

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Anodizing*

Menurut Boyer definisi *anodizing* adalah merupakan 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.

Sedangkan menurut Faraday pada dasarnya, proses *anodizing* merupakan proses rekayasa permukaan yang bertujuan untuk memproteksi logam dari korosi. Proses *anodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam.

Pada prinsipnya proses *anodizing* pada aluminium menghasilkan lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) yang terbentuk menjadi lebih tebal pada permukaan aluminium ketika arus listrik dan *voltage* 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

2.2 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*.

2.2.1 *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. Larutan *anodizing* asam kromik digunakan pada:

1. pH antara 0,5 – 1
2. Konsentrasi klorida (sebagai natrium klorida) kurang dari 0,02%
3. Konsentrasi sulfat (H_2SO_4) kurang dari 0,05%

Total kandungan asam krom sebanding dengan pH dan *baume reading*, kurang dari 10%. Jika konsentrasinya berlebih bagian logam dicelupkan dan diganti dengan larutan baru. Parameter untuk proses *chromic acid anodize* adalah:

1. Konsentrasi elektrolit 50-100 gr/L CrO_3
2. Temperatur $37 \pm 5^\circ C$ ($100 \pm 9^\circ F$)
3. *Time in Bath* 40 – 60 menit
4. Tegangan yang digunakan meningkat dari 0 – 40 Volt dalam 10 menit
5. Penahanan pada tegangan 40 V untuk waktu keseimbangan
6. Kerapatan arus 0,15 – 0,30 A/dm² (1,4 – 4,3 A/ft²)

Keuntungan dari proses *chromic anodize* antara lain CrO_3 lebih sedikit agresif dibandingkan dengan aluminium dan H_2SO_4 , pada proses ini membentuk 0,7 μm dengan pengulangan yang tetap. Warna yang dihasilkan proses *chromic acid anodize* dapat berubah jika ditambahkan komposisi paduan yang berbeda serta perlakuan panas yang berbeda.

2.2.2 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. Larutan *anodizing* asam sulfur jangan digunakan kecuali:

1. Konsentrasi klorida (sebagai natrium klorida) kurang dari 0,02%
2. Konsentrasi aluminium kurang dari 20 gr/lit (2,7 ons/gal)

Parameter untuk proses *sulfuric acid anodize* adalah:

1. Konsentrasi elektrolit 15 % H_2SO_4
2. Temperatur 21 ± 1 oC (70 ± 2 oF)
3. *Time in Bath* 30 – 60 menit
4. Tegangan 15 – 22 Volt, tergantung dari paduannya.
5. Rapat arus yang digunakan 1 – 2 A/dm² (9,3 – 18,6 A/ft²)

2.2.3 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 batas ketebalan lapisan. Temperatur operasi yang besar menyebabkan lapisan tidak dapat larut dan dapat membakar dan merusak kerja. 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*

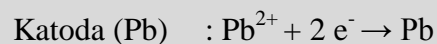
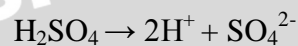
Pulse anodizing adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan memberikan rapat arus naik turun secara periodik. *Pulse anodizing* ini dilakukan dengan merubah rapat arus yang diberikan secara tepat.

2.3 Mekanisme Anodizing

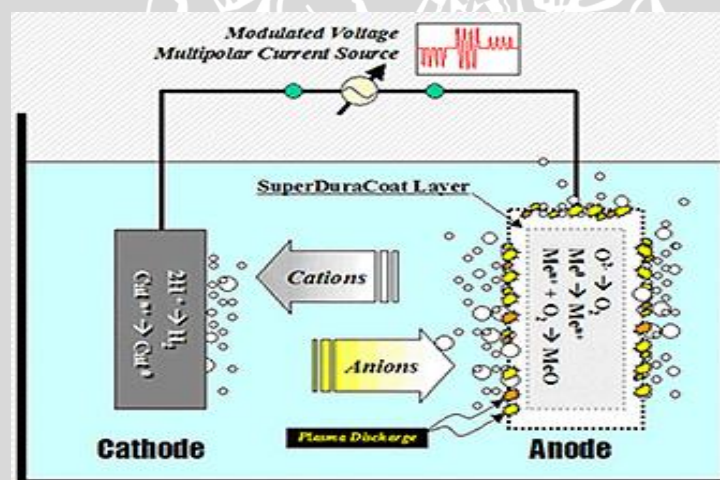
Mekanisme proses dari *Anodizing* menggunakan prinsip elektrolisis. Prinsip dasar elektrolisis adalah bagian dari sel elektrokimia dan berlawanan dengan prinsip dasar sel volta, yaitu sebagai berikut: [Boyer, 1986]

