

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Anodizing*

Menurut definisinya *anodizing* adalah proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrokimia yang merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Pada proses ini komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektroda dan elektrolit. Pada elektrolisis, katoda merupakan kutub negatif dan anoda merupakan kutub positif (Boyer, 1986).

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).

Pada 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 dan tahan aus. Untuk proses lebih lanjut lapisan ini dapat diberi pewarnaan sehingga dapat memberikan penampilan yang lebih menarik.

2.1.1 Macam – Macam *Anodizing*

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah merubah permukaan aluminium menjadi aluminium 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*

Larutan ini mengandung 3 – 10% berat CrO_3 larutan dibuat dengan mengisi tangki setengah dengan air dan melarutkan asam ini ke dalamnya kemudian menambahkan air sesuai dengan level operasi yang diinginkan.

- *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) H₂SO₄ per 380 liter atau (100 gal) dari larutan dapat menjadi lapisan anodik ketika di-*seal* pada dididihkan larutan dikromat.

- *Hard Anodize*

Perbedaan pertama antara proses asam sulfur dan *hard anodizing* adalah temperatur operasi dan kerapatan arus. Lapisan yang dihasilkan oleh *hard anodizing* lebih tebal dari pada *anodizing* konvensional dengan waktu yang sama. Proses *hard anodizing* menggunakan tangki asam sulfur *anodizing* berisi 10 sampai 15% berat asam, dengan atau tanpa tambahan. Temperatur operasi dari 0 sampai 10°C (32 sampai 50°F) dan kerapatan arus antara 2 dan 3,6 A/dm² (20 dan 36 A/ft²). Temperatur yang tinggi menyebabkan struktur yang halus dan pori yang banyak pada lapisan terluar dari lapisan anodik. Perubahan dari karakteristik lapisan ini akan mengurangi ketahanan aus secara signifikan dan menuju ke perihal ketebalan lapisan. Temperatur operasi yang besar menyebabkan diameter porositas membesar pula (T.Aerts, 2007)

Berdasarkan sumber arus listrik yang digunakan *anodizing* dibagi menjadi dua tipe, yaitu DC *anodizing* dan AC *anodizing* (Sato, 1997:30)

1. AC *anodizing*

Arus bolak-balik digunakan pada proses *anodizing* tipe ini. Pelapisan dengan *anodizing* tipe ini bertujuan untuk memperoleh hasil pelapisan dan juga kekerasan yang rendah. Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan aluminium foil.

2. DC *anodizing*

DC *anodizing* adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus searah, 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. *Continuous anodizing*

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

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.

2.1.2 Mekanisme Anodizing

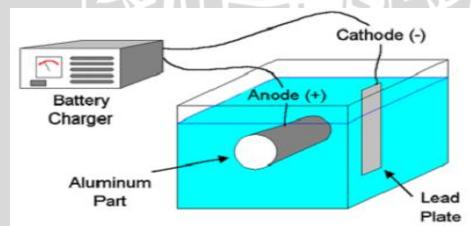
Mekanisme proses dari *Anodizing* menggunakan prinsip elektrolisis. Prinsip dasar elektrolisis adalah bagian dari sel elektrokimia dan berlawanan dengan prinsip dasar sel volta, yaitu sebagai berikut: (Boyer, 1986)

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 aluminium (Al) sedangkan yang berperan sebagai katoda adalah Titanium (Ti) dan yang melapisi adalah Titanium (Ti). Reaksi elektrolisis *Anodizing* Al adalah sebagai berikut:



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



Gambar 2.1 Skema Ilustrasi Proses *Anodizing*

Sumber : ATM 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.

Dari mekanisme diatas kita dapat mengetahui bahwa logam pelapisnya (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. Biasanya sesudah di *anodizing* logam Al tersebut tidak langsung dipakai tetapi perlu adanya pelapisan lagi yang berupa cat yang dapat memproteksi logam Al lebih baik lagi dan dapat tahan lama, selain itu gunanya pengecatan adalah juga untuk memperindah atau mempercantik logam tersebut sehingga mempunyai nilai estetika yang lebih tinggi karena lebih menarik.

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 adalah langkah awal 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°C sampai 80°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°C sampai 50°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°C - 40°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*.

