

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Prinsip *Anodizing*

Menurut definisinya *anodizing* merupakan proses pembentukan suatu lapisan oksida dari logam yang digunakan sebagai anoda dalam system elektrolisa (Sulistijono, 2006: 47). Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisa. Proses elektrokimia yang merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Pada proses ini komponen yang terpenting dari proses elektrolisa ini adalah elektroda dan elektrolit. Pada elektrolisa, katoda merupakan kutub negatif dan anoda merupakan kutub positif.

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

Lapisan oksida hasil *anodizing* pada aluminium berupa aluminium oksida (Al_2O_3). Lapisan inilah yang membuat logam memiliki ketahanan aus yang baik. Proses selanjutnya bisa diberi pewarna sehingga tampilan aluminium lebih menarik.

2.2 Klasifikasi *Anodizing*

2.2.1 Berdasarkan Sumber Arus

Berdasarkan sumber arus saat proses, *anodizing* dibagi menjadi 2, yaitu AC *anodizing* dan DC *anodizing* (Anonymous 2, 2010).

1. AC *Anodizing*

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

2. DC Anodizing

DC *anodizing* adalah *anodizing* yang menggunakan arus searah (*direct current*). Proses pembentukan oksida pada DC *anodizing* lebih cepat daripada AC *anodizing* karena polaritas positif *power supply* selalu berada pada benda kerja. *Anodizing* tipe ini sering digunakan dengan tujuan memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan tinggi. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *continuous anodizing* dan *pulse anodizing*.

a. Continuous Anodizing

Continuous anodizing adalah jenis *anodizing* yang paling sering dilakukan. *Continuous anodizing* dilakukan dengan besar arus yang dialirkan saat proses *anodizing* ditahan konstan.

b. Pulse Anodizing

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

2.2.2 Klasifikasi Anodizing Secara Umum

Anodizing umumnya ada tiga macam, yaitu:

1. Chromic Acid Anodizing (CAA)

Pada tipe yang pertama ini menggunakan larutan elektrolit berupa asam kromat (*chromic acid*) dan lapisan oksida yang dihasilkan paling tipis jika dibanding tipe yang lain. Ketebalan lapisannya 0.02 sampai 0.1 mils (0.5 sampai 2.54 μm). *Chromic acid anodizing* sedikit berpengaruh terhadap kekuatan *fatigue*, dan sedikit korosif. Tipe I ini sangat baik untuk pelapisan aluminium cor, *chromic anodizing* paling banyak digunakan dalam kebutuhan militer dan mempunyai fungsi dekoratif.

2. Sulfuric Acid Anodizing (SAA)

Tipe yang kedua ini paling umum digunakan oleh industri pelapisan aluminium. Larutan elektrolit yang digunakan pada tipe ini adalah larutan asam sulfat (*sulfuric acid*). Dengan memanfaatkan asam sulfat ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan dapat mencapai 1 mm. *Sulfuric acid anodizing* baik sekali jika diberi pewarnaan karena lapisannya berpori. Selain itu memberikan

ketahanan terhadap korosi dan sangat kuat. Tipe ini biasanya dipakai dalam kebutuhan arsitektur, *aerospace*, perusahaan otomotif dan komputer.

3. *Hard Coating Anodizing (HCA)*

Pada tipe yang *ketiga* ini dibutuhkan larutan elektrolit dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada temperatur yang lebih rendah akan dihasilkan lapisan oksida yang keras dengan ketahanan abrasi yang baik sekali, ketahanan korosi, ketahanan terhadap pemudaran warna, kekuatan dielektrik dan mempunyai permukaan yang sangat keras.

2.3 Proses Anodizing

2.3.1 Pre-Treatment

Proses *pre-treatment* merupakan proses yang dilakukan sebelum proses *anodizing* yang tujuannya untuk membersihkan spesimen untuk anoda dari kotoran yang menempel pada permukaan spesimen. Proses ini terdiri atas :

1. *Degreasing*

Degreasing adalah langkah pertama pada proses *pre-treatment*. *Degreasing* dilakukan untuk menghilangkan minyak atau lemak pada permukaan aluminium sebelum proses *anodizing*. *Degreasing* biasa dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) 5% dengan temperatur dari 60°C sampai 80°C dan dilakukan dalam waktu 5 menit.

2. *Etching*

Etching dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan lapisan oksida aluminium yang terdapat pada permukaan aluminium. Oksida aluminium akan hancur karena direndam dalam larutan basa kuat seperti soda api (*caustic soda*). Oleh sebab itu *etching* dilakukan dengan cara merendam aluminium dalam larutan *caustic soda*. Nilai takarannya adalah satu sendok makan soda api 10 gr dicampur dalam air 250 ml. Temperatur *caustic soda* yang digunakan umumnya adalah sekitar 30°C sampai 50°C dan dilakukan dalam waktu 5 menit.

3. *Desmuting*

Desmuting adalah proses pembersihan bercak hitam akibat reaksi dari paduan aluminium dengan *caustic soda* saat proses *etching*. *Desmuting* dilakukan dengan cara merendam spesimen pada larutan asam nitrat (5%) pada temperatur kamar, 27°C - 35°C selama 5 menit.

4. *Rinsing*

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

2.3.2 Last-Treatment

Proses *last-treatment* merupakan langkah akhir setelah proses *anodizing*. Proses ini terdiri atas :

1. *Coloring*

Coloring adalah proses pemberian warna pada pori - pori lapisan oksida yang terbentuk akibat proses *anodizing*. Ada 3 teknik pewarnaan yang penting, yaitu *dyeing, integral colouring* dan *electrolytic colouring*.

a. *Dyeing*

Metode ini dilakukan dengan mencelup benda kerja (produk) hasil *anodizing* ke dalam pewarna organik atau pewarna anorganik. Intensitas warna yang dihasilkan pada metode ini tergantung pada jumlah warna yang masuk ke dalam pori permukaan benda kerja. Proses ini dilakukan selama 3-5 menit.

b. *Integral Colouring*

Integral colouring merupakan warna yang dihasilkan secara otomatis pada saat proses *anodizing* berlangsung. Warna yang dihasilkan disebabkan oleh tersangkutnya partikel pada lapisan anoda yang dihasilkan dari reaksi *anodic* antara larutan elektrolisa dengan unsur mikro dan matriks dari paduan aluminium. Proses pewarnaan dengan metode ini juga dipengaruhi oleh ketebalan lapisan.

c. *Electrolytic Colouring*

Proses ini dilakukan dengan mencelupkan benda kerja ke dalam larutan pewarna yang telah disiapkan yang dimana larutan pewarna tersebut mengandung garam atau suatu logam dengan memberikan tegangan AC/DC. Dengan metode ini akan terkumpul kandungan logam pada dasar pori, misalnya dengan larutan garam yang mengandung nikel. Warna yang dihasilkan

tergantung pada sifat dasar larutan elektrolit yang digunakan serta juga pada jumlah logam yang terkandung di dasar pori.

2. *Sealing*

Sealing dilakukan setelah proses pewarnaan selesai. Proses *sealing* merupakan tahap paling akhir dalam *anodizing* yang bertujuan untuk:

- Menahan pewarna agar tetap berada dalam pori.
- Meningkatkan kerataan warna dari lapisan oksida yang diwarnai.

