

## BAB II

### DASAR TEORI

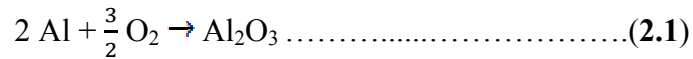
#### 2.1 ALUMINIUM

Dalam penggunaan logam di bidang industri, aluminium merupakan logam yang paling banyak kedua digunakan setelah baja. Hal ini berarti dalam klasifikasi logam *non ferrous*, aluminium merupakan logam yang paling sering digunakan dalam industri. Aluminium merupakan logam yang sangat ringan, dengan berat jenis kurang lebih sepertiga berat jenis baja atau paduan tembaga, yaitu  $2.70 \text{ gr/cm}^3$ <sup>[1]</sup>. Pada sistem periodik unsur, aluminium (Al) terletak pada golongan IIIA periode 3 dengan nomor atom 13 dan massa atom  $26.9815386(8) \text{ g/mol}$ <sup>[5]</sup>.

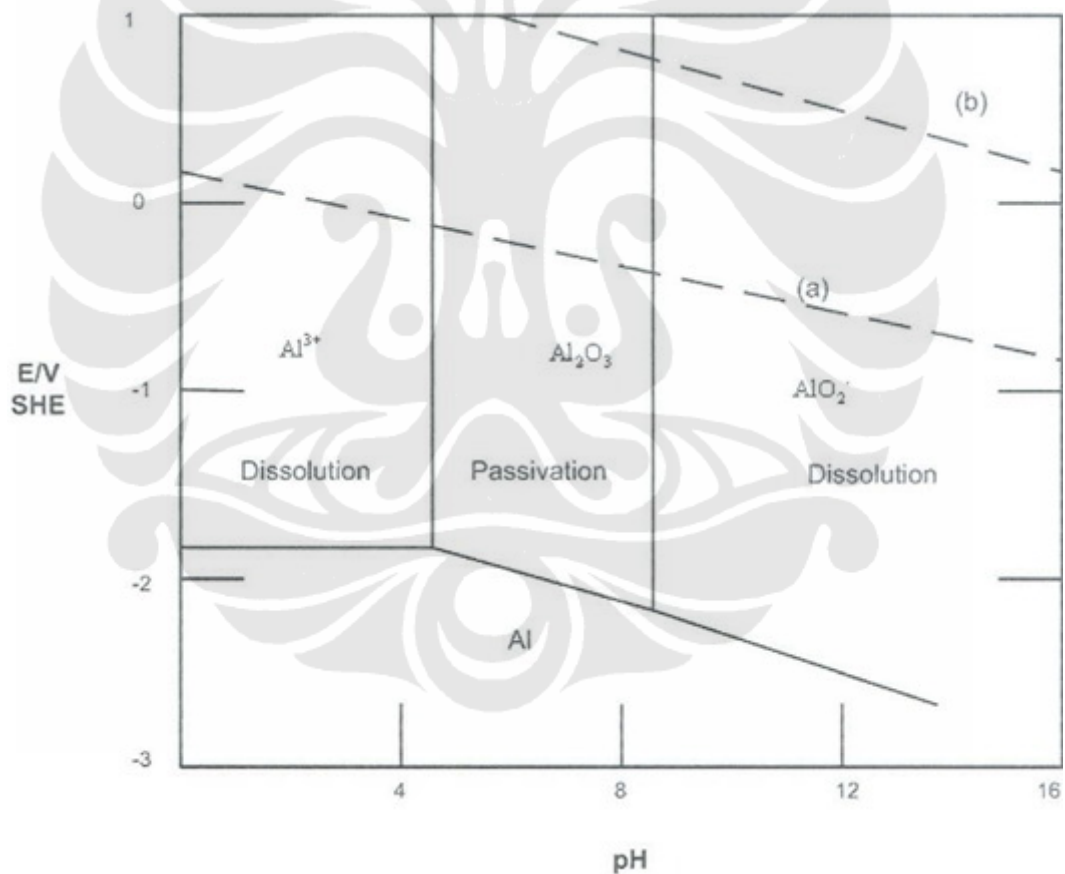
Berbagai sifat aluminium antara lain<sup>[6]</sup> :

1. Memiliki ketahanan yang baik terhadap larutan kimia, cuaca / udara, dan berbagai gas, sehingga membantu ketahanan terhadap korosi
2. Dapat ditingkatkan kekuatan mekanis dan fisiknya dengan penambahan unsur unsur paduan
3. Memiliki sifat reflektivitas yang sangat baik
4. Konduktivitas panas dan listrik tinggi
5. Memiliki sifat elastisitas yang tinggi, sehingga material ini sering digunakan dalam aplikasi yang melibatkan kondisi pembebanan kejut
6. Biaya fabrikasi rendah
7. Mudah ditempa dan dibentuk.

Aluminium sangat reaktif terhadap oksigen, dengan membentuk lapisan oksida di permukaannya. Hal ini terjadi secara alami karena pengaruh reaksi energi bebas yang cukup tinggi untuk mengoksidasi permukaan aluminium.



Lapisan oksida yang terbentuk memiliki sifat yang lebih keras dari logam induk, dengan ketebalan antara  $1 - 30 \times 10^{-6}$  inchi sampai dengan 3 mikron. Selain dapat terbentuk secara alami, lapisan oksida pada permukaan aluminium ini dapat juga di bentuk dengan proses elektrokimia yaitu proses anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan melalui proses ini memiliki ketebalan yang jauh lebih tinggi yaitu  $> 2.5 \mu\text{m}$ . Disamping memiliki nilai ketebalan lapisan yang lebih tinggi, lapisan oksida yang dibentuk dengan proses anodisasi akan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.



