam air dalam tiga tahap :

$$H_3PO_4 + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + H_2PO_4^-$$
$$H2PO_4^- + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + HPO_4^-$$
$$HPO_4^- + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + PO_4^-$$

2.5.2 Elektrolit Basa

Elektrolit basa adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (OH^-). Contoh dari elektrolit basa adalah NaOH (caustic soda) apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion Na^+ dan ion OH^-.

2.5.3 Elektrolit Garam

Elektrolit basa adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion-ion selain (H^+) dan (OH^-). Contoh dari elektrolit garam adalah NaCl apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion Na^+ dan ion Cl^-.

2.6 *Annealing*

Annealing adalah proses perlakuan panas pada suhu tertentu dibawah titik leburnya, jika penggunaannya pada aluminium 6061 maka suhunya antara 100 - 500ºC dengan waktu penahanan tertentu dan media pendingin udara. Perubahan yang dihasilkan tidak menyebabkan perubahan yang cukup berarti dalam struktur mikro. Efek utama pemulihan yaitu menghilangkan tekanan akibat pengerjaan dingin. Pada suhu tertentu, laju penurunan sisa pengerasan regangan yang tercepat di awal dan menurun saat waktu lebih lama.

Jumlah pengurangan tegangan sisa yang terjadi dalam waktu tertentu meningkat dengan meningkatnya suhu. Ketika beban yang menyebabkan deformasi plastis dilepaskan, semua deformasi elastis tidak hilang. Hal ini disebabkan orientasi yang berbeda dari kristal, yang tidak akan memungkinkan beberapa dari mereka untuk kembali saat beban dilepaskan. Ketika suhu meningkat, ada beberapa atom-atom elastis yang mengurangi sebagian besar tegangan dalam. Dalam beberapa kasus mungkin ada sedikit beban plastis, yang dapat mengakibatkan sedikit peningkatan kekerasan dan kekuatan (Sidney H. Avner,1974: 130).

Tujuan diberikannya perlakuan *annealing* sebelum dilakukan proses *anodizing* adalah untuk membuat peningkatan ukuran butiran dan permukaan menjadi lebih kasar sehingga batas butir menjadi lebih besar (Poinern, 2011).

2.7 Tegangan listrik

Selama proses *anodizing* aluminium hal yang perlu diperhatikan adalah struktur oksida sangat sensitif merespon setiap perubahan dalam aplikasi tegangan listrik. Jika aluminium di *anodizing* dengan menggunakan tegangan listrik 15 volt dan kemudian dinaikkan menjadi 25 volt, maka akan terjadi perubahan pada struktur dari lapisan oksida. Dengan pemberian tegangan yang semakin besar ada proses anodizing, maka terjadi beda potensial yang semakin besar yang mengakibatkan energi ionisasi dalam larutan elektrolit semakin besar pula. Energi ionisasi yang semakin besar tersebut akan dengan mudah menciptakan energi kinetik yang bergerak dan menumbuk permukaan aluminium yang lama-kelaman akan membentuk porous yang semakin banyak dan menyebabkan kekasaran permkaan aluminium semakin meningkat.

2.8 Korosi

Korosi merupakan proses redoks pada permukaan logam dan lingkungannya. Korosi atau pengkaratan adalah kerusakan atau degradasi logam akibat bereaksi dengan lingkungan yang korosif. Penyelidikan tentang sistem elektrokimia telah banyak membantu menjelaskan mengenai korosi ini, yaitu reaksi kimia antara logam dengan zat-zat yang ada di sekitarnya atau dengan partikel-partikel lain yang ada di dalam matrik logam itu sendiri. Jadi dilihat dari sudut pandang kimia, korosi pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan beroksigen. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi.

Reaksi kimia pada aluminium yang terkorosi pada suasana asam:

$$2Al_{(s)} + 6HCl_{(aq)} - 2AlCl_{3\,(aq)} + 3H_{2\,(g)}$$

$$2AlCl_{3\,(aq)} - 2Al^{3+}_{\ (aq)} + 6\,Cl^{-}_{\ (aq)}$$

seterusnya :

$$2Al_{3\,(aq)} + 6H_2O_{\,(l)} - 2Al(OH)_{3\,(s)} + 6\,H^{+}$$

$$2Al(OH)_{3\,(s)} - Al_2O_{3\,(s)} + 3\,H_2O_{\,(l)}$$

2.8.1 Penyebab Korosi

Faktor yang berpengaruh dan mempercepat korosi yaitu :

a. Air dan kelembapan udara

Air merupakan salah satu faktor penting untuk berlangsungnya proses korosi. Udara yang banyak mengandung uap air (lembap) akan mempercepat berlangsungnya proses korosi.

b. Elektrolit

Elektrolit (asam atau garam) merupakan media yang baik untuk melangsungkan transfer muatan. Hal itu mengakibatkan elektron lebih mudah untuk dapat diikat oleh oksigen di udara. Oleh karena itu, air hujan (asam) dan air laut (garam) merupakan penyebab korosi yang utama.

c. Adanya oksigen

Pada peristiwa korosi adanya oksigen mutlak diperlukan.

d. Permukaan logam

Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan logam yang licin dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda.

e. Letak logam dalam deret potensial reduksi

Korosi akan sangat cepat terjadi pada logam yang potensialnya rendah, sedangkan logam yang potensialnya lebih tinggi justru lebih awet.