Sealing biasanya dilakukan dengan cara meletakkan spesimen pada uap air selama 5 menit.

3. *Drying*

Drying adalah proses pengeringan benda kerja setelah proses *sealing*. *Drying* dilakukan dengan cara mengusap benda kerja dengan kain yang halus dan meletakkannya pada tempat yang kering.

2.4 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan *nonferro* yang banyak dimanfaatkan manusia. Aluminium termasuk pada golongan IIIA dalam sistem periodik unsur dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram/mol (sma). Aluminium adalah logam ringan dengan berat jenis 2,7 gram/cm³ setelah magnesium (1,7) dan berilium (1,85) Pada udara bebas aluminium mudah teroksidasi sehingga membentuk lapisan tipis oksida (Al₂O₃) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Surdia, 2000).

2.4.1 Karakteristik Aluminium

Di dunia ini tidak ada aluminium murni 100% karena aluminium mudah teroksidasi dengan udara luar sehingga membentuk lapisan oksida (Al₂O₃) pada permukaannya. Reaksi kimia pada permukaan aluminium seperti di bawah ini:



Selain itu aluminium juga bersifat amfoter, yaitu dapat larut dalam larutan asam maupun basa dengan melepas gas H₂ (Sulistijono, 2006: 48). Reaksi yang terjadi seperti di bawah ini:

Pada larutan asam :



Pada larutan basa:



2.4.2 Pengaruh Unsur Paduan

Untuk memperbaiki kekurangan dari sifat logam aluminium, sering logam ini dipadukan dengan logam lain untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis sesuai kebutuhan (Surdia, 2000:136). Paduan ini sangat mempengaruhi densitas warna, kecerahan, ketebalan dan penampilan. Tabel 2.1 memaparkan secara umum pengaruh sifat paduan terhadap jenis *anodizing*.

Tabel 2.1 Petunjuk Umum Jenis Pelapisan *Anodizing*

Al Alloy	Komposisi (%)	Bright Anodizing	Protective Anodizing	Colour Anodizing	Hard Anodizing
1050 A	99,5Al	4	4	4	5
1080 A	99,8Al	4	4	4	5
1200	99Al	3	4	4	5
2014	4,25Cu; 0,75Si; 0,75Mn; 0,5Mg	1	1	2	2
2031	2Cu; 1Ni; 0,9Mg; 0,8Si	1	2	2	3
2103	2Cu; 1Ni; 0,9Mg; 0,8Si	3	4	3	4
5056	1,25Mn	2	3	3	3
5154	5Mg	2	4	4	4
5251	2,25Mg	3	4	4	4
6061	1Mg; 0,6Si; 0,25Cu; 0,25Cr	2	3	4	4
6063	0,5Mg; 0,5Si	3	4	4	4
6082	1Si; 0,6Mg; 0,5Mn	2	2	3	3
7020	4Cu; 2Ni; 1,5Mg	5	4	4	4

5 = best response; 1 = poorest response

Sumber: Rajagopal, 2000

2.4.3 Sifat Aluminium

1. Kekerasan Aluminium

Aluminium murni mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,99% dan mempunyai kekerasan 17 BHN. Penambahan unsur paduan dan perlakuan panas menghasilkan paduan Al dengan kekerasan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, aluminium dengan 4,5%Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn, yang biasa disebut paduan 2024 mempunyai kekerasan 120 BHN (Surdia, 1990:137).

2. Kekuatan Tarik Maksimum

Kekuatan tarik maksimum diartikan sebagai kekuatan tarik yang dapat ditahan oleh material sebelum putus. Nilai kekuatan tarik maksimum diperoleh dengan membandingkan beban maksimum selama tes dengan luas penampang mula material yang diuji. Aluminium dengan kemurnian 99,99% memiliki kekuatan tarik maksimum 4,9 kg/mm² (Surdia, 1990: 137).

3. Daya Hantar Panas

Aluminium mempunyai daya hantar panas yang baik. Pembuktiannya dapat ditunjukkan dengan cepatnya distribusi panas dari daerah yang temperturnya tinggi ke daerah yang temperturnya rendah. Kemampuan daya hantar panas yang baik menyebabkan aluminium digunakan sebagai peralatan pemanas atau untuk berbagai keperluan yang berhubungan dengan perpindahan panas (Surdia, 2000: 137)

4. Daya Hantar Listrik

Aluminium mempunyai daya hantar listrik 65% dari tembaga, sedangkan massa jenisnya kira-kira 1/3 massa jenis tembaga, karena daya hantar listrik yang baik ini, aluminium banyak digunakan sebagai penghantar listrik. Tetapi untuk keperluan ini aluminium harus semurni mungkin. Dalam hal ini dapat digunakan aluminium dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya.

5. Ketahanan Terhadap Korosi

Aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik terhadap udara bebas karena aluminium membentuk lapisan oksida (Al_2O_3) pada permukaannya. Lapisan ini terbentuk dengan sendirinya ketika aluminium kontak langsung dengan udara. Ketika lapisan ini rusak maka dengan sendirinya membentuk lapisan baru hasil reaksi dengan udara. Inilah yang menyebabkan aluminium memiliki ketahanan korosi alamiah. Namun dalam lingkungan asam aluminium cenderung mengalami korosi, hal ini disebabkan karena reaksi pembentukan lapisan oksidanya lebih lambat dibandingkan dengan reaksi peluruhannya (*dissolution reaction*).

2.4.4 Klasifikasi Paduan Aluminium

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*).

Paduan Aluminium berdasarkan cara pembuatannya yaitu :

1. *Aluminium wrought alloy* (tempa)

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

2. *Aluminium casting alloy* (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 (Surdia, 2000:135) 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.

Berikut standar paduan aluminium pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Standar Paduan Aluminium

Standar AA	Standar Alcoa Terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-86S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069	61S-69S	Mg, Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

Sumber: Surdia, 2000

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut paduannya, sebagai berikut (Surdia, 2000:135):

1. Jenis Al murni (seri 1XXX)

Aluminium jenis ini mempunyai kemurnian 99,0% sampai 99,99%. Mempunyai sifat tahan korosi yang baik, konduktifitas panas dan listrik yang tinggi, mampu las dan mampu potong yang baik tetapi kekuatannya rendah.

2. Jenis paduan Al-Cu (2XXX)

Paduan aluminium jenis ini yang dapat di-*heat treatment*. Sifat mekanik paduannya memiliki kesamaan dengan sifat baja lunak, tetapi daya tahan korosinya lebih rendah dibanding dengan paduan lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu paduan ini sering digunakan untuk kotruksi keeling, piston dan silinder head motor bakar.

3. Jenis paduan Al-Mn (3XXX)

Paduan aluminium jenis ini tidak bisa di-*heat treatment* sehingga untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Prosentase Mn pada paduan aluminium ini maksimum 1,82% yang dapat larut pada aluminium dengan peningkatan kekuatan hingga 20% dibandingkan seri 1XXX. Paduan ini memiliki kekuatan yang lebih baik daripada Al murni. Banyak digunakan untuk pipa, tangki minyak dan peralatan masak.

4. Jenis paduan Al-Si (4XXX)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat di-*heat treatment*. Dalam keadaan cair memiliki sifat 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. Biasanya digunakan sebagai elektroda pada pengelasan.