**Gambar 2.1** Diagram poubaix Aluminium<sup>[7]</sup>

Salah satu produk aluminium yang banyak diproduksi dan digunakan dalam proses anodisasi belakangan ini adalah aluminium foil. Aluminium foil merupakan lembaran aluminium yang memiliki ketebalan kurang dari 0.1 cm. komposisi dari aluminium foil biasanya adalah hampir murni aluminium, yaitu

sekitar 92% - 99.99% Al. Produk aluminium foil dibuat dengan proses pengecoran yang dilanjutkan dengan *rolling* maupun melalui proses *continuous casting*<sup>[8]</sup>. Bila pada awalnya proses anodisasi lebih banyak diarahkan pada peningkatan nilai estetika dan nilai kekerasan dari material, maka pada perkembangannya saat ini proses anodisasi telah dikembangkan untuk aplikasi pada bidang nanoteknologi. Penggunaan logam aluminium, terutama aluminium foil yang memiliki komposisi hampir 100% Al, diupayakan untuk dapat menjadi *template* material untuk diaplikasikan pada bidang nano teknologi, dan pada akhirnya dapat dimanfaatkan pada industri pesawat terbang, semikonduktor, mikroelektronik, dan lain lain<sup>[33]</sup>.

## 2.2 PRINSIP ANODISASI

Proses anodisasi merupakan salah satu contoh proses elektrokimia yang dapat berlangsung tanpa adanya elektroda (*electroless plating*) yang akan melapisi permukaan logam dasar (*base metal*) yang bertindak sebagai anoda<sup>[9]</sup>. Hal ini membuat proses ini pada akhirnya sangat berbeda dengan proses elektrokimia pada umumnya.

Pada prinsipnya, anodisasi dapat dibagi atas tiga bagian utama, yaitu<sup>[10]</sup>:

1. *Chromic process*

Yaitu proses anodisasi dengan menggunakan asam kromat sebagai larutan elektrolit.

2. *Sulfuric process*

Yaitu proses anodisasi dengan menggunakan asam sulfur sebagai larutan elektrolit.

3. *Hard anodic process*

Yaitu proses anodisasi dengan menggunakan asam sulfur sebagai larutan elektrolit, atau dapat juga ditambahkan berbagai zat aditif lainnya.

Perbedaan utama antara *sulfuric process* dengan *hard anodic process* pada temperatur penelitian (temperatur operasi), penggunaan zat aditif, dan tegangan dan rapat arus yang diberikan pada sel dalam proses operasi<sup>[11]</sup>.

Disamping ketiga proses tersebut diatas, terdapat proses lainnya, yaitu proses anodisasi yang bertujuan untuk hal hal khusus, dengan menggunakan

larutan elektrolit selain asam kromat dan asam sulfur, ataupun penambahan larutan lain. Contohnya adalah dengan menggunakan asam oksalat, asam borat, asam tartaric, asam sulfur yang dicampur asam oksalat, seta berbagai jenis dan campuran larutan lainnya.

Berbagai keuntungan yang diperoleh dengan melakukan anodisasi adalah sebagai berikut<sup>[12]</sup> :

1. Meningkatkan ketahanan korosi
2. Meningkatkan penampilan dekoratif
3. Meningkatkan ketahanan abrasi
4. Meningkatkan ikatan adhesif
5. Menghasilkan isolasi elektrik
6. Mendeteksi cacat permukaan.

### 2.3 PREPARASI

Dalam proses anodisasi dibutuhkan berbagai proses preparasi yang harus dilakukan untuk menghasilkan produk anodisasi yang baik. Preparasi awal yang dilakukan bergantung pada kondisi permukaan sampel yang akan dianodisasi. Untuk proses anodisasi dengan menggunakan larutan elektrolit asam oksalat, dapat dilakukan berbagai jenis preparasi, diantaranya :

- *Alkaline cleaning (degreasing)*, tujuannya adalah untuk menghilangkan kotoran-kotoran berupa lemak, minyak-minyak lapisan film, *scales* atau kotoran padat lainnya dari permukaan logam dengan NaOH.
- *Cold Rinsing*, bertujuan menghilangkan larutan NaOH yang masih menempel pada permukaan logam Al.
- *Desmuting*, dilakukan supaya terbentuk lapisan halus yang merupakan dasar yang baik untuk proses anodisasi.
- *Cold rinsing*, bertujuan untuk menghilangkan semua sisa-sisa zat kimia yang masih tertinggal dengan menggunakan larutan HNO<sub>3</sub> sebelum proses anodisasi.
- *Anodize sulfuric*, menggunakan larutan asam sulfat dengan tujuan untuk pembentukan lapisan oksida pada logam Al.
- *Cold rinsing*, bertujuan untuk menghilangkan asam sulfat pada permukaan logam Al setelah proses anodizing.

- *Sealing*, dicelupkan dalam air panas selama 10 menit, yang bertujuan untuk:
  - Menutup pori-pori yang terbentuk pada proses anodizing
  - Menghilangkan perbedaan kondisi antara logam Al dengan lingkungan.
- *Warm rinsing*, bertujuan untuk memastikan pori-pori tertutup.
- *Drying* (pengeringan)

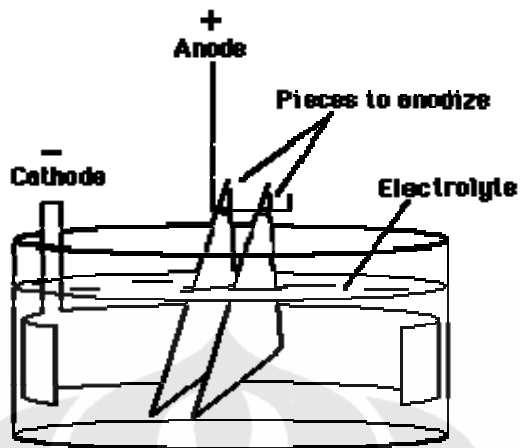
## 2.4 MEKANISME DAN PROSES ANODISASI

Anodisasi merupakan proses elektrokimia untuk meningkatkan ketebalan lapisan oksida pada permukaan logam, meningkatkan ketahanan cuaca (iklim) dan ketahanan korosi. Lapisan yang terbentuk dapat tidak berwarna (transparan) maupun berwarna, tergantung pada komposisi material dan juga proses lanjutan yang dilakukan<sup>[13]</sup>.