2.8.2 Bentuk Korosi

Berikut merupakan beberapa bentuk korosi yang terjadi:

1. *Uniform* Attack

Uniform corrosión / attack merupakan jenis korosi berupa reaksi kimia atau elektrokimia yang biasa terjadi pada permukaan material atau pada area yang lebih luas. Metal akan menipis dan kemudian akan rusak.

Gambar 2.3 *Uniform attack*
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

2. *Galvanic Corrosion*

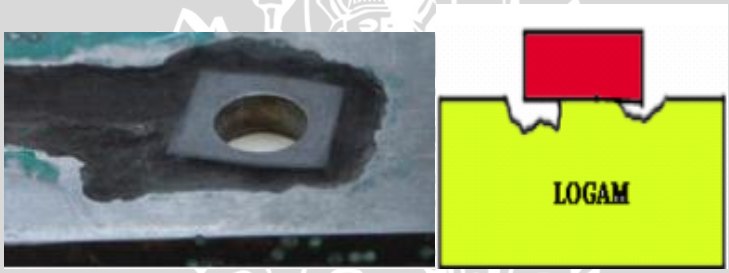
Korosi galvanis merupakan proses korosi secara elektrokimia apabila dua macam metal yang berbeda secara potensial. Elektron mengalir dari metal yang kurang mulia

(anodik) menuju metal yang lebih mulia (katodik). Akibatnya metal yang lebih mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron.

Gambar 2.4 Korosi Galvanik
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

3. *Crevice Corrosion*

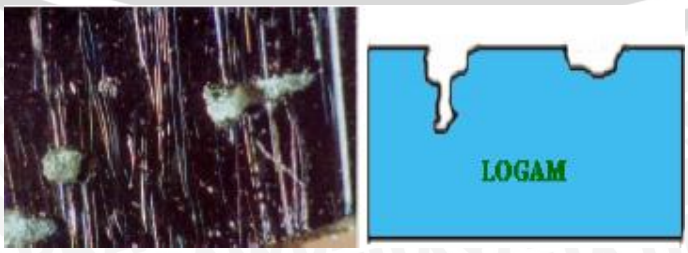
Korosi celah merupakan jenis korosi yang tempat terjadinya proses elektrokimia pada celah atau daerah terlindungi dari permukaan. Tipe ini biasanya menyerang pada tempat dengan volume kecil (*microenvirotments*).



Gambar 2.5 Korosi Celah
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

4. *Pitting*

Pitting merupakan jenis korosi yang ekstrim yang menyerang metal sehingga membentuk lubang kedalam atau biasa disebut sumuran. *Pitting* adalah salah satu jenis korosi yang amat destruktif disebabkan susah diprediksi, dideteksi dan pencegahannya. Pitting biasanya bertumbuh sesuai arah gravitasi membentuk arah horisontal dari permukaan, lihat gambar berikut.



Gambar 2.6 Korosi Sumuran
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

Tahapan korosi pitting adalah sebagai berikut:

1. Inisiasi Pit. Sebuah lubang awal dapat terbentuk pada permukaan ditutupi oleh lapisan oksida pasif sebagai akibat dari berikut:
    - Kerusakan mekanis dari film pasif disebabkan oleh goresan. Reaksi Anodik dimulai pada permukaan logam terkena elektrolit. Sekitar permukaan dipasifasi bertindak sebagai katoda.
    - Partikel dari kedua fase (non-logam inklusi , inklusi intermetalik, partikel logam) muncul pada permukaan logam. Partikel-partikel ini mempercepat sepanjang batas butir dapat berfungsi sebagai anoda lokal menyebabkan korosi galvanik lokal dan pembentukan lubang awal.
    - Penekanan di daerah lokal dalam bentuk dislokasi muncul di permukaan dapat menjadi anoda dan memulai lubang.
    - Lingkungan non-homogen dapat membubarkan film pasif di lokasi tertentu di mana lubang awal bentuk.
2. Pertumbuhan Pit. Di hadapan lubang-lubang ion klorida yang berkembang

5. *Intergranular Corrosion*

Intergranular corrosion adalah jenis korosi yang lokasi penyeranganya sepanjang batas dari butiran (*grain boundaries*) material sementara butirannya tidak ada efek.