5. Jenis paduan Al-Mg (5XXX)

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

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (6XXX)

Paduan Al-Mg-Si termasuk jenis yang bisa di-*heat treatment* dan mudah di bentuk, memiliki sifat penguatan, kekuatan, dan ketahanan korosi yang baik.

2.4.5 Aluminium Paduan Seri 6063

Aluminium paduan 6063 adalah paduan yang *heat treatable* karena kekerasannya dapat ditingkatkan melalui perlakuan panas. Memiliki sifat mampu bentuk, permukaan yang bagus, ketahanan korosi dan mampu las yang baik serta mudah di-*anodizing*. Umumnya digunakan untuk ekstrusi dan rangka konstruksi, serta pada bidang otomotif dan pesawat terbang. Kandungan aluminium seri 6063 ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Unsur Paduan Aluminium 6063

Unsur	Kandungan (%)
Si	0,2 sampai 0,6
Fe	0 sampai 0,35
Cu	0 sampai 0,1
Mn	0 sampai 0,1
Mg	0,45 sampai 0,9
Zn	0 sampai 0,1
Ti	0 sampai 0,1
Cr	Maksimal 0,1
Al	Balance

Sumber: *Anonymous 3, 2012*

2.5 Titanium

Titanium merupakan *light metal* yang memiliki massa paling berat (Surdia.2000:139). Logam ini memiliki ketahanan terhadap klorida dan air garam serta ketahanan korosi yang baik karena jika berkontaminasi langsung dengan udara maka akan membentuk *pasive layer*.

2.5.1 Karakteristik Titanium

Titanium mempunyai karakteristik yang membuatnya menjadi logam pilihan untuk beragam aplikasi, termasuk ruang angkasa, industri, pengolahan kimia, kelautan, kesehatan, olahraga. Logam ini paling banyak digunakan dalam industri penerbangan militer karena efisiensinya dalam kualitas struktural, akibat dari kekuatan dan kepadatan titanium. Kepadatan dari titanium bervariasi sesuai dengan kelas, dan berkisar dari 0,160 lb/in³ untuk 0,175 lb/in³.

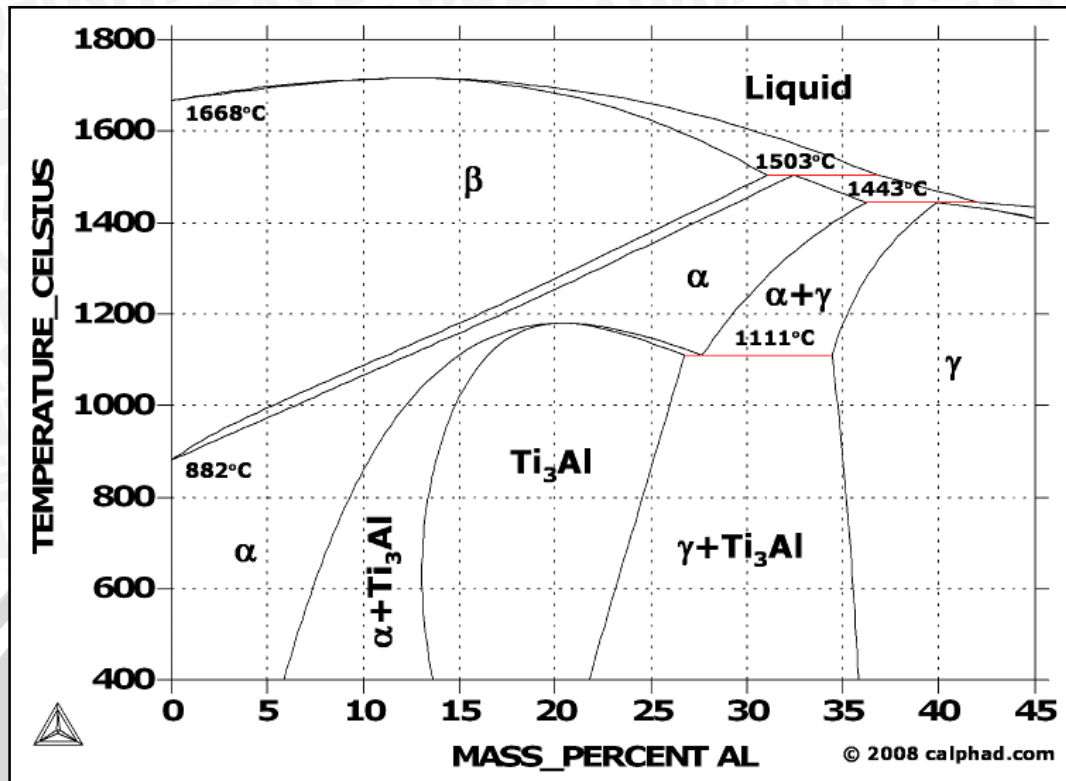
Dikarenakan sifat biokompatibilitas logam titanium, logam ini digunakan secara luas dalam tubuh manusia, sebagai implan pinggul dan lutut, kasus alat pacu jantung,

implan gigi, dan piring kraniofasial untuk nama beberapa aplikasi medis tertentu. Sifat lain yang membuat titanium menjadi logam pilihan adalah logam ini terlihat unik, fakta bahwa logam ini nonmagnetik, memiliki kemampuan untuk menahan kekuatan pada suhu tinggi, dan memiliki titik lebur yang relatif tinggi. Selain kekuatan tinggi untuk perbandingan berat, tahan korosi dalam lingkungan oksidasi, termasuk air payau dan garam dan biokompatibilitas meliputi modulus elastisitas rendah yang memberikan fleksibilitas dan konduktivitas termal yang baik (Anonymous 4, 2012). Keunggulan logam titanium adalah sebagai berikut :

- Sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja.
- 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.
- Strukturnya stabil pada temperatur tinggi sehingga memiliki ketahanan panas yang baik

2.5.2 Titanium Paduan

Paduan titanium telah dikembangkan dan ini dapat dikelompokkan menjadi empat kategori utama. Sifat mereka tergantung pada struktur kimia dasar mereka dan cara mereka dimanipulasi selama pembuatan. Beberapa elemen yang digunakan untuk membuat paduan termasuk aluminium, molybdenum, kobalt, zirkonium, timah, dan vanadium. Paduan fase alpha memiliki kekuatan terendah tetapi *formable* dan *weldable*. Alpha ditambah paduan beta memiliki kekuatan tinggi. Dekat paduan alpha memiliki kekuatan menengah namun memiliki ketahanan mulur yang baik. Paduan fase beta memiliki kekuatan tertinggi dari setiap paduan titanium tetapi mereka juga tidak memiliki daktilitas. Lebih lengkapnya dapat di lihat pada gambar 2.1 berikut:

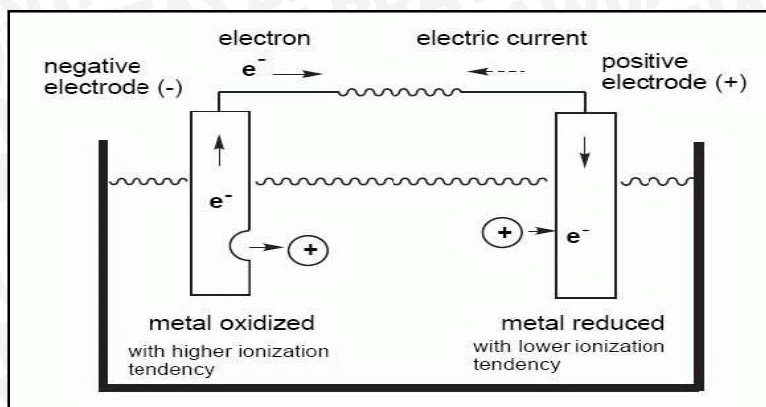


Gambar 2.1 Diagram Fase Ti-Al
Sumber: *Anonymous 5, 2012*

Aplikasi dari titanium dan paduannya sangat banyak. Industri pesawat ruang angkasa adalah pengguna terbesar produk titanium karena kekuatan tinggi untuk perbandingan berat dan sifat pada suhu tinggi. Hal ini biasanya digunakan untuk bagian-bagian pesawat dan pengencang. Sifat tersebut membuat titanium digunakan untuk produksi mesin turbin gas. Biasanya digunakan untuk bagian seperti *blade* kompresor, *casing* dan *cowlings* mesin.

2.6 Elektrolisa

Elektrolisa adalah peristiwa penguraian suatu elektrolit oleh aliran listrik (Ratna, 2009). Elektroda yang bermuatan positif disebut anoda dan elektroda yang bermuatan negatif disebut katoda. Selama proses elektrolisa berlangsung, terjadi reaksi reduksi pada katoda dan oksidasi pada anoda. Ion – ion bermuatan negatif atau anion mengalir dari katoda ke anoda untuk dioksidasi, sedangkan ion – ion yang bermuatan positif atau kation mengalir dari anoda ke elektroda katoda untuk di reduksi. Proses elektrolisa dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Sel Elektrolisa
Sumber: *Anonymous, 2012*

Cara kerja sel elektrolisa adalah sebagai berikut :

1. Sumber arus listrik searah mengalirkan elektron dari katoda ke anoda. 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.

Reaksi yang terjadi pada sel elektrolitik:

- Reaksi pada katoda

Jika yang menuju katoda adalah ion positif dari :

1. Logam golongan IA/IIA, Al, Mn.

Ion-ion ini tidak tereduksi. Reaksi yang terjadi: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ (g)

2. Ion H^+ dapat tereduksi. Reaksinya: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (g)

3. Ion-ion selain 1 dan 2 dapat tereduksi (mengendap pada anoda).

Reaksinya: $\text{Xn}^+ + \text{n}^- \rightarrow \text{X}$

- Reaksi pada anoda

1. Jika anoda inert (Pt, Au, C), yang menuju anoda ion negatif dari:

a. Ion OH^- dapat teroksidasi. Reaksinya: $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

b. Ion halogen (Cl, Br, I) dapat teroksidasi. Reaksinya: $2\text{X}^- \rightarrow \text{X}_2 + 2\text{e}^-$

c. Ion sisa asam beroksigen (SO_4^{2-} , NO_3^-) tidak teroksidasi.

Reaksi yang terjadi: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

2. Jika anodanya aktif (selain Pt, Au, C) dapat teroksidasi.

Reaksinya: $\text{X} \rightarrow \text{Xn}^+ + \text{n}^-$

2.7 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum) (Anonymous 7, 2010). Elektroda terdiri dari anoda dan katoda. Anoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi dan katoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi.

2.8 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi (peningkatan bilangan oksidasi) dan reduksi (penurunan bilangan oksidasi) yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia (Parthasaradhy, 1989).

Contoh reaksi redoks adalah saat logam seng dimasukkan dalam larutan yang mengandung ion tembaga seperti tembaga sulfat (CuSO_4). Setelah logam seng dilarutkan ke dalam larutan tembaga sulfat maka ion tembaga akan mengalami penurunan bilangan oksidasi dari Cu^{2+} menjadi Cu , dan logam seng akan mengalami peningkatan bilangan oksidasi dari Zn menjadi ion Zn^{2+} .

Yang dimaksud reaksi reduksi dan reaksi oksidasi adalah sebagai berikut:

a. Reaksi reduksi

- Suatu zat menangkap elektron.
- Suatu unsur mengalami pengurangan bilangan oksidasi.
- Pada sel elektrokimia reduksi terjadi di katoda.

b. Reaksi oksidasi

- Suatu zat melepaskan elektron.
- Suatu unsur mengalami penambahan bilangan oksidasi.
- Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda.

2.8.1 Sistem Periodik Unsur

Sistem periodik dapat digunakan untuk memprediksi harga bilangan oksidasi, yaitu:

1. Nomor golongan suatu unsur, baik unsur utama maupun unsur transisi, menyatakan bilangan oksidasi tertinggi yang dapat dicapai oleh unsur tersebut. Hal ini berlaku bagi unsur logam dan unsur non logam.

2. Bilangan oksidasi terendah yang dapat dicapai oleh suatu unsur bukan logam adalah nomor golongan dikurangi delapan. Adapun bilangan oksidasi terendah bagi unsur logam adalah nol. Hal ini disebabkan karena unsur logam tidak mungkin mempunyai bilangan oksidasi negatif.

Kaitan antara sistem periodik dengan konfigurasi elektron (asas Aufbau) dapat dilihat seperti pada gambar di bawah. Berdasarkan jenis orbital yang ditempati oleh elektron terakhir, unsur-unsur dalam sistem periodik dibagi atas blok *s*, blok *p*, blok *d*, dan blok *f*.

1. Blok *s*: golongan IA dan IIA

Blok *s* tergolong logam aktif, kecuali H dan He. H tergolong nonlogam, sedangkan He tergolong gas mulia.

2. Blok *p*: golongan IIIA sampai dengan VIIIA

Blok *p* disebut juga unsur-unsur representatif karena di situ terdapat semua jenis unsur logam, nonlogam, dan metaloid.

3. Blok *d*: golongan IIIB sampai dengan IIB

Blok *d* disebut juga unsur transisi, semuanya tergolong logam.

4. Blok *f*: lantanida dan aktinida

Blok *f* disebut juga unsur transisi-dalam, semuanya tergolong logam. Semua unsur transisi-dalam periode 7, yaitu unsur-unsur aktinida, bersifat radioaktif.

2.8.2 Deret Volta

Deret volta merupakan urutan logam-logam berdasarkan kenaikan standar potensial elektrodanya. Urutan deret volta sebagaimana pada tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Deret Volta

Reaksi	E ⁰ /V
$\text{Li}^+ + e \rightleftharpoons \text{Li}$	-3,0401
$\text{K}^+ + e \rightleftharpoons \text{K}$	-2,931
$\text{Ba}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2,912
$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sr}$	-2,899
$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2,868
$\text{Na}^+ + e \rightleftharpoons \text{Na}$	-2,71
$\text{Mg}^+ + e \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,70
$\text{Al}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,662
$\text{Ti}^{4+} + 4e \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1,370
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1,185
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,7618
$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,744
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,447
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0,4030
$\text{Co}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}$	-0,28
$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,257
$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0,1375
$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,1262
$2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2$	0
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}$	0,142
$\text{Bi}^{3+} + 2e \rightleftharpoons \text{Bi}$	0,308
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,3419
$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}$	0,7996
$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg}$	0,851
$\text{Pt}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pt}$	1,18
$\text{Au}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Au}$	1,498

Sumber: Vanysek, 2000

Logam yang terletak di atas H dapat bereaksi dengan asam kuat encer menghasilkan gas hidrogen. Semakin ke atas kedudukan logam pada deret volta, maka :

- Logam semakin mudah melepas elektron.
- Semakin mudah mengalami oksidasi.