Dari hasil permukaan lapisan oksida pada aluminium yang telah mengalami anodisasi, arsitektural permukaan anodisasi dibagi atas dua jenis yaitu<sup>[13]</sup>:

1. Arsitektural kelas I : ketebalan lapisan oksida sama dengan atau lebih dari 18 $\mu$ m (0.7 mil). Direkomendasikan untuk interior maupun eksterior yang diekspos oleh lingkungan.
2. Arsitektural kelas II : ketebalan lapisan oksida antara 10 – 18  $\mu$ m. Bukan untuk digunakan pada kondisi yang rentan terhadap lingkungan yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi.

Dalam proses anodisasi, anoda yang sering digunakan adalah aluminium, tantalum, magnesium, dan titanium. Berbagai material yang disebutkan diatas sering digunakan untuk proses anodisasi karena tingkat kereaktifannya terhadap oksigen yang sangat tinggi, dan nantinya akan menghasilkan lapisan film oksida yang stabil. Secara skematis, proses anodisasi dapat digambarkan sebagai berikut:

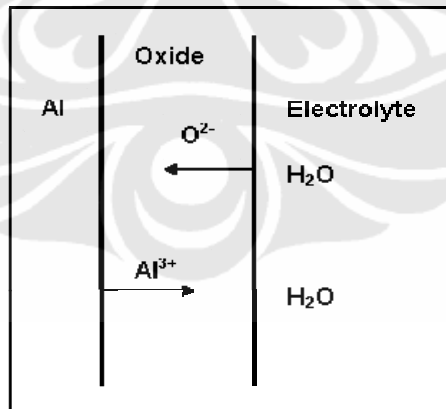


**Both anodizing**

**Gambar 2.2** Skematis proses anodisasi<sup>[14]</sup>

Pada mekanisme anodisasi, aluminium ataupun logam lainnya di posisikan sebagai anoda, dan kemudian digunakan logam inert sebagai katoda. Larutan elektrolit yang digunakan berfungsi untuk membuat rangkaian menjadi suatu rangkaian tertutup. Nantinya pada larutan elektrolit akan terjadi suatu reaksi anodisasi ke permukaan logam aluminium dengan bantuan dari arus dan tegangan dari sumber arus, baik berupa *power supply* maupun *rectifier*<sup>[15]</sup>.

Dalam larutan elektrolit, akan terjadi proses perpindahan ion. Secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut :

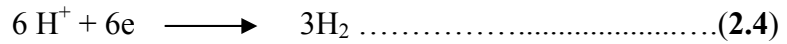


**Gambar 2.3** Transfer ion pada proses anodisasi<sup>[15]</sup>

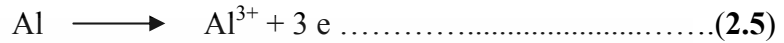
Arus yang mengalir akan membuat pergerakan ion menjadi *mobile*, sehingga elektrolit berupa asam akan terdisosiasi menjadi ion  $H^+$  dan anion asamnya, sementara itu dari air akan terdisosiasi ion  $H^+$  dan  $OH^-$ .



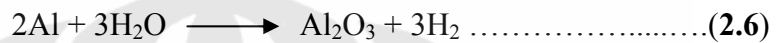
Kation kemudian akan bergerak menuju elektroda negatif (katoda), sedangkan anion menuju elektroda positif (anoda). Sehingga pada bagian katoda akan dilepaskan ion hidrogen berupa gelembung gas.



Pada logam aluminium akan terjadi oksidasi (karena bukan logam inert).