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 Timbal <Pb> dan yang melapisi adalah aluminium <Al>. Reaksi elektrolisis *Anodizing* Al adalah sebagai berikut:



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



Gambar 2.1 Skema Proses *Anodizing*
Sumber: Anonymous

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 katoda akan terjadi endapan Aluminium (Al) dan Al pada anoda akan terus menerus larut dan menempel pada katoda.

Dari mekanisme di atas kita dapat mengetahui bahwa logam pelapisnya (Al) akan mengendap pada permukaan Pb yang terendam elektrolit, sehingga jika dibiarkan maka reaksi tersebut akan terus berlangsung sebelum tegangan listrik dimatikan atau logam Al pada anoda yang melapisi Pb habis. Setelah proses *anodizing* tersebut produk yang diperoleh adalah Pb yang dilapisi oleh Al. Aluminium tersebut yang nantinya dapat memproteksi atau melindungi timbal dari korosi. Biasanya sesudah *dianodizing* logam Pb tersebut tidak langsung dipakai tetapi perlu adanya pelapisan lagi yang berupa cat yang dapat memproteksi logam Pb 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 aluminium hasil *anodizing* menjadi baik. Proses *pre-treatment* antara lain, adalah:

1. *Degreasing*

Degreasing adalah langkah awal yang dilakukan dalam proses *anodizing*. *Degreasing* dilakukan untuk menghilangkan minyak atau lemak yang terdapat pada permukaan aluminium 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 aluminium. Lapisan oksida murni aluminium 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*

Desmuting adalah proses pembersihan bercak-bercak hitam akibat reaksi dari paduan aluminium dengan NaOH yang dilakukan pada proses *etching*. *Desmuting*

dilakukan dengan cara merendam spesimen ke dalam larutan asam nitrat pada temperatur 25°C - 40°C selama 5 menit.

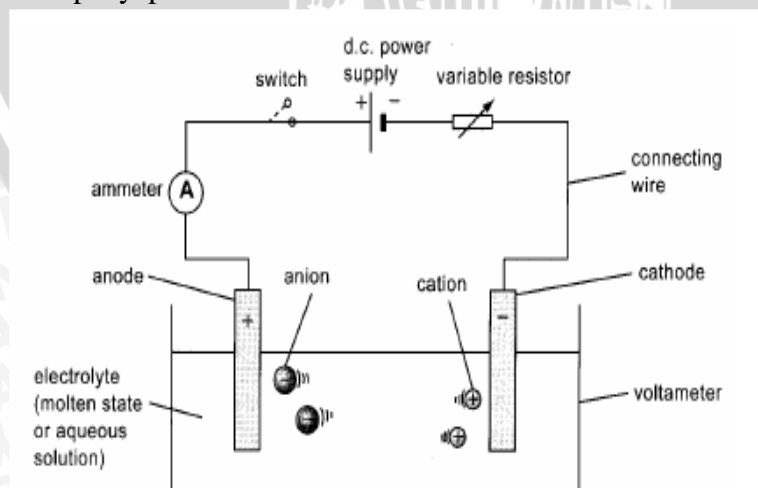
4. Rinsing

Rinsing adalah proses pembersihan benda kerja (aluminium) 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*.

2.4 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)

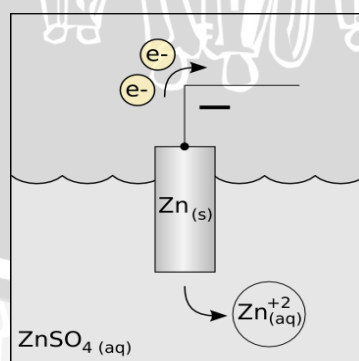
Cara kerja sel elektrolisis adalah seperti yang terdapat pada gambar 2.2 diatas :

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.