Sebaliknya, semakin ke bawah kedudukan logam pada deret volta, maka :

- Logam semakin sulit melepas elektron.
- Semakin mudah mengalami reduksi.

2.9 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu senyawa yang dalam larutan air akan menghantarkan arus listrik (*Anonymous* 8, 2012). 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.

2.9.1 Elektrolit Asam

Elektrolit asam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion (H^+), contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat (H_2SO_4), Asam nitrat (HNO_3) dan asam clorida (HCl). Berdasarkan kandungan ion H^+ , elektrolit asam dibagi menjadi tiga, yaitu asam monoprotik, asam diprotik, dan asam triprotik.

1. Asam Monoprotik

Asam monoprotik adalah sebuah asam yang hanya dapat melepaskan satu ion hidrogen per molekul dalam larutan. Reaksi penguraian asam monoprotik dalam larutan adalah sebagai berikut:



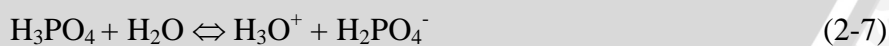
2. Asam Diprotik

Asam diprotik adalah asam dengan molekul menyumbangkan dua proton ke sebuah molekul air, contohnya asam oksalat ($H_2C_2O_4$). Molekul dari asam oksalat terdiri dari dua atom hydrogen, dua atom karbon, empat atom oksigen. Reaksi penguraian asam oksalat ($H_2C_2O_4$) dalam larutan adalah sebagai berikut :



3. Asam Triprotik

Asam triprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbangkan tiga proton ke sebuah molekul air. Contohnya adalah asam fosfat (H_3PO_4). Reaksi penguraian asam fosfat dalam larutan adalah sebagai berikut:



2.9.2 Elektrolit Basa

Elektrolit basa adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion (OH^-). Berdasarkan derajat ionisasinya, basa dibagi menjadi basa kuat dan basa lemah.

- Basa kuat, basa yang memiliki derajat ionisasi sama dengan satu.
- Basa lemah, basa yang memiliki derajat ionisasi lebih kecil dari satu.

Berdasarkan ion OH^- yang dilepas dalam larutan, basa dibagi menjadi basa monohidroksida dan polihidroksida.

- Basa monohidroksida, basa yang melepas satu ion OH^- dalam larutannya.
- Basa polihidroksida, basa yang melepas lebih dari satu ion OH^- dalam larutannya.

2.9.3 Elektrolit Garam

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

2.10 Kerapatan Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron-elektron dalam sebuah penghantar. Tetapi asumsi dalam kenyataan adalah perpindahan muatan listrik dari positif ke negatif. Arus listrik ini tidak akan timbul tanpa adanya tegangan listrik. Tegangan listrik adalah beda potensial antara kutub positif dan negatif. Arus listrik akan berpindah dari beda potensial positif ke negatif.

2.10.1 Hubungan Arus Listrik dengan Rapat Arus

Secara garis besar, arus ada dua macam yaitu arus AC (*Alternating Current* atau bolak balik) dan DC (*Direct Current* atau searah). Perbedaan antara arus AC dan DC adalah jika arus AC mengalir secara bolak balik dari positif ke negatif. Sedangkan arus DC mengalir dari positif ke negatif secara kontinu (tetap). Satuan arus listrik adalah Ampere, yang diartikan sebagai banyaknya muatan yang mengalir tiap waktu.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2-10)$$

Dengan:

I = arus yang mengalir (A)

Q = banyaknya muatan listrik (c)

t = waktu (s)

Berdasarkan hukum Ohm, arus listrik memiliki hubungan matematis dengan tegangan listrik dan hambatan.

$$V = I \cdot R \quad (2-11)$$

Dengan:

V = tegangan listrik (V)

I = arus yang mengalir (A)

R = hambatan (Ω)

Kerapatan arus adalah arus yang mengalir tiap luas permukaan. Satuan rapat arus (J) adalah A/dm^2 . Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$J = \frac{I}{A} \quad (2-12)$$

Dengan:

J = rapat arus (A/dm^2)

I = arus listrik (A)

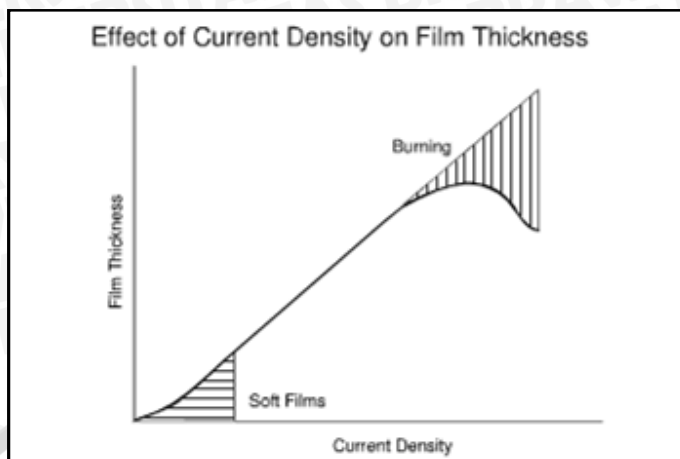
A = luas permukaan (dm^2)

2.10.2 Pengaruh Rapat Arus pada *Anodizing*

Variasi rapat arus yang digunakan pada standar *anodizing* berkisar $1 - 2 A/dm^2$, untuk aplikasi tertentu rapat arus bisa mencapai $3 A/dm^2$. Rapat arus pada variasi tersebut menghasilkan produk yang memiliki permukaan yang halus dan memiliki pori tipis. Ketika rapat arus ditingkatkan, lapisan oksida pada permukaan spesimen dalam larutan elektrolit akan terbentuk dengan cepat, akibatnya lapisan yang terbentuk akan memiliki pori yang lebih banyak, lebih tebal dan keras. Ketika rapat arus yang digunakan semakin tinggi akan memiliki kecenderungan untuk “terbakar” yang diakibatkan terlalu seringnya arus tinggi mengalir pada beberapa daerah tertentu sehingga terjadi *overheating* (Sulka,2008).

Pada gambar 2.3 ditunjukkan pengaruh rapat arus terhadap ketebalan lapisan oksida. Semakin tinggi rapat arus yang digunakan maka semakin tebal pula lapisan oksida yang akan terbentuk. Namun pada nilai rapat arus yang semakin tinggi akan

terjadi penurunan yang disebabkan peluruhan lapisan oksida (Gazapo,1994).



Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Rapat Arus terhadap Ketebalan Lapisan Oksida
Sumber : Gazapo,1994:14

2.11 Lapisan yang Terbentuk pada Proses Anodizing

Lapisan film oksida bisa terbentuk pada logam-logam tertentu, misalnya aluminium, niobium, tantalium, titanium, tungsten, dan zirconium. Lapisan film oksida terbentuk ketika logam-logam tersebut mengalami proses *anodizing*. Film oksida yang dihasilkan memiliki ketebalan, densitas, dan perkembangan *porous* (pori) yang bervariasi, tergantung logam yang digunakan.