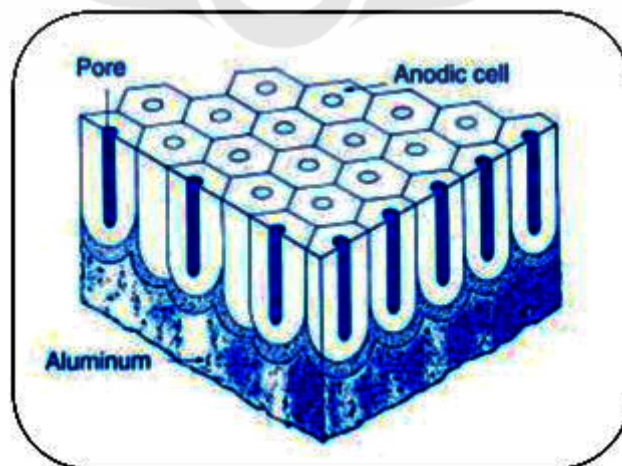


Reaksi keseluruhan yang terjadi adalah



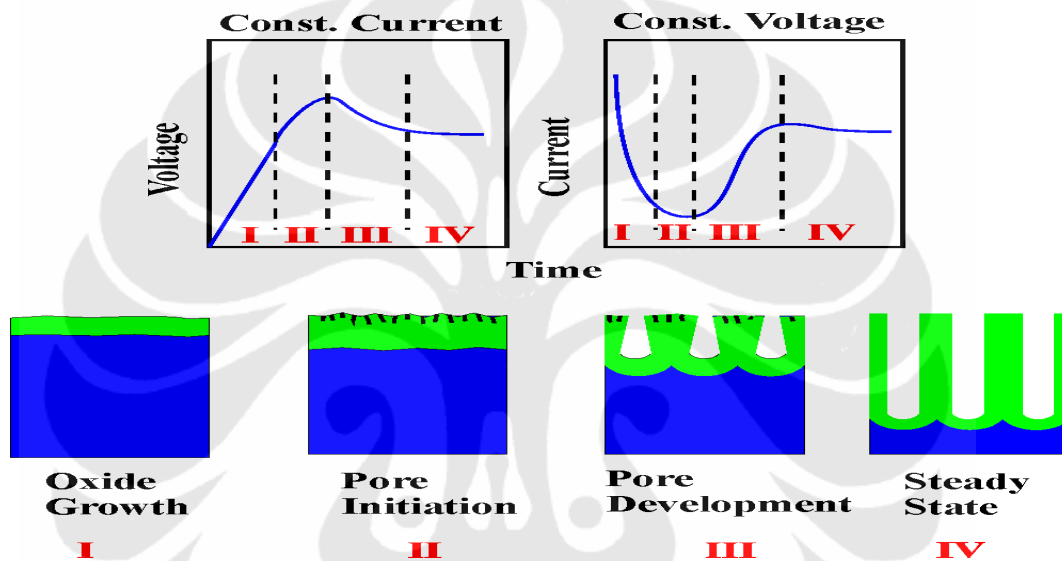
Hasil pertama dari reaksi pergerakan ion ion pada reaksi anodisasi adalah terbentuknya suatu lapisan tipis di permukaan aluminium yaitu *barrier layer*. Lapisan ini terbentuk dari lapisan antarmuka logam dan tidak berbentuk porous. Lapisan ini akan memberikan ketahanan logam terhadap korosi. Setelah lapisan ini terbentuk dan tumbuh hingga mencapai ketebalan maksimal (tergantung pada kondisi proses), maka akan terbentuk lapisan oksida (*porous anodic coating*). Lapisan ini merupakan lapisan yang berbentuk *porous* karena pada awalnya terdiri atas sejumlah silinder yang tumbuh bersamaan. Karena pertumbuhannya bersamaan, maka masing masing sisi dari silinder ini akan bersentuhan dan saling bersinggungan, sehingga pada akhirnya terbentuk lapisan heksagonal yang memiliki pori pada bagian tengahnya.

Reaksi yang terjadi pada pembentukan *porous anodic coating* ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.4** Struktur yang terbentuk pada proses anodisasi<sup>[16]</sup>

Setelah lapisan oksida terbentuk (*barrier layer* dan *porous anodic coating*), proses lanjutan yang dilakukan sangat bervariasi, tergantung dari tujuan dan aplikasi logam tersebut. Untuk proses yang bertujuan menghasilkan kekerasan yang baik dan ketahanan korosi, dilakukan proses *sealing* untuk menutup pori yang ada. Namun untuk penggunaan dalam skala nano, pori ini digunakan sebagai *template* untuk kemudian diisi dengan material lain seperti bismut untuk aplikasi *nanowire*<sup>[17]</sup>.



**Gambar.2.5.**Skematis pembentukan poros anodik pada aluminium (a) arus konstan dan (b) tegangan konstan<sup>[38]</sup>

## 2.5 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PROSES ANODISASI

Hasil dari sebuah proses anodisasi dapat diperoleh sesuai dengan tujuan bila berbagai faktor yang mempengaruhi kondisi proses dapat diatur sedemikian rupa. Faktor faktor utama yang mempengaruhi hasil akhir proses anodisasi adalah jenis material, temperatur, tegangan, rapat arus, jenis larutan elektrolit, konsentrasi larutan elektrolit, lamanya waktu proses anodisasi dan proses agitasi. Setiap faktor yang disebutkan sebelumnya saling mempengaruhi satu sama lain, sehingga dibutuhkan pengaturan yang tepat sehingga diperoleh kondisi proses anodisasi yang optimum. Secara spesifik akan dijelaskan pengaruh faktor faktor tersebut pada proses anodisasi.



### 2.5.1 Material

Unsur dalam material akan menghasilkan efek yang berbeda beda pada proses anodisasi. Tidak pada semua material dapat dilakukan proses anodisasi. Material yang sering digunakan dalam proses anodisasi adalah magnesium, titanium, seng, magnesium dan tantalum<sup>[12]</sup>. Setiap jenis material ini akan menghasilkan jenis lapisan oksida yang berbeda beda, baik dari segi struktur maupun karakteristik fisiknya. Dari antara jenis material tersebut, aluminium merupakan material yang paling sering digunakan.

Aluminium yang digunakan dalam proses anodisasi akan membentuk lapisan oksida berupa aluminium oksida di permukaannya (*barrier layer* dan *porous anodic alumina*). Namun, jenis paduan dalam material aluminium itu sendiri juga akan menghasilkan karakter berbeda dalam lapisan yang terbentuk. Disamping jumlah dan jenis paduan yang terdapat pada material, proses pengerjaan material seperti *rolling* juga turut mempengaruhi respon material terhadap proses anodisasi.

Seperti terlihat pada tabel 2.1 maka komposisi paduan aluminium akan sangat mempengaruhi kemampuan suatu logam aluminium untuk dianodisasi. Disamping itu, karakteristik akhir dan aplikasi logam setelah proses anodisasi juga turut dipengaruhi oleh jenis dan jumlah paduan pada aluminium.