2.5 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.

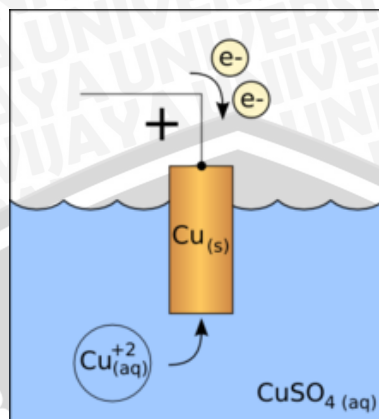
Anoda adalah elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda mengalami oksidasi. Contoh salah satu anoda adalah seperti gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Contoh anoda
Sumber: Anonymous 2. 2012

Kebalikan dari anoda, katoda adalah kutub elektroda dalam sel elektrokimia, kutub ini bermuatan positif (sehingga arus listrik akan mengalir keluar darinya, atau gerakan

elektron akan masuk ke kutub ini). Contoh salah satu katoda seperti gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Contoh katoda
Sumber: Anonymous 2. 2012

2.6 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.

Tabel 2.1 Klasifikasi Larutan

Elektrolit Kuat	Elektrolit Lemah	Non Elektrolit
HCl	CH ₃ COOH	(NH ₂) ₂ CO (urea)
HNO ₃	HF	CH ₃ OH (metanol)
HClO ₄	HNO ₂	C ₂ H ₅ OH (etanol)
H ₂ SO ₄	NH ₃	C ₆ H ₁₂ O ₆ (glukosa)
NaOH	H ₂ O	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
Ba(OH) ₂		(sakharosa)

Sumber: Anonymous 3

2.6.1. 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 (H₂SO₄), asam fosfat (H₃PO₄) 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 dengan reaksi sebagai berikut



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

:



Asam oksalat termasuk jenis asam dari senyawa organik yang dapat melepaskan ion H^+ dalam larutannya.

Pada proses *anodizing*, asam oksalat juga sering dipakai sebagai katalis atau biasa dipakai sebagai larutan penyangga yang bisa mempertahankan ion H^+ dari larutan asam utama tidak mudah menguap ke udara sehingga secara alamiah derajat keasaman juga bisa dipertahankan dan akan mempercepat reaksi pada *hard anodizing* dengan suhu yang relatif lebih tinggi.

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 :



2.6.2. 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^- .

2.6.3. 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^- .

2.7 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 (N.V Parthasaradhy, 1989:25).

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.

2.8 Arus listrik

Arus listrik adalah pergerakan muatan-muatan listrik. Sebenarnya yang bergerak adalah elektron-elektron dalam sebuah penghantar namun timbul asumsi bahwa arus listrik adalah pergerakan muatan listrik dari positif (+) ke negatif (-). Sedangkan tegangan listrik adalah beda potensial antara kutub positif (+) dengan negatif (-) (METALAST, 2000:2). Jika antara dua titik, diberi tegangan atau dibuat beda potensial maka akan mengalir arus listrik dari yang memiliki potensial lebih positif ke arah yang lebih negatif. Jadi intinya adalah arus listrik akan timbul jika ada beda potensial dari kedua kutub.

Satuan arus listrik adalah Ampere, yang diartikan sebagai banyaknya muatan (Q) yang mengalir tiap satuan waktu (t).

$$i = \frac{Q}{t} \quad (2-1)$$

Keterangan :

i	: arus yang mengalir	[Ampere]
Q	: banyaknya muatan listrik	[Coulomb]
T	: waktu	[detik]

Sementara berdasarkan hukum Ohm, arus listrik memiliki hubungan matematis dengan tegangan dan hambatan (Tripler : 2001).

$$V = i \times R \quad (2-2)$$

Keterangan :

V	: beda potensial (tegangan listrik)	[Voltage]
i	: arus listrik yang mengalir	[Ampere]
R	: hambatan	[Ohm]