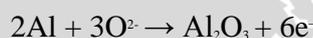
Pada saat pembentukan lapisan oksida pada aluminium ditunjukkan pada reaksi berikut:



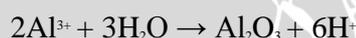
Dan hasil reaksi pada katoda memproduksi gas hydrogen:



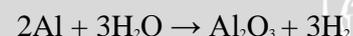
Reaksi anoda pada logam induk/batas oksida (reaksi anion oksigen dengan Al)



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



Hasil dari reaksi ini pada Al

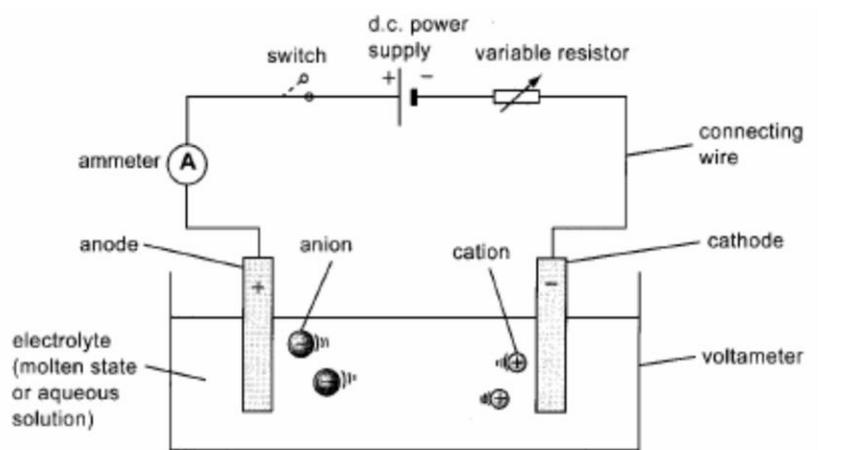


2.2 Elektrolisis

Elektrolisis yaitu peristiwa penguraian atas suatu larutan elektrolit yang telah dilaliri oleh arus listrik searah. 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 yang berfungsi sebagai katoda.

Reaksi-reaksi elektrolisis bergantung pada potensial elektroda, konsentrasi, dan over potensial yang terdapat dalam sel elektrolisis. Pada sel elektrolisis katoda bermuatan negatif, sedangkan anoda bermuatan positif. Kemudian kation direduksi di katoda, sedangkan anion dioksidasi di anoda. Elektrolisis mempunyai banyak kegunaan, di antaranya yaitu dapat memperoleh unsur-unsur logam, halogen, gas hidrogen dan gas oksigen, keudian dapat menghitung konsentrasi ion logam dalam suatu

larutan, digunakan dalam pemurnian suatu logam, serta salah satu proses elektrolisis yang populer adalah penyepuhan.



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

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

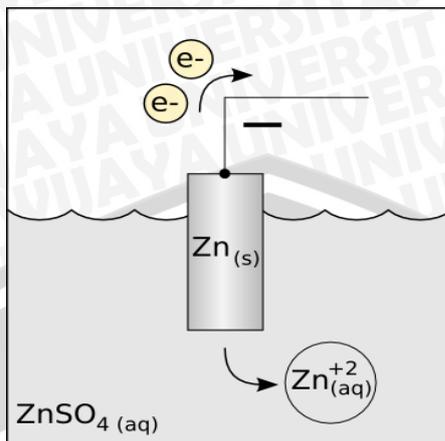
1. Sumber arus listrik searah memompa elektron dari anoda ke katoda. Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit sehingga pada permukaan katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation.
2. Pada saat yang sama, anion (ion negatif) pada larutan elektrolit melepaskan elektron.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

2.3 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda, kata-kata yang juga diciptakan oleh Faraday. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan ke sel elektrokimia tersebut.

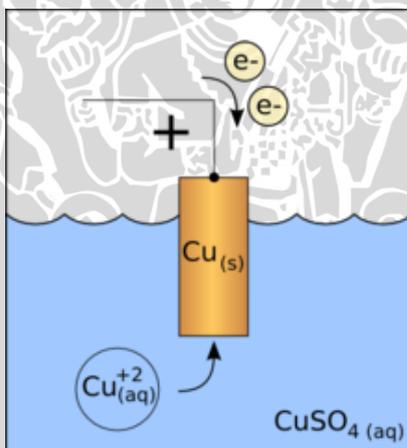
Anoda adalah elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron.

Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda mengalami oksidasi. Contoh salah satu anoda adalah seperti gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Contoh anoda
Sumber: Anonymous 1. 2012

Kebalikan dari anoda, katoda adalah kutub elektroda dalam sel elektrokimia, kutub ini bermuatan negatif. Contoh salah satu katoda seperti gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Contoh katoda
Sumber: Anonymous 2. 2012

2.4 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 disebabkan karena zat terlarut akan terurai sebagian (derajat ionisasi $\ll 1$) menjadi ion-ion sehingga dalam larutan tersebut sedikit mengandung ion. Tabel berikut menggambarkan larutan-larutan yang termasuk elektrolit kuat, elektrolit lemah dan non elektrolit.

2.4.1 Elektrolit Asam

Elektrolit asam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepaskan 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 triprotik, seperti berikut penjelasannya:

1. Asam Monoprotik

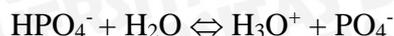
Asam ini merupakan asam dengan molekul yang dapat menyumbangkan satu proton ke sebuah molekul air. Contoh asam monoprotik adalah HCl yang larut dalam air. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya. Oleh karena alasan inilah, asam klorida merupakan reagen 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 triprotik adalah asam fosfat. Asam fosfat (H_3PO_4) 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 :



Tabel 2.1 Macam – macam Asam

Rumus Asam	Nama Asam	Reaksi Ionisasi	Valensi Asam	Sisa Asam
HF	Asam fluorida	$\text{HF} \rightarrow \text{H}^+ + \text{F}^-$	1	F^-
HCl	Asam klorida	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	1	Cl^-
HBr	Asam bromida	$\text{HBr} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Br}^-$	1	Br^-
HCN	Asam sianida	$\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$	1	CN^-
H_2S	Asam sulfida	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	2	S^{2-}
HNO_3	Asam nitrat	$\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$	1	NO_3^-
H_2SO_4	Asam sulfat	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	2	SO_4^{2-}
H_2SO_3	Asam sulfit	$\text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$	2	SO_3^{2-}
H_3PO_4	Asam pospat	$\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$	3	PO_4^{3-}
H_3PO_3	Asampospit	$\text{H}_3\text{PO}_3 \rightarrow 3 \text{H}^+ + \text{PO}_3^{3-}$	3	PO_3^{3-}
CH_3COOH	Asam asetat	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$	1	COOH^-
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	Asam oksalat	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	2	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	Asam benzoat	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$	1	COOH^-

Sumber: Anonymous 3

2.4.2 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^- .

2.4.3 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^- .

2.5 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan dua konsep reaksi yang berlangsung secara bersamaan yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi oksidasi adalah reaksi yang berhubungan dengan peningkatan bilangan oksidasi dan reaksi reduksi adalah bilangan yang berhubungan dengan penurunan bilangan oksidasi (Parthasaradhy, 1998:25).

Ada sumber lain mengatakan bahwa reaksi redoks adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia.

Reaksi Reduksi.

- Terjadi pengurangan (turunnya) bilangan oksidasi.
- Reaksi pengurangan oksigen.
- Pada sel elektrokimia, reduksi terjadi pada sel katoda.
- Terjadi peristiwa penangkapan elektron.
- Zat yang mengalami proses reduksi disebut oksidator.

Reaksi Oksidasi

- Terjadi penambahan bilangan oksidasi.
- Reaksi suatu zat dengan oksigen.
- Pada sel elektrokimia, oksidasi terjadi pada sel anoda.
- Terjadi peristiwa pelepasan elektron.

2.6 Tegangan listrik

Tegangan listrik adalah besarnya beda potensial antara dua titik yang dialiri oleh arus listrik yang diukur dalam satuan volt. Tegangan listrik timbul akibat adanya arus mengalir yang ditahan oleh suatu resistansi dalam suatu rangkaian. Ini seperti pipa yang bergetar karena adanya air yang mengalir, semakin deras air mengalir maka tegangan listrik pada pipa juga akan semakin kuat. Satuan tegangan listrik adalah Volt.