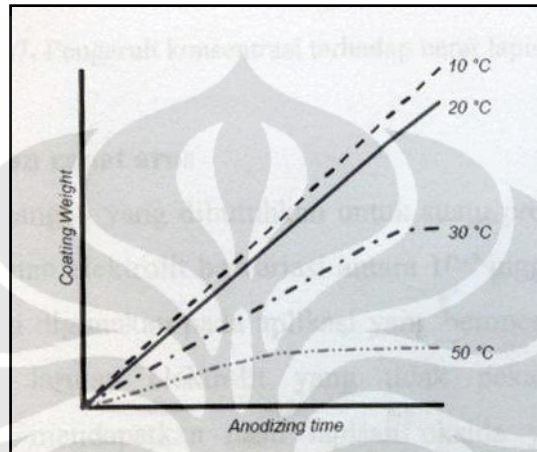
**Tabel 2.1** Pengaruh komposisi aluminium terhadap hasil anodisasi<sup>[16]</sup>

**Aluminum Alloy Reference for Anodizing**

Series (AA)*	Alloying Constituents	Metal Properties	Coating Properties	Uses	A.Q.** Types	Non-A.Q.** Types
1xxx	None	soft conductive	clear bright	cans architectural	none	1100, 1175
<i>Finishing advice: care should be taken when racking this soft material; good for bright coatings; susceptible to etch staining;</i>						
2xxx	Copper	very strong hard low elongation	yellow poor protection	aircraft mechanical	none	2011, 2017 2219, 2224
<i>Finishing advice: since copper content is &gt;2%, these produce yellow, poor weather-resistant coatings; don't mix with other alloys on load;</i>						
3xxx	Manganese	strong small grains	grayish-brown	cans architectural lighting	none	3003, 3004
<i>Finishing advice: difficult to match sheet-to-sheet (varying degrees of gray/brown); used extensively for lighting;</i>						
4xxx	Silicon	strong fluid	dark gray	architectural welding wire	none	4043, 4343
<i>Finishing advice: produce heavy black smut which is hard to remove; 4043 &amp; 4543 used for architectural dark gray finishes in past years;</i>						
5xxx	Magnesium	strong ductile fluid	clear good protection	architectural welding wire lighting	5005, 5657	5052, 5252
<i>Finishing advice: for 5005-keep silicon&lt;0.1% and magnesium between 0.7% and 0.9%; watch for oxide streaks; 5005 used extensively for architectural;</i>						
6xxx	Magnesium & Silicon	strong ductile	clear good protection	architectural structural	6063, 6463	6061, 6101
<i>Finishing advice: matte-iron&gt;0.2%; bright-iron&lt;0.1%; 6063 best match for 5005; 6463 best for chemical brightening;</i>						
7xxx	Zinc	very strong	clear good protection	automotive	none	7029, 7046 7075
<i>Finishing advice: zinc over 5% will produce brown tinted coating; watch zinc in effluent stream; good for bright coatings;</i>						
* AA - Aluminum Association						
** A.Q. - Anodizing Quality - material suitable for architectural anodizing applications						

### 2.5.2 Temperatur

Faktor yang kemudian akan sangat mempengaruhi permukaan logam hasil anodisasi adalah temperatur reaksi anodisasi. Pada temperatur yang semakin tinggi, lapisan hasil anodisasi akan semakin tipis dan lunak, diameter pori yang semakin besar, serta daya serap pori semakin tinggi<sup>[18][19]</sup>.

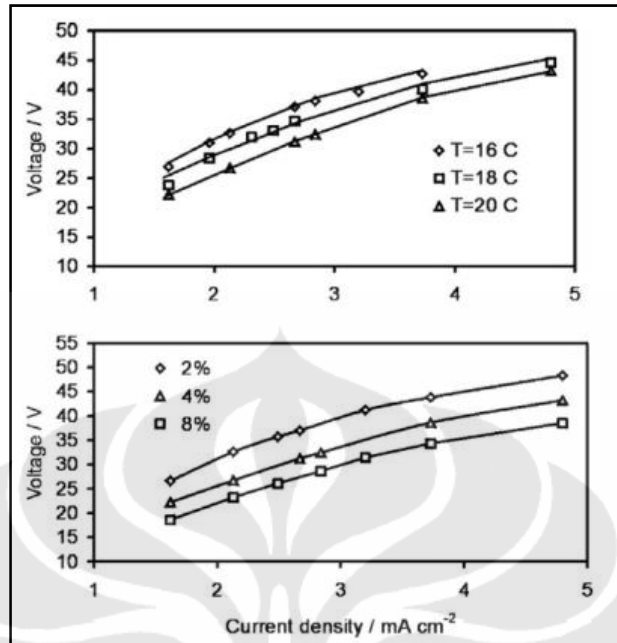


**Gambar 2.6** Pengaruh temperatur terhadap berat lapisan oksida pada waktu anodisasi yang sama<sup>[18]</sup>

Disamping hal tersebut pengaruh lain dari temperatur adalah penetrasi larutan elektrolit dalam pembentukan *porous anodic alumina* juga akan semakin meningkat<sup>[20]</sup>. Bila dihubungkan terhadap faktor lainnya, maka temperatur juga dapat meningkatkan rapat arus pada reaksi anodisasi untuk setiap peningkatan temperatur<sup>[21]</sup>. Penggunaan *magnetic stirrer* juga dimaksudkan untuk menjaga kehomogenan temperatur pada larutan. Bila larutan tidak mengalami agitasi, maka akan terjadi pemanasan lokal pada larutan yang dapat mengakibatkan *burning* pada logam.