Current density atau kerapatan arus adalah arus yang mengalir per satuan luas permukaan. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$J = \frac{i}{A} \quad (2-3)$$

Keterangan :

J	: <i>current density</i>	[A/dm ²]
i	: arus yang mengalir	[Ampere]
A	: luas permukaan spesimen	[dm ²]

2.9 Titanium

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). Titanium digunakan dalam *alloy* kuat dan ringan (terutama dengan besi dan aluminium) dan merupakan senyawa terbanyaknya, titanium dioksida, digunakan dalam pigmen putih. Titanium 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 Titanium mirip dengan zirkonium secara kimia maupun fisika (anonymous 5, 2010).

Keunggulan dari logam titanium ini adalah :

- Sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja.
- Kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi daripada paduan aluminium.
- Tahan suhu tinggi. Ketika temperatur pemakaian melebihi 150°C maka dibutuhkan titanium karena aluminium akan kehilangan kekuatannya secara nyata.
- Tahan korosi. Ketahanan korosi titanium lebih tinggi daripada aluminium dan baja.
- Dengan rasio berat-kekuatan yang lebih rendah daripada aluminium, maka komponen-komponen yang terbuat dari titanium membutuhkan ruang yang lebih sedikit dibanding aluminium

Sedangkan tabel 2.2 berikut menunjukkan sifat titanium :

Tabel 2.2 Sifat Umum Titanium

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 : anonymous5 , 2012

2.10 Aluminium

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

Aluminium mempunyai konduktivitas panas yang baik. Sebuah penghantar listrik yang terbuat dari aluminium hanya membutuhkan separuh dari berat tembaga untuk kapasitas hantaran yang sama.

Aluminium murni mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,99% mempunyai kekerasan 17 BHN. Dengan memadukan aluminium dengan unsur logamlain maka akan menghasilkan paduan aluminium dengan kekerasan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, paduan aluminium 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 aluminium. Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan sifat logam aluminium :

Tabel 2.3 Sifat Umum Aluminium

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor Atom	aluminium, Al, 13
Deret kimia	Logam Lainnya
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

2.11 Aluminium dan Paduannya

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

Paduan Aluminium berdasarkan cara pembuatannya yaitu :

1. Aluminium *wrought alloy* (lembaran)

Paduan aluminium 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 aluminium murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S, sebagai contoh 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063.

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut paduannya, sebagai berikut :

1. Jenis Al-murni (seri 1xxx)

Aluminium 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 aluminium 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 aluminium 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 aluminium dengan Mangan dan silikon ini relatif mudah untuk dibentuk. Paduan jenis ini memberikan sifat penguatan, kekuatan dan ketahanan korosi yang baik.

2.12 Aluminium Oxide Film (Lapisan Tipis Oksida Aluminium)

Lapisan film oksida dapat terbentuk pada logam-logam tertentu, seperti aluminium, niobium, tantalum, titanium, tungsten, zirconium. Lapisan ini terbentuk saat logam-logam tersebut mengalami sebuah proses elektrokimia yaitu *anodizing*. Dari proses ini akan didapatkan lapisan film oksida yang memiliki ketebalan, densitas dan perkembangan *porous* yang sangat bervariasi, bergantung pada jenis logam yang dipakai.

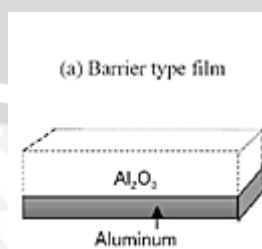
Untuk logam aluminium, lapisan oksida yang terbentuk adalah lapisan yang unik. Karena logam aluminium dapat membentuk lapisan oksida yang lebih tebal dan mengandung densitas *porous* yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena aluminium lebih mudah teroksidasi daripada logam jenis lain.