Pada aluminium, lapisan film oksida yang terbentuk lebih tebal dan memiliki densitas *porous* yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena aluminium memiliki sifat yang mudah teroksidasi daripada jenis logam lainnya. Aluminium juga membentuk dua tipe lapisan oksida, yaitu: *barrier oxide layer* dan *porous oxide layer*.

2.11.1 Lapisan Tipe Film Oksida

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam aluminium hasil *anodizing* digolongkan menjadi dua, yaitu tipe penghalang (*barrier type oxide film*) dan tipe pori (*Porous-type oxide film*). Gambar 2.4 menunjukkan lapisan oksida tipe pori dan *porous*.

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

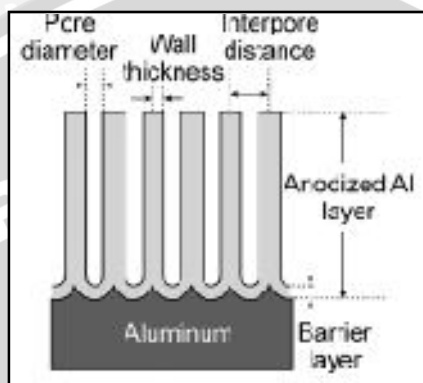
Lapisan tipe *barrier* akan terbentuk pada permukaan aluminium jika aluminium dianodisasi pada larutan netral ($5 < \text{pH} < 7$). Kemampuan larutan ini sangat lemah.

Ketebalan lapisan tipe *barrier* dipengaruhi oleh voltase saat *anodizing* berlangsung. Jika aluminium dianodisasi pada voltase yang tinggi, maka akan

terbentuk lapisan film oksida *barrier* yang tebal. Namun batas maksimum pemberian voltase adalah 500V – 700V. Bila voltase yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak akan terbentuk.

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

Lapisan tipe *porous* akan terbentuk jika aluminium dianodisasi pada larutan asam.



Gambar 2.4 Penampang Melintang Lapisan Oksida Aluminium
Sumber: Sulka,2008:9

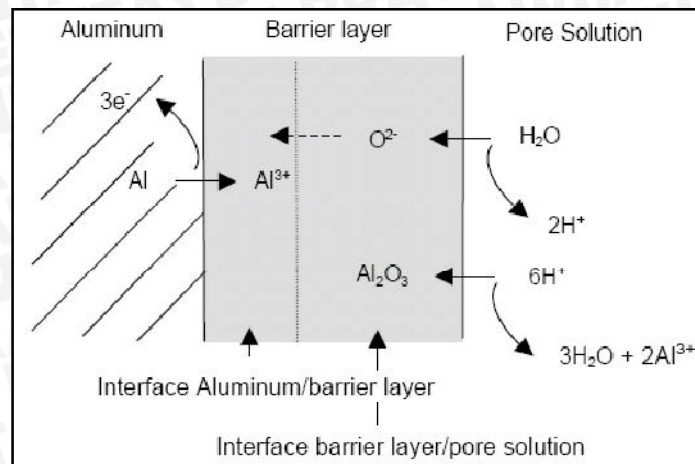
Setiap tipe mengandung lapisan oksida dalam (*inner oxide*) dan lapisan luar (*outer oxide*). *Inner oxide* yang mengandung alumina (Al_2O_3) murni terbentuk karena reaksi antara oksida dan logam. Sedangkan *outer oxide* yang mengandung alumina yang masih terkontaminasi logam anionnya, terbentuk karena reaksi antara oksida dan larutan elektrolit.

2.11.2 Pembentukan Lapisan Oksida Tipe Pori

Pada dasarnya pembentukan lapisan oksida tipe pori harus memperhatikan dua reaksi kimia yang utama, yaitu:



Reaksi pertama (2-13) menunjukkan reaksi pembentukan lapisan oksida aluminium dan reaksi yang kedua menunjukkan reaksi pelarutan kimia dari lapisan oksida dalam larutan elektrolit asam seperti dan asam fosfat. Gambar 2.5 menunjukkan awal dari kedua reaksi tersebut.

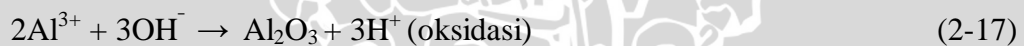


Gambar 2.5 Ilustrasi Proses Terbentuknya Film Oksida *Porous* pada Aluminium
Sumber: Juhl, 2002:5

Pada reaksi pembentukan, ketika arus diberikan maka proses elektrolisa mulai berlangsung. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion. Pada katoda terjadi reaksi reduksi dan pada anoda terjadi reaksi oksidasi. Al pada anoda akan terurai menjadi ion Al^{3+}



Pada permukaan anoda, terjadi reaksi antara ion Al^{3+} dengan oksida atau hidroksida untuk menghasilkan aluminium oksida.



Dalam hal ini, titanium digunakan sebagai katoda dan aluminium sebagai anoda. Titanium memiliki E^0 sebesar -1.66 (V) sedangkan titanium memiliki E^0 sebesar -1.37 (V) sehingga sebagian ion-ion titanium akan berpindah ke permukaan aluminium.

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 yang ada sehingga akan terbentuk gas H_2 .



Ti pada katoda akan terurai karena pengaruh energi yang terpusat menjadi ion Ti^{4+} dan bergerak ke elektroda dengan potensial energi yang lebih rendah.



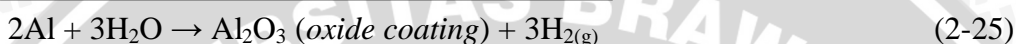
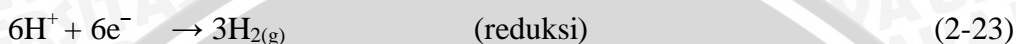
Kemudian terjadi reaksi katoda dan larutan elektrolit yang disebabkan energi listrik.



Setelah itu terjadi proses peluruhan yang dikarena pemberian energi yang terlalu besar melebihi energi ikatan Ti-O pada TiO₂. Reaksi peluruhan yang terjadi adalah sebagai berikut:

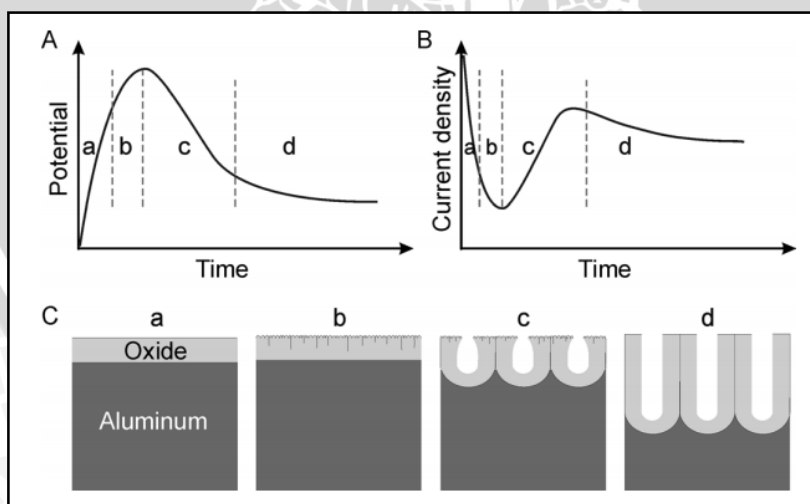


Reaksi redoks adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia. Jika reaksi reduksi dan oksidasi dirangkai dan disetarakan maka akan membentuk reaksi redoks sebagai berikut:



Pada reaksi redoks, zat yang mengoksidasi disebut oksidator, sedangkan zat yang mereduksi disebut reduktor. Potensial listrik yang ditimbulkan akibat reaksi reduksi disebut potensial elektroda (E^0). Semakin mudah suatu unsur mengalami reduksi maka semakin besar potensial elektrodanya.