Secara teori dapat dinyatakan bahwa tidak ada arus listrik maka tidak akan ada tegangan listrik. Memang secara praktek pernyataan itu benar, tapi yang menjadi pernyataan mengapa pada dua kawat yang terbuka jika diukur tegangan listriknya ada tetapi arusnya tidak mungkin mengalir karena circuitnya terbuka (putus).

Di dalam pelajaran fisika sederhana rumus umum yang berlaku untuk menghitung tegangan listrik yaitu arus dikali tahanan. Atau bisa juga didapat dari daya (P) dibagi arus (I). Jika seringkali orang PLN berkata daya listrik rumah anda 1300 watt, maka dapat disimpulkan bahwa arus yang bisa mengalir di rumah kita maksimal sebesar 5,9A atau bulatnya 6A. Maka dari itu pada rumah yang dayanya 1300 watt dipasang MCB nya yang 6A sama pihak PLN, jadi pada saat pemakaian arus yang lebih dari 6A maka MCB akan turun dan memutuskan sumber arus listrik.

$$V = P / I \quad (2-1)$$

atau

$$V = I \cdot R \quad (2-2)$$

Keterangan :

V : Tegangan listrik (Volt)

I : Arus listrik (Ampere)

P : Daya listrik (watt)

(Marten, 2007)

2.7 Titanium (Ti)

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Dia merupakan logam transisi yang ringan, kuat, berkilau, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut dan klorin dengan warna putih- metalik-keperakan (Ratnawati, 2009). Ti digunakan dalam *alloy* kuat dan ringan (terutama dengan besi dan Al) dan merupakan senyawa terbanyaknya, Ti dioksida, digunakan dalam pigmen putih. Ti dihargai lebih mahal daripada emas karena sifat-sifat logamnya. Ada dua bentuk alotropi dan lima isotop alami dari unsur ini; Ti-46 sampai Ti-50 dengan Ti-48 yang paling banyak terdapat di alam (73,8%). Sifat Ti mirip dengan zirkonium secara kimia maupun fisika (anonymous 5, 2010).

Keunggulan dari logam titanium ini adalah :

- a) Sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja.
- b) Kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi daripada paduan Al.
- c) Tahan suhu tinggi. Ketika temperatur pemakaian melebihi 150°C maka dibutuhkan Ti karena Al akan kehilangan kekuatannya secara nyata.
- d) Tahan korosi. Lebih tinggi daripada Al dan baja.
- e) Dengan rasio berat-kekuatan yang lebih rendah daripada Al, maka komponen-komponen yang terbuat dari Ti membutuhkan ruang yang lebih sedikit dibanding Al (Campbell, F.C. et al. 2006)

Sedangkan tabel 2.2 berikut menunjukkan sifat Ti :

Tabel 2.2 Sifat Umum Ti

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor Atom	Titanium, ti, 22
Deret Kimia	Logam Transisi
Massa Atom	47,867 g/mol
Ciri-Ciri Fisik	
Fase	Solid
Massa Jenis	4.506 g/cm ³
Titik Lebur	1941 K (1668 °C, 3034 °F)
Titik Didih	3560 K (3287 °C, 5949 °F)

Sumber : anonymous4 , 2012

2.8 Aluminium (Al)

Al merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya (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.

Al murni mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,99% mempunyai kekerasan 17 BHN. Dengan memadukan Al dengan unsur logam lain maka akan menghasilkan paduan Al dengan kekerasan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, paduan Al dengan 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn yang biasa disebut paduan 2024 mempunyai kekerasan 120 BHN (Surdia. 1999). Selain itu dengan proses perlakuan panas dan pelapisan juga mampu meningkatkan kualitas dari logam Al. Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan sifat logam Al :

Tabel 2.3 Sifat Umum Al

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor Atom	aluminium, Al, 13
Berat Atom Standar	26.9815386(13) g·mol ⁻¹
Ciri-Ciri Fisik	
Fase	Solid
Massa Jenis	2.70 g·cm ⁻³
Titik Lebur	933.47 K (660.32 °C, 1220.58 °F)
Titik Didih	2792 K (2519 °C, 4566 °F)

Sumber : anonymous4 , 2012

2.8.1 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 *wrought 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% sampai dengan 99,99%. Memiliki sifat tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik serta mampu las dan mampu potong yang baik. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang relatif rendah.