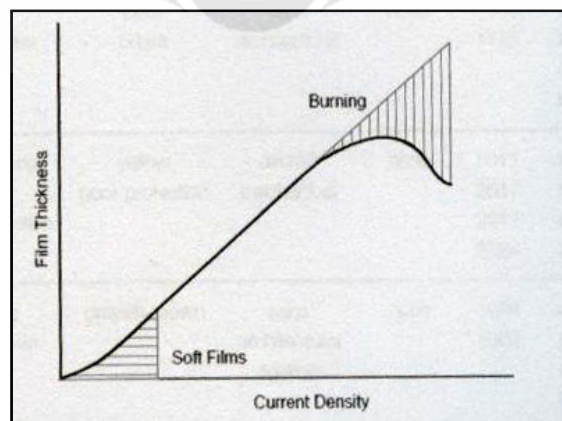
### 2.5.3 Tegangan dan Rapat Arus

Tegangan dan rapat arus merupakan dua faktor yang berbanding linear pada aplikasinya. Pada peningkatan tegangan maka rapat arus akan meningkat, dan sebaliknya<sup>[19]</sup>, pada peningkatan ataupun penurunan nilai rapat arus, tegangan juga akan mengikuti perubahan pada rapat arus. Sehingga, dalam penelitian sederhana biasanya digunakan salah satu faktor saja yang menjadi variabel, sedangkan faktor lainnya dianggap sebanding perubahannya.



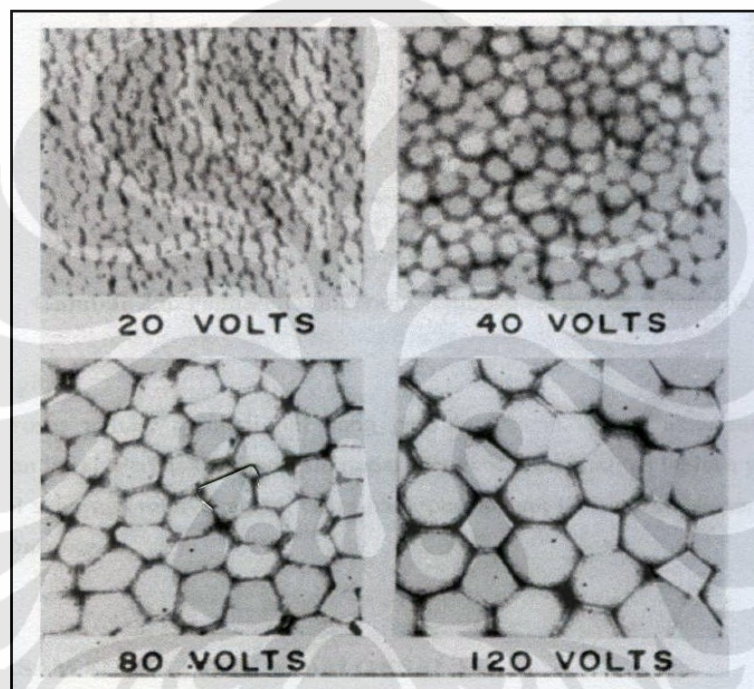
**Gambar 2.7** Korelasi antara tegangan dan rapat arus<sup>[22]</sup>

Tegangan dan rapat arus yang digunakan juga harus mengacu pada kondisi larutan. Untuk larutan dengan konsentrasi rendah dan temperatur rendah digunakan tegangan yang lebih tinggi. Sedangkan untuk temperatur tinggi dan konsentrasi tinggi, sebaiknya digunakan tegangan tinggi<sup>[23]</sup>. Hal ini terjadi karena pada tegangan tinggi maka rapat arus juga semakin meningkat dan temperatur juga akan ikut meningkat<sup>[21]</sup>. Peningkatan tegangan akan meningkatkan ketebalan lapisan oksida<sup>[21][22]</sup>. Namun hal ini hanya akan terjadi hingga suatu titik maksimal yang berbeda-beda, tergantung kondisi larutan dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi. Setelah melewati titik maksimal, tegangan akan terlalu tinggi dan menyebabkan lapisan oksida menjadi rusak dan mengalami *burning*<sup>[24]</sup>.



**Gambar 2.8** Pengaruh rapat arus terhadap ketebalan lapisan oksida<sup>[18]</sup>

Peningkatan tegangan pada proses anodisasi akan meningkatkan diameter pori dan jarak antar pori yang terdapat pada lapisan oksida yang terbentuk<sup>[4][25]</sup>. Hal ini akan terlihat pada pengujian dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) dengan tingkat perbesaran yang cukup tinggi ataupun alat alat optik dalam pengamatan nanoteknologi seperti TEM (*transimission electron microscopy*), FESEM (*field emission scanning electron microscopy*) maupun AFM (*atomic force Microscopy*).



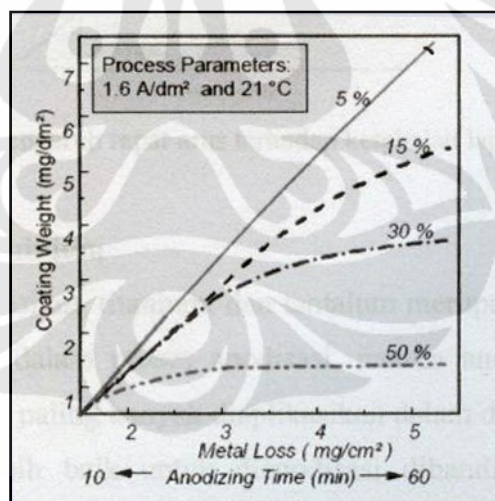
**Gambar 2.9** Pengaruh tegangan terhadap diameter pori yang terbentuk pada lapisan oksida<sup>[4]</sup>

#### **2.5.4 Jenis dan Konsentrasi Larutan Elektrolit**

Faktor paling mendasar yang perlu diperhatikan pada proses anodisasi adalah jenis larutan elektrolit. Produk lapisan oksida pada permukaan logam dapat dihasilkan dengan menggunakan berbagai jenis larutan elektrolit seperti asam sulfat, asam oksalat, asam kromat, asam borat dan berbagai jenis larutan elektrolit lainnya<sup>[26]</sup>. Namun tiap tiap larutan ini akan memberikan karakteristik yang berbeda beda. Sebagai contoh, lapisan oksida yang memiliki kisi kristal berbentuk segitiga, yang sangat dibutuhkan dalam aplikasi mikroelektronik, hanya dapat diperoleh dengan menggunakan asam sulfat<sup>[3]</sup>. Disamping itu, kecepatan laju reaksi dan tingkat efektifitas reaksi sangat dipengaruhi oleh jenis larutan elektrolit yang digunakan. Oleh karena itu perlu disinkronisasikan antara tujuan akhir