Gambar 2.7 Korosi Intergranular
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

6. *Erosion Corrosion*

Erosion corrosion merupakan kerusakan pada permukaan metal yang disebabkan aliran fluida yang sangat cepat, merusak permukaan metal dan lapisan film pelindung.

Gambar 2.8 Korosi Erosi
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

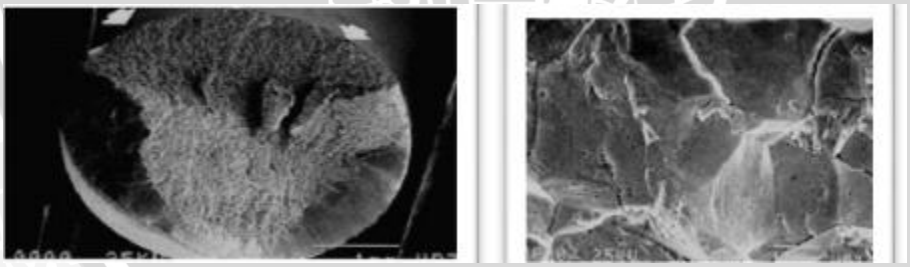
7. *Stress Corrosion*

Stress corrosion merupakan kombinasi antara tegangan tarik dan lingkungan korosif yang mengakibatkan kegagalan pada material, lihat gambar berikut.

Gambar 2.9 Korosi Tegangan
Sumber : Gadang Priyotomo (2009)

8. Hidrogen *Damage*

Hidrogen *damage* merupakan kerusakan mekanika dari metal akibat interaksi dengan hidrogen, lihat gambar berikut.



Gambar 2.10 Hidrogen *Damage*
Sumber : Gadang Priyotomo (2009)

2.9. Metode Elektrokimia

Jika teknik potensio dinamik memberikan pandangan menyeluruh tentang fenomena dan karakteristik korosi material, maka analisis Tafel difokuskan pada masalah akurasi penentuan laju korosi material. Dengan menggunakan teknik ini, scan tegangan terkontrol diaplikasikan pada material. Tegangan tersebut dimulai dari Ecorr dan diperbesar sampai

beberapa ratus milivolt baik dalam daerah anodik ataupun katodik. Pada percobaan, laju korosi optimum didapat dengan melakukan ekstrapolasi di antara kurva daerah anodik dan katodik. Nilai arus data korosi yang sebenarnya akan diinterpretasikan. Dalam hal ini laju oksidasi harus sama dengan laju reduksi.

2.9.1. Potensiostat

Potensiostat merupakan peralatan yang digunakan pada penelitian elektrokimia untuk mengamati fenomena yang terjadi selama proses korosi terjadi. Potensiostat akan mengaplikasikan tegangan listrik inputan kepada benda uji sehingga nilai arus selama proses korosi dapat diperoleh. Peralatan potensiostat biasanya dilengkapi dengan tiga jenis elektroda yaitu:

a. Elektroda kerja (*working electrode*): elektroda ini dibentuk dari logam benda uji yang akan diteliti, terkoneksi dengan sambungan listrik, dan permukaannya harus digerinda atau diamplas untuk menghilangkan oksida-oksida yang mungkin ada.
b. Elektroda bantu (*auxiliary electrode*): elektroda yang khusus digunakan untuk mengalirkan arus hasil proses korosi yang terjadi dalam rangkaian sel.
c. Elektroda acuan (*reference electrode*): Adalah suatu elektroda yang tegangan sirkuit terbukanya (*open-circuit potential*) konstan dan digunakan untuk mengukur potensial elektroda kerja.

Parameter elektrokimia yang diperoleh dari pengukuran polarisasi ini adalah Ecorr, Rp, Ba, Bc. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menentukan rapat arus korosi melalui persamaan Stern-Gerry :

$$i_{corr} = \frac{ba.bc}{2{,}303\,(ba+bc)}\frac{1}{Rp} \qquad (2-1)$$

Selanjutnya laju korosi ditentukan dengan persamaan:

$$V_{corr} = 3{,}27 \times 10^{-3}\ \frac{Ae}{\rho}\ i_{corr} \qquad (2-2)$$

Keterangan :

V_{corr} = laju korosi dengan satuan mm/*year* atau mmpy

Ae = massa ekivalen logam ($g.mol^{-1}.ek^{-1}$)

ρ = massa jenis logam ($g.cm^{-3}$)

i_{corr} = rapat arus korosi ($\mu A.cm^{-2}$)

Konversi : 1 mpy = 0,0245 mm/yr = 25,4 µm/yr = 2,90 nm/yr = 0,805 pm/SG

2.10 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesis bahwa dengan semakin besar tegangan listrik yang dialirkan pada proses *double hard anodizing* maka proses terjadinya pertukaran elektron semakin cepat, sehingga semakin meningkat pula ketebalan lapisan Ti pada Al yang mengakibatkan Al semakin keras dan terproteksi oleh Ti yang akan meningkatkan ketahanan korosinya.