Ketika arus diberikan maka proses elektrolisa mulai berlangsung. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion, ion negatif akan menuju anoda, sedangkan ion positif akan menuju katoda. Reaksi oksidasi terjadi pada anoda dan reaksi reduksi terjadi pada katoda. Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion Al³⁺ dengan O²⁻ atau OH⁻ dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier*.



Gambar 2.6 Skema Proses Perubahan Lapisan Film Tipe *Barrier* Menjadi Tipe *Porous*
Sumber: Sulka,2008:29

Dalam lapisan *barrier* H₃PO₄ terurai menjadi 3H⁺ + PO₄⁻, ion H⁺ adalah proton yang kemudian membentuk *proton space charge*. Adanya *proton space charge*

memudahkan proses masuknya ion O^{2-} dalam lapisan *barrier*, sehingga lapisan *barrier* baru akan terbentuk.

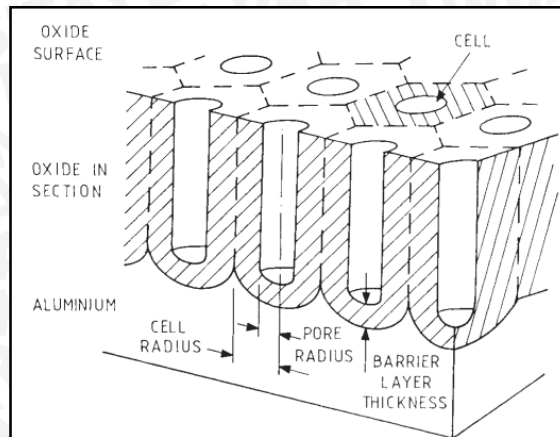
Pada proses perubahan tersebut seperti pada gambar 2.6 di atas, pada daerah *a*, arus yang diberikan besar dan perlahan arus turun. Hal ini disebabkan mulai terbentuknya lapisan oksida yang memberikan tahanan. Semakin tebal lapisan yang dibentuk, maka tahanannya semakin besar pula. Akibatnya arus yang mengalir turun seperti pada daerah *b*. Kemudian dihasilkan permukaan lapisan yang tidak rata. Ketidakrataan ini menyebabkan arus akan terkonsentrasi pada permukaan yang tipis oksidanya (berlubang), kemudian terjadilah proses pelarutan akibat naiknya arus yang menimbulkan aksi medan listrik dan aksi elektrolit. Peristiwa ini terjadi pada daerah *c*. pada daerah ini pori mulai terbentuk. Pada daerah *d* arus akan mencapai level konstan, dimana angka dari pembentukan dan pelarutan lapisan oksida menjadi konstan.

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:



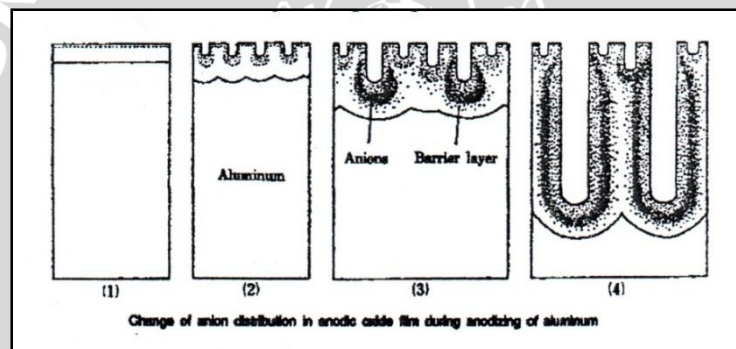
Peluruhan yang terjadi ada dua, yaitu peluruhan secara kimia (*chemical dissolution*) dan peluruhan karena medan listrik yang terlalu besar dan terkonsentrasi (*field-assisted dissolution*). Peluruhan secara kimia karena tingkat keasaman dari elektrolit. Peluruhan karena medan listrik yang terkonsentrasi pada *barrier layer* menyebabkan kenaikan temperatur pada ketebalan lapisan yang lebih tipis sehingga memicu proses peluruhan, ini disebut *local Joule's heating*. Peluruhan karena medan listrik sangat besar, yaitu sekitar 300 nm lapisan oksida yang luruh setiap satu menit dan peluruhan secara kimia lebih lambat, yaitu sekitar 0,1 nm lapisan oksida yang luruh setiap satu menit (dalam Muzaki, 2011: 26).

Lapisan oksida yang terbentuk mempunyai struktur atom heksagonal dengan pori ditengahnya serta lapisan oksida yang terbentuk menyatu dengan logam induknya sehingga sulit untuk terkelupas. Struktur heksagonal tersebut biasa disebut dengan *cell*. Lebih jelasnya, untuk lapisan oksida *porous* yang terbentuk dapat dilihat pada ilustrasi gambar 2.7.



Gambar 2.7 Porous yang Terbentuk pada Aluminium Oxide Layer
 Sumber: Furneaux, 1988

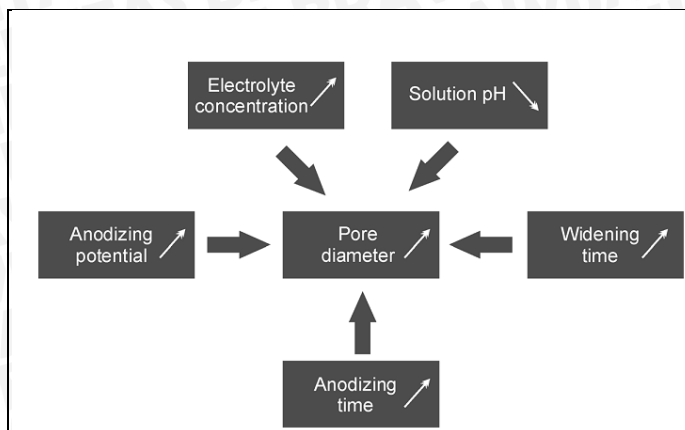
Dalam kenyataannya, kandungan lapisan lapisan oksida tidak hanya aluminium oksida saja, tetapi terdapat zat lain yaitu fosfat dan air dari elektrolitnya. Letak distribusi fosfat dan air dapat ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Perubahan Anion Selama Anodizing
 Sumber: Sato, 1997

Pada gambar 2.8 di atas dapat dilihat bahwa kandungan anion pada lapisan film oksida tidak seragam tetapi distribusinya lebih rapat pada daerah tengah lapisan *barrier* dan dinding pori. Hal ini disebabkan adanya perbedaan konsentrasi air yang terkandung pada dinding pori dan lapisan *barrier*.