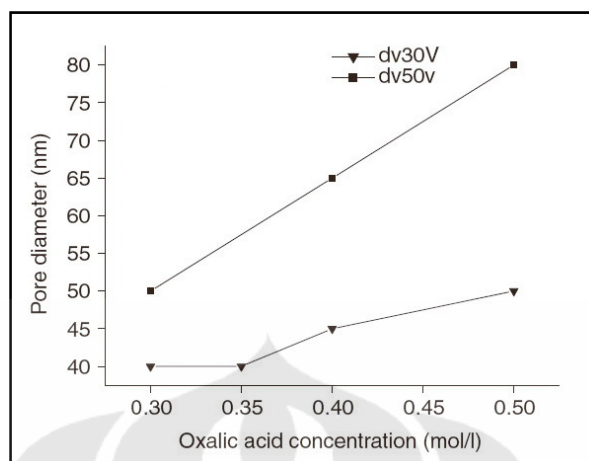
proses anodisasi dengan jenis larutan elektrolit yang digunakan, untuk nantinya diperoleh produk anodisasi yang sesuai.

Apabila jenis larutan elektrolit yang digunakan telah ada, maka hal selanjutnya yang perlu dipertimbangkan dari larutan elektrolit adalah konsentrasi larutan itu sendiri. Hal ini sangat berhubungan dengan sifat dari larutan yang digunakan. Untuk jenis larutan yang bersifat reaktif, maka tidak terlalu dibutuhkan konsentrasi tinggi. Dan sebaliknya untuk larutan yang tingkat kereaktifannya rendah diperlukan konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini menjadi penting karena bila konsentrasi semakin tinggi maka ketebalan lapisan oksida akan semakin tinggi hingga titik maksimal<sup>[19]</sup>. Bila konsentrasi terlalu tinggi, maka lapisan oksida akan semakin tebal dan akhirnya menghabiskan *base metal*<sup>[18]</sup>. Hal ini terjadi karena prinsip anodisasi adalah pengikisan permukaan *base metal* untuk kemudian membentuk lapisan oksida. Bila terlalu banyak *base metal* yang dikikis maka tingkat *weight loss* pada logam tersebut akan semakin tinggi dan akhirnya habis sehingga hanya ada lapisan oksida saja, yang dalam hal ini tidak lagi memiliki karakteristik pelapisan logam.



**Gambar 2.10** Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit terhadap berat lapisan oksida<sup>[18]</sup>

Selain pengaruh konsentrasi terhadap ketebalan, konsentrasi juga berpengaruh pada ukuran pori pada lapisan oksida. Peningkatan konsentrasi akan meningkatkan diameter pori<sup>[24]</sup>.

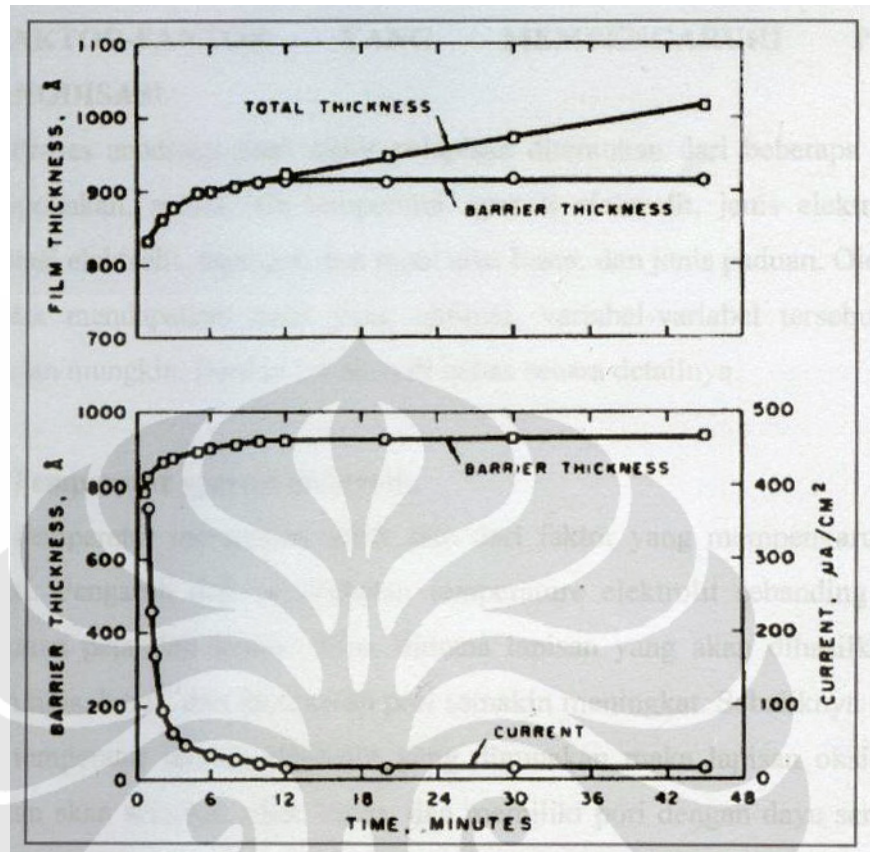


**Gambar 2.11** Pengaruh konsentrasi pada larutan elektrolit asam oksalat dengan diameter pori<sup>[24]</sup>

Seperti telah dijelaskan di awal, jenis dan konsentrasi larutan elektrolit tidaklah mutlak dapat mengontrol hasil proses anodisasi. Sebagai contoh, pada penambahan tegangan yang disertai peningkatan konsentrasi larutan, maka pengaruhnya akan semakin jelas terhadap ketebalan lapisan oksida<sup>[24]</sup>. Oleh karena itu perlu pengaturan yang optimum untuk semua faktor yang digunakan selama proses anodisasi.