2.12.1 Tipe dari lapisan tipis oksida.

Lapisan oksida yang terbentuk di atas permukaan logam aluminium hasil anodizing digolongkan menjadi dua jenis yaitu :

1. Lapisan film oksida tipe penghalang (*Barrier-type oxide film*)

Bila aluminium dianodisasi pada larutan netral ($5 < \text{pH} < 7$) seperti pada larutan yang dibentuk melalui pencampuran antara *boric acid* dan *ammonium borate*, *tertrate* dan *ammonium tetraborate* dalam larutan *ethylene glycol*. Kemampuan larutan ini untuk melarutkan oksida aluminium sangat lemah, sehingga terbentuklah lapisan film oksida tipe *barrier* pada permukaan aluminium. Skema *barrier type film* seperti gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.5 Penampang *barrier type film*
Sumber : Ono. 2009

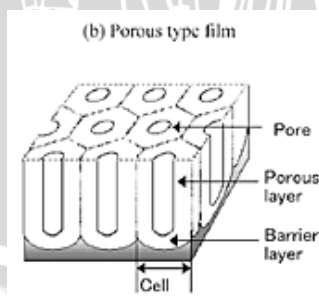
Ketebalan dari film oksida tipe *barrier* dipengaruhi oleh tegangan saat proses *anodizing* berlangsung. Jika aluminium dianodisasi pada tegangan yang tinggi, maka akan terbentuk lapisan film oksida *barrier* yang tebal.

Tetapi, bagaimanapun juga tidak mungkin melakukan *anodizing* pada tegangan yang sangat tinggi, karena batas maksimum pemberian tegangan adalah 500 V – 700 V. Bila tegangan yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak bisa terbentuk.

2. Lapisan film oksida tipe pori (*Porous-type oxide film*)

Apabila aluminium dianodisasi dalam larutan asam, maka akan terbentuk lapisan oksida tipe pori (*porous-type oxide film*). Lapisan film oksida tipe ini disebut juga lapisan film bertingkat (*duplex film*) Perlu diperhatikan bahwa lapisan film oksida tipe *porous* (*porous oxide film*) dan lapisan oksida *porous* (*porous layer*) harus dibedakan, begitu juga lapisan film oksida tipe *barrier* (*barrier oxide film*) dan lapisan oksida *barrier* (*barrier layer*).

Walaupun berbeda, namun tiap-tiap tipe mengandung lapisan oksida dalam (*inner oxide*) dan lapisan oksida luar (*outer oxide*). Pada gambar 2.7, *Inner oxide* yang mengandung alumina (Al_2O_3) murni terbentuk karena reaksi antara oksida dan logam, Sedangkan *outer oxide* yang mengandung alumina yang masih terkontaminasi logam anionnya, terbentuk karena reaksi antara oksida dan larutan elektrolit. Contoh skema *porous oxide film* seperti gambar 2.7 dibawah ini.

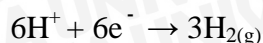


Gambar 2.6 Penampang *porous type film*
Sumber : Ono, 2009

2.12.2. Pembentukan Lapisan Oksida

Jika arus searah mulai dijalankan pada sel *anodizing* seperti pada gambar 2.1 dengan larutan elektrolit asam sulfat maka katoda akan bermuatan negatif dan anoda

akan bermuatan positif. Asam fosfat akan terurai menjadi kation 3H^+ dan ion PO_4^{3-} . Kation – kation H^+ akan bergerak menuju katoda dan di sisi lain akan dinetralkan oleh elektron – elektron katoda sehingga akan terbentuk gas H_2 .



Al pada anoda akan terurai menjadi ion Al^{3+} dan bergerak ke katoda.



Karena ion positif Al^{3+} tidak tereduksi pada katoda, reaksi yang terjadi :



Demikian juga pada ion PO_4^{3-} tidak teroksidasi pada anoda, reaksi diganti oleh :



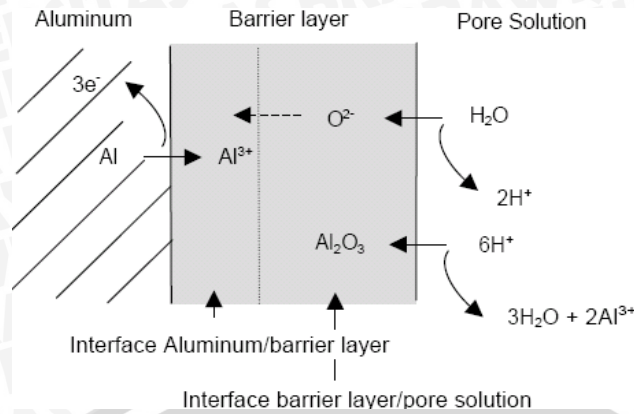
Pada permukaan anoda (antara logam dan lapisan barrier) terjadi reaksi antara ion Al^{3+} dengan oksida atau hidroksida untuk menghasilkan aluminium oksida (ion hidrogen akan terlepas menuju larutan dan membentuk gas H_2).