Dapat dilihat pada gambar 2.9 parameter yang mempengaruhi besar kecilnya diameter *porous* yang terbentuk salah satunya dipengaruhi oleh besar kecilnya tegangan listrik yang digunakan.



Gambar 2.9 Parameter yang Mempengaruhi Diameter *Porous* pada *Anodizing Aluminium*

Sumber: Sulka,2008:11

2.12 Kekasaran Permukaan

Kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti penyimpangan mesin, getaran, berbagai penyebab regangan pada bahan dan pengaruh-pengaruh lainnya (Pranjono,2008:146). Metode pemeriksaan kekasaran permukaan ada dua macam, yaitu pemeriksaan visual dan pemeriksaan dengan alat ukur.

Pemeriksaan visual merupakan metode paling sederhana untuk menilai kekasaran permukaan pada berbagai bentuk, ukuran dan material benda kerja. Benda kerja dibandingkan dengan spesimen yang memiliki standar tertentu dari proses permesinan tertentu. Perbandingan dapat dilakukan dengan visual dan merabapermukaan benda kerja dan spesimen.

Pemeriksaan dengan alat ukur kekasaran permukaan biasanya menggunakan *surface profilometer*. Alat ini menggunakan *stylus* yang bergerak pada garis lurus sepanjang permukaan yang akan diukur. Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti secara elektronik alat ukur akan melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh *stylus*. Hasil kekasaran kemudian ditampilkan oleh alat dengan menunjukkan kekasaran rata-rata aritmetik (R_a) dan kekasaran total rata-rata (R_z).

2.13.1 Kekasaran Rata-rata Aritmetis (R_a)

Kekasaran rata-rata merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah. Metode pengukuran ini paling umum dipakai.

$$R_a = \sum_{i=1}^n \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad (2-27)$$

Kekasaran rata-rata aritmetis dalam suatu permukaan benda kerja dapat dinyatakan dalam suatu tingkatan atau *grade* yang ditunjukkan dengan huruf dan angka N1 sampai N12, dengan N1 menunjukkan nilai kekasaran rata-rata aritmetisnya adalah kurang dari atau sama dengan 0,025 μm . semakin besar angka *grade* menunjukkan semakin besar nilai kekasaran rata-rata aritmetisnya. Tabel 2.5 menunjukkan *grade* dan nilai kekasaran rata-rata aritmetis.

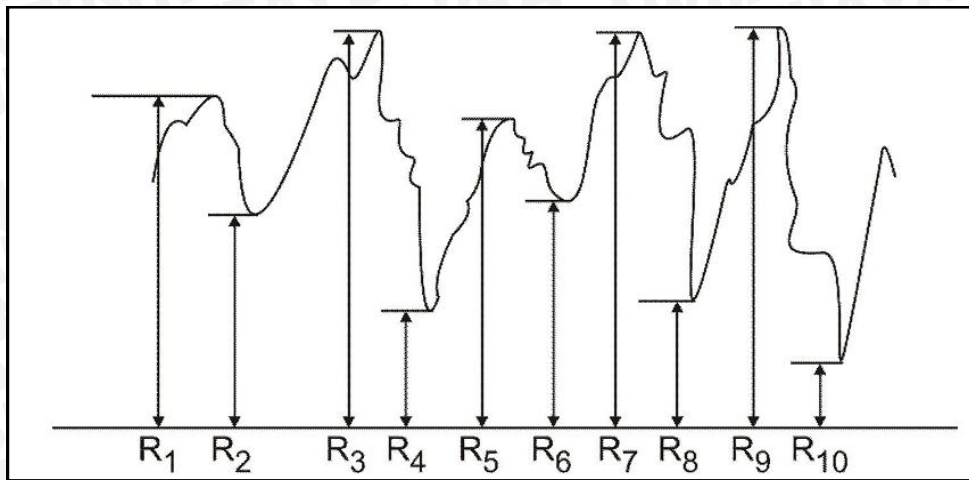
Tabel 2.5 *Grade* Nilai Kekasaran

Nilai Kekasaran R_a (μm)	<i>Grade</i> Kekasaran	Simbol Kekasaran
50	N12	~
25	N11	∇
12.5	N10	∇∇
6.3	N9	∇∇∇
3.2	N8	∇∇∇∇
1.6	N7	∇∇∇∇∇
0.8	N6	∇∇∇∇∇∇
0.4	N5	∇∇∇∇∇∇∇
0.2	N4	∇∇∇∇∇∇∇∇
0.1	N3	∇∇∇∇∇∇∇∇∇
0.05	N2	∇∇∇∇∇∇∇∇∇∇
0.025	N1	∇∇∇∇∇∇∇∇∇∇∇

Sumber: Sharma, 2001

2.13.2 Kekasaran Total Rata-Rata (R_z)

Merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah. Contohnya pada gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Menentukan Kekasaran Rata-rata dari Puncak ke Lembah (R_z)

Sumber : *Anonymous 9: 228*

Cara memperoleh nilai R_z dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_z = \frac{(R_1+R_3+R_5+R_7+R_9) + (R_2+R_4+R_6+R_8+R_{10})}{5} \quad (2-28)$$

Dengan :

R_z = kekasaran total rata-rata

R_1, R_3, \dots, R_9 = jarak profil alas ke profil terukur tertinggi (μm)

R_2, R_4, \dots, R_{10} = jarak profil alas ke profil terukur terendah (μm)

2.12.3 Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Ketahanan Komponen

1. Ketahanan Aus

Kekasaran permukaan antara dua permukaan yang bergesekan sangat mempengaruhi tingkat keausan dari permukaan tersebut. Khususnya pada permukaan yang memiliki lapisan oli tipis, Karen profil puncak dari kedua permukaan yang bertemu akan merusak lapisan tersebut. Naamun kekasaran permukaan tertentu diperlukan untuk menjaga keberadaan lapisan oli tipis sehingga diperlukan nilai optimum kekasaran untuk menyesuaikan dengan kondisi tersebut.

2. Ketahanan Lelah

Goresan dan lembah profil pada permukaan benda kerja menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan sehingga dapat menyebabkan terjadinya retakan. Retakan akan menurunkan kualitas material.

3. Ketahanan Korosi

Profil lembah pada benda kerja menjadi tempat terakumulasinya bahan pengkorosian. Oleh karena itu semakin kasar permukaan maka semakin besar lembah yang ada dan penetrasi korosi yang terjadi semakin dalam. Semakin halus permukaan benda kerja maka semakin sedikit luas kontak dengan media pengkorosian dan kerusakan yang terjadi semakin kecil.

4. Kekuatan Suaian

Kekasaran permukaan juga mempengaruhi kesesuaian antar *part*, terutama tinggi dari *micro irregularities*. Ketika suatu *part* ditekan satu sama lain ujung puncak profil kekasarannya tergerus dan permukaan menjadi halus sehingga menyebabkan kelonggaran.

2.13 Hipotesa

Dari teori dan penjelasan di atas bahwa semakin besar rapat arus yang digunakan serta semakin dekat jarak katoda anoda maka lapisan oksida yang terbentuk akan semakin tebal yang menyebabkan banyaknya *porous* terbentuk sehingga kekasaran permukaannya meningkat.