2. Jenis paduan Al-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-treatment* 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 daripada Al murni. Banyak dipakai untuk pipa, tangki minyak.

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

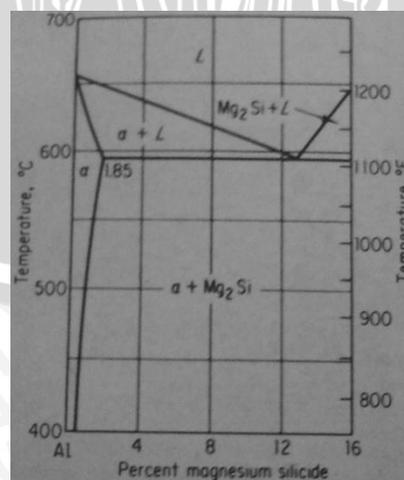
Paduan Al-Si termasuk jenis Al yang tidak dapat di *heat-treatment*. Paduan jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Selain itu paduan ini juga mudah ditempa, dan memiliki koefisien pemuaian panas yang rendah.

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-Mn dan Si (seri 6xxx)

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



Gambar 2.5 Diagram fase Al-Mn
Sumber: Avner, 1974:491

2.8.2 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 memiliki berat jenis sebesar 2.7 g/cm³ 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 2.4 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	<i>balance</i>

Sumber : matweb, 2012

Al seri 6061 merupakan jenis Al yang memiliki kategori sangat baik untuk dilakukan *hard anodizing* untuk keperluan perlindungan logam (Brace. 2001: 27).

2.9 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. Karat logam umumnya berupa oksida atau karbonat.(ardykristianto, 2011)

Untuk pengujian kali ini data yang ingin diambil adalah laju korosi. Perhitungan laju korosi dapat dilakukan dengan melihat rumus laju korosi secara umum (Hajati, 2006).

$$\text{Laju korosi} = (K \times W) / (A \times T \times D) \quad (2-3)$$

Keterangan:

K = Konstanta : $(8,76 \times 10^4, \text{ untuk milimeter/tahun})$

T = Waktu ekspos (jam)

A = Luas permukaan logam (cm^2)

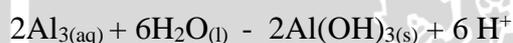
W = Kehilangan berat (gram)

D = Densitas logam (gram/cm^2)

Reaksi kimia pada aluminium yang terkorosi pada suasana asam:



seterusnya :



2.9.1 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.

c. 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.

d. 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.

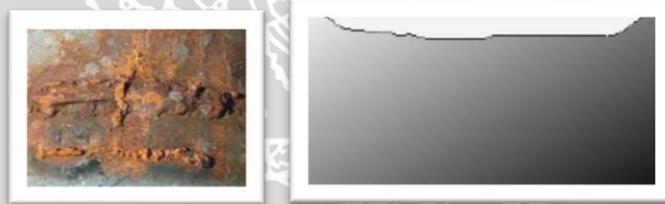
(ardykristianto,2011)

2.9.2 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 proses terjadi pada permukaan material atau pada area yang lebih luas. Metal akan menipis dan kemudian akan rusak.



Gambar 2.6 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 2.7 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 2.8 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 2.9 Korosi Sumuran
 Sumber : Arsip penelitian Gadang Priyotomo, Jakarta

Tahapan korosi pitted 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 penyerangannya sepanjang batas dari butiran (*grain boundaries*) material sementara butirannya tidak ada efek.