Sehingga didapatkan reaksi keseluruhan:

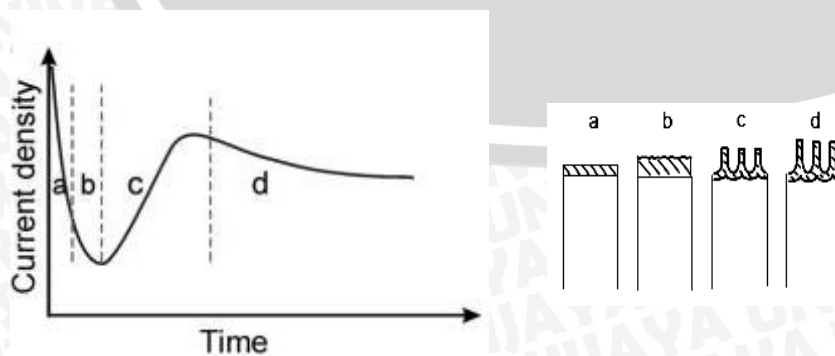


Lapisan oksida yang terbentuk pada hasil *anodizing* dengan larutan elektrolit asam sulfat akan menghasilkan lapisan oksida yang dijelaskan pada gambar 2.8. Pada mulanya arus yang melewati elektroda aluminium tinggi karena hanya melewati logam aluminium.



Gambar 2.7 Reaksi Pembentukan Lapisan Oksida
Sumber: Sulka, 2008: 5

Setelah arus yang melewati elektroda aluminium tinggi karena hanya melewati logam aluminium. Kemudian arus mulai menurun karena *barrier* atau *non porous layer* yang rapat dan tipis terbentuk. Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium ini mempunyai hambatan yang lebih tinggi daripada aluminium sendiri (periode a) pada gambar 2.9. Lapisan oksida yang terbentuk menjadi lebih tebal oleh karena itu hambatan menjadi lebih tinggi yang menyebabkan arus terus menurun (periode b) pada gambar 2.9. Kecenderungan kurva keatas pada periode b berdasar pada lapisan oksida yang terbentuk akan kasar pada *barier layer*. Aliran arus akan lebih terkonsentrasi pada permukaan yang lebih tipis, yang menyebabkan temperatur elektrolit meningkat sehingga terjadi peluruhan pada daerah ini. Peluruhan akan terus terjadi yang menyebabkan lapisan yang semakin tipis, ini menyebabkan resistansi didaerah ini lebih kecil yang menyebabkan arus akan meningkat (periode c) pada gambar 2.9. Pada tahap ini pembentukan lapisan *porous* oksida mulai terbentuk dan arus akan stabil, dimana kecepatan pembentukan dan peluruhan tetap atau stabil (periode d) pada gambar 2.9.

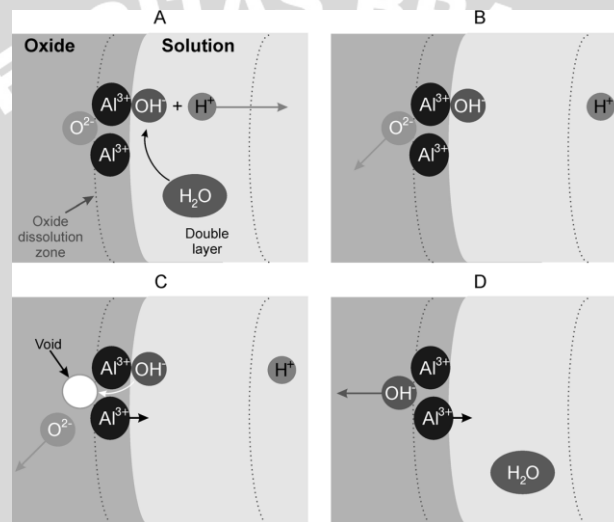


Gambar 2.8 Mekanisme Pembentukan Lapisan Oksida
Sumber: Sulka, 2008: 29

Proses peluruhan terjadi karena pemberian energi yang terlalu besar melebihi energi ikatan Al-O pada Al_2O_3 . Reaksi peluruhan yang terjadi adalah sebagai berikut:



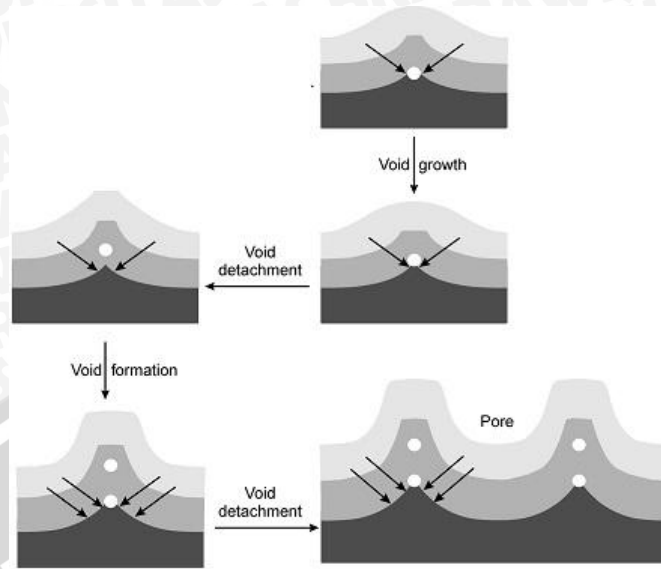
Peluruhan yang terjadi ada dua, yaitu peluruhan secara kimia dan peluruhan karena medan listrik yang terlalu besar dan terkonsentrasi. Peluruhan secara kimia karena tingkat keasaman dari elektrolit. Peluruhan karena medan listrik yang terkonsentrasi pada *barrier layer* menyebabkan kenaikan temperatur pada ketebalan lapisan yang lebih tipis sehingga memicu proses peluruhan.



Gambar 2.9 Mekanisme Peluruhan

Sumber: Sulka, 2008: 29

Akibat dari proses peluruhan tersebut menyebabkan ion OH^- terperangkap dalam lapisan permukaan oksida dari aluminium pada gambar 2.10. Hal ini yang menyebabkan terjadinya *void* pada lapisan oksida, *void* ini yang merupakan awal terbentuk lapisan *porous* sesuai dengan gambar 2.11 dibawah.



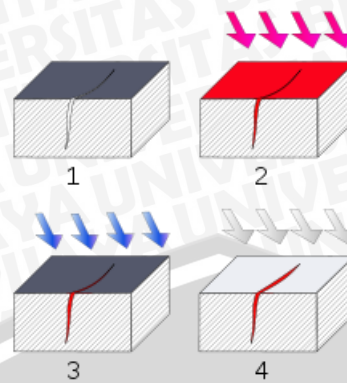
Gambar 2.10 Mekanisme Pembentukan *porous*

Sumber: Sulka, 2008: 25

2.13 Porositas

Lapisan oksida hasil *anodizing* terdiri dari lapisan penghalang (*barrier layer*) dan lapisan *porous*. Lapisan barrier adalah lapisan yang membatasi antara lapisan *porous* dengan logam dasarnya. Porositas yang terbentuk pada benda kerja hasil *anodizing* dapat dipengaruhi oleh waktu perendaman benda kerja dan tegangan listrik yang digunakan.