### 2.5.3 Waktu Anodisasi

Secara singkat dapat dikatakan bahwa waktu yang singkat akan menyebabkan reaksi antara permukaan logam dengan larutan elektrolit akan menjadi singkat pula. Hal ini akan mengakibatkan lapisan oksida yang dapat terbentuk akan semakin sedikit, dan dalam hal ini dinyatakan dalam nilai ketebalan. Oleh karena itu peningkatan ketebalan dapat dikontrol dengan lamanya waktu anodisasi. Semakin lama waktu anodisasi, maka akan terbentuk lapisan oksida yang semakin tebal, hingga mencapai titik maksimal<sup>[20][33]</sup>. Titik maksimal ini terjadi karena pada reaksi anodisasi semakin lama reaksi, maka ketebalan lapisan oksida meningkat, begitu juga dengan *weight loss* dari *base metal* (gambar 2.11). *Weight loss* yang semakin tinggi akan menyebabkan hasil akhir yang tidak optimum dalam aplikasi dari pembentukan lapisan dipermukaan *base metal*.



**Gambar 2.12** Pengaruh waktu anodisasi terhadap ketebalan lapisan oksida yang terbentuk<sup>[38]</sup>

## 2.6 ASAM OKSALAT

Asam oksalat merupakan asam kuat yang sangat beracun, dengan bentuk berupa padatan kristal  $(\text{COOH})_2$ <sup>[27]</sup>. Asam oksalat merupakan salah satu larutan yang sering di gunakan untuk proses anodisasi, khususnya untuk proses *hard anodizing* dan *special anodizing process*<sup>[28]</sup>.



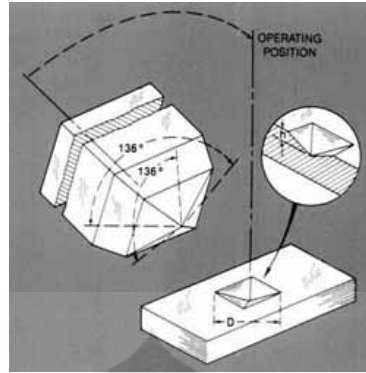
**Tabel 2.2** Contoh berbagai jenis proses anodisasi serta kondisi operasi yang sering digunakan<sup>[28]</sup>

Type of solution	Composition	Current density		Temperature		Treatment, time, min	Use of solution
		A/dm <sup>2</sup>	A/ft <sup>2</sup>	°C	°F		
Sulfuric-oxalic	15-20 wt% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> and 5 wt% H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.2	12	29-35	85-95	30	Thicker coating <sup>(a)</sup>
Phosphoric	20-60 vol% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0.3-1.2 <sup>(b)</sup>	3-12 <sup>(b)</sup>	27-35	80-95	5-15	Preparation for plating
Phosphoric, Boeing process	10-12 wt%	0.5-0.8 <sup>(c)</sup>	5-8 <sup>(c)</sup>	21-24	70-75	20-25	Adhesive bonding preparation
Oxalic	3 wt% H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.2	12	22-	72-	15-60 <sup>(d)</sup>	Harder coating <sup>(e)</sup>

Kondisi operasi proses anodisasi yang dilakukan dengan menggunakan asam oksalat lebih banyak membutuhkan energi. Disamping membutuhkan energi yang lebih banyak dibandingkan dengan proses sejenis dengan menggunakan larutan berbeda, proses anodisasi dengan menggunakan asam oksalat juga biasanya dilakukan pada temperatur yang lebih rendah. Temperatur yang lebih rendah ini juga berkaitan dengan jenis lapisan oksida yang akan dihasilkan, yaitu untuk pembentukan lapisan oksida yang lebih keras (*hard anodizing*).

## 2.7 KEKERASAN MIKRO

Pengujian kekerasan mikro (*micro hardness testing*) umumnya dilakukan dengan menggunakan beban yang rendah (tidak lebih dari 1 kgf) dan menghasilkan jejak indentasi yang kecil (dalam ukuran mikro)<sup>[29]</sup>. Pengujian ini dirancang untuk pengujian pada sampel yang tipis, maupun kecil sehingga tidak dapat dilakukan pada alat uji lainnya<sup>[30]</sup>. Mekanisme pengujian kekerasan mikro adalah dengan melakukan indentasi ke permukaan logam pada nilai beban tertentu dan pada waktu tertentu pula. Indentor yang digunakan adalah berupa material *diamond* berbentuk belah ketupat pada hasil indentasinya. Hasil pengujian kemudian dapat diketahui dengan mengukur rata-rata jarak diagonal hasil penjeakan melalui mikroskop optik yang telah terintegrasi pada alat uji kekerasan ini. Semakin besar rata-rata jarak diagonal (diameter) yang diperoleh, maka semakin rendah pula nilai kekerasan (lunak) logam tersebut.



**Gambar 2.13** Skematis indentasi dengan *vickers microhardness method*<sup>[30]</sup>

Standar pengujian kekerasan mikro terdapat pada ASTM E 384 – 99, *Standart Test Method for Microindentation Hardness of materials*. Hasil kekerasan kemudian dapat diperoleh dari konversi rata rata jarak pada permukaan hasil indentasi dengan rumus<sup>[31]</sup>:

$$HV = \frac{1854.43 \cdot P}{d^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

HV = nilai kekerasan vickers

P = beban (gf)

d = diagonal rata rata indentasi (  $\mu\text{m}$  )