Gambar 2.10 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 2.11 Korosi Erosi
Sumber : Gadang Priyotomo (2008)

7. Stress Corrosion

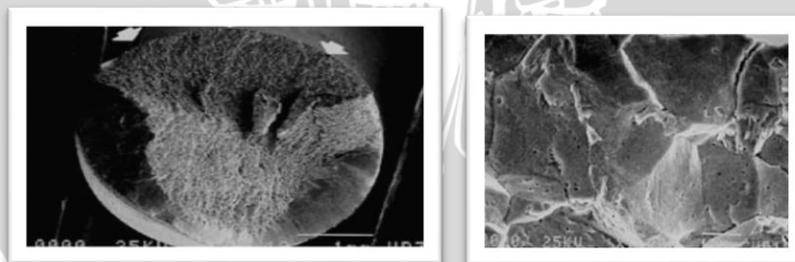
Stress corrosion merupakan kombinasi antara tegangan tarik dan lingkungan korosif yang mengakibatkan kegagalan pada material, lihat gambar berikut.



Gambar 2.12 Korosi Tegangan
Sumber : Gadang Priyotomo (2009)

8. Hidrogen Damage

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



Gambar 2.13 Hidrogen Damage
Sumber : Gadang Priyotomo (2009)

2.10 Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang

panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya berbeda.

$$\text{Laju Korosi} = k \frac{ai}{nD} \quad (2.4)$$

Keterangan :

Laju korosi dengan satuan mm/year atau mmpy

a : berat atom logam yang terkorosi (gram/mol)

I : i_{corr} = kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

k : Konstanta (0,129 untuk satuan mpy dan 0,00327 untuk satuan mmpy)

n : jumlah elektron yang dilepas pada logam terkorosi

D : massa jenis logam terkorosi (gram/cm^3)

Konversi : 1 mpy = 0,0245 mm/yr = 25,4 $\mu\text{m}/\text{yr}$ = 2,90 nm/yr = 0,805 pm/SG

Ketahanan logam terhadap korosi dibedakan menjadi 6 tingkatan seperti pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Perbandingan Mpy dengan *equivalent metric – rate corrosion*

Relative corrosion Resistance	Mpy	mm/y	$\mu\text{m}/\text{y}$	nm/h	pm/s
outstanding	<1	0,02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0,5-1	500-1000	50-100	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	100-500	50-200
unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

(NACE International, 2002)

2.11 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Metode kehilangan berat (*weight loss*) ini didasarkan pada perbedaan berat awal sebelum pengujian korosi dengan berat akhir setelah pengujian korosi. Laju korosi biasanya dinyatakan dalam mils per tahun (mpy), (Fontana, 1986).

$$CR = \frac{(KxW)}{(AxTxD)} \quad (2.5)$$

Keterangan :

CR : Laju korosi *mils per year* (mpy)

K : Konstanta (mpy=3,45x10⁶)

W : Kehilangan berat (gr)

D : Rapat jenis spesimen (g/cm³)

A : Luas spesimen (cm²)

T : Lama pengujian (*hour*)

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

2.12 Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Mikroskop elektron scanning (SEM) menggunakan sinar terfokus elektron energi tinggi untuk menghasilkan berbagai sinyal pada permukaan spesimen padat. Sinyal yang berasal dari interaksi elektron-sampel mengungkapkan informasi tentang sampel termasuk morfologi eksternal (tekstur), komposisi kimia, dan struktur kristal dan orientasi bahan yang membentuk sampel. Pada kebanyakan aplikasi, data dikumpulkan melalui area tertentu dari permukaan sampel, dan gambar 2 dimensi yang dihasilkan yang menampilkan variasi spasial dalam sifat ini. Daerah mulai dari sekitar 1 cm sampai 5 mikron lebar dapat dicitrakan dalam modus pemindaian menggunakan teknik SEM konvensional (perbesaran mulai dari 20X menjadi sekitar 30.000 X, resolusi spasial dari 50 sampai 100 nm). SEM juga mampu melakukan analisis terpilih lokasi titik pada sampel, pendekatan ini sangat berguna dalam kualitatif atau semi-kuantitatif menentukan komposisi kimia (menggunakan EDS), struktur kristal, dan orientasi kristal (menggunakan EBSD). (Carleton, 2011)

Uji SEM pada pengujian kali ini digunakan untuk melihat korosi pitting.



Gambar 2.14 *Scanning Electron Microscope*

Sumber: Anonymous 6

2.13 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesis bahwa dengan semakin besar tegangan listrik yang dialirkan pada proses *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.