Pengukuran yang digunakan untuk menghitung jumlah *porous* yang terbentuk pada permukaan aluminium hasil *anodizing* dapat menggunakan *Dye Test Penetrant*. Pada pengujian ini menggunakan 3 larutan yang berbeda yaitu *cleaner*, *developer* dan *penetrant*. Larutan *cleaner* digunakan untuk membersihkan lapisan dari permukaan spesimen, larutan *penetrant* adalah pengemulsi dimana cairan ini akan menerobos masuk kedalam rongga pada lapisan dan larutan *developer* adalah larutan yang mengangkat larutan penetrant yang menyebabkan adanya bercak pada permukaan aluminium. Skema dari proses dapat dijelaskan pada gambar 2.11 dibawah.



Gambar 2.11 Skema *Dye Test Penetrant*
 Sumber: Anonymous7

Prosedur selanjutnya dilanjutkan bantuan *software PhotoShop CS3 dan Solid Works*. Penggunaan *PhotoShop CS3* dimanfaatkan untuk merubah format gambar hasil foto makro dari JPEG menjadi PSD. Setelah itu, hasil foto makro yang berformat PSD dimasukkan ke dalam *Solid Works* untuk menghitung jumlah *porous* yang terbentuk yang diwakili dengan luas *porous* pada permukaan aluminium. Setelah didapatkan luas *porous* yang terbentuk pada permukaan aluminium, maka perhitungan prosentase jumlah *porous* dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2-10 berikut:

$$Porositas = \frac{\text{Luas porositas}}{\text{Luas total permukaan}} \times 100\% \quad (2-4)$$

2.14 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakrataan permukaan yang berupa kawah kecil atau guratan yang nantinya akan menjadi takikan tempat terjadinya konsentrasi tegangan, sehingga apabila mendapatkan pembebanan terus menerus dapat mengakibatkan patah. Ketidakaturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa macam diantaranya:

1. Kekasaran / *roughness (Micro roughness)*

Bentuk naik turunnya permukaan dari pendeknya gelombang yang ditandai seperti bukit dan lembah dengan bermacam-macam jarak dan amplitudo.



Gambar 2.11 Kekasaran Permukaan
 Sumber: *Anonymous 4 (2012:225)*



2. Gelombang / waviness (*macroroughness*)

Ketidakaturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar daripada kedalamannya.



Gambar 2.12 Gelombang / *waviness*
Sumber: *Anonymous 4* (2012:225)

3. Kesalahan bentuk (*error of form*)

Ketidakaturan makrogeometri, penyimpangan pada kekasaran dan *waviness*, yang disebabkan terutama oleh kesalahan pada proses permesinan, dan deformasi akibat stress pola komponen.



Gambar 2.13 Kesalahan bentuk (*error of form*)
Sumber: *Anonymous 4* (2012:225)

Dalam pengukuran kekasaran, yang dihitung adalah kekasaran rata-ratanya. Kekasaran rata-rata dari sebuah permukaan yang diukur dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. R_a (*roughness average*)

Roughness average merupakan rata-rata kekasaran dari pengukuran permukaan untuk panjang tertentu. R_a dapat dirumuskan pada rumus (2-2) berikut:

$$R_a = \frac{a+b+c+d+\dots}{n} \quad (2-5)$$

2. R_z (*ten points high of irregularities*)

Ten points high of irregularities (R_z) merupakan pengukuran berdasarkan nilai rata-rata lima puncak tertinggi dan lima lembah terendah. R_z dapat dirumuskan pada rumus (2-3) di bawah ini:

$$R_z = \frac{1}{5} (R_1+R_3+R_5+R_7+R_9) - \frac{1}{5} (R_2+R_4+R_6+R_8+R_{10}) \quad (2-6)$$

3. Rq

Rq merupakan nilai akhir rata-rata kuadrat dari pengukuran kekasaran untuk panjang tertentu. Rq dapat dirumuskan pada rumus (2-19) berikut:

$$R_q = \sqrt{\frac{a+b+c+d+\dots}{n}} \quad (2-7)$$

Pengukuran kekasaran permukaan aluminium hasil *hard anodizing* dapat dilakukan dengan menggunakan *surface roughness tester SJ-301*

2.15 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesa bahwa dengan semakin besar arus listrik yang di berikan dan tegangan listrik yang semakin meningkat akan menyebabkan jumlah porositas pada permukaan dan kekasaran permukaan aluminium 6061 meningkat.

