

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ELEKTROLIT
TERHADAP EFISIENSI PROSES ANODIZING
PADA ALUMINIUM PADUAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**MUHAMMAD RACHMATULLAH
NIM. 0610622010-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ELEKTROLIT TERHADAP
EFISIENSI PROSES ANODIZING PADA ALUMINIUM PADUAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

MUHAMMAD RACHMATULLAH
NIM. 0610622010

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met
NIP. 19551117 198601 1 001

Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ELEKTROLIT TERHADAP
EFISIENSI PROSES ANODIZING PADA ALUMINIUM PADUAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**MUHAMMAD RACHMATULLAH
NIM. 0610622010**

Skripsi ini telah diuji dan telah dinyatakan lulus pada
Tanggal 06 Januari 2010

DOSEN PENGUJI :

Skripsi I

Skripsi II

Ir.Masduki, MM
NIP. 19450816 197009 1 001

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Komprehensif

Ir. Bardji Hadi Pranoto
NIP. 19450714 198103 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat Rahmat dan KaruniaNya, penyusun dapat menyelesaikan penelitian dalam bentuk skripsi dengan judul “Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap Efisiensi Proses *Anodizing* Pada Aluminium Paduan”.

Penyusunan skripsi ini dilaksanakan untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan dan mendapatkan gelar S-1 Sarjana Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Selain itu penyusunan skripsi ini juga dilaksanakan untuk menerapkan ilmu-ilmu pengetahuan yang telah didapatkan selama perkuliahan.

Dalam menyusun skripsi ini, penyusun mendapatkan bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Secara khusus rasa terima kasih yang dalam ditujukan kepada :

1. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE., selaku Sekretaris Jurusan Periode 2007 – 2009
3. Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Periode 2009 – 2011
4. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian ini di laboratorium beliau, juga sebagai dosen pembimbing I, yang telah banyak meluangkan waktunya membimbing dengan penuh kesabaran.
5. Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE., sebagai dosen pembimbing II, yang telah memberikan banyak saran dan dorongan semangat.
6. Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Mesin.
7. Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Teman – teman di Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak membantu.

Segala usaha terbaik penyusun kerahkan dalam menyelesaikan skripsi ini, namun dengan keterbatasan yang dimiliki, skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala saran yang membangun selalu dinantikan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi siapa saja yang menggunakannya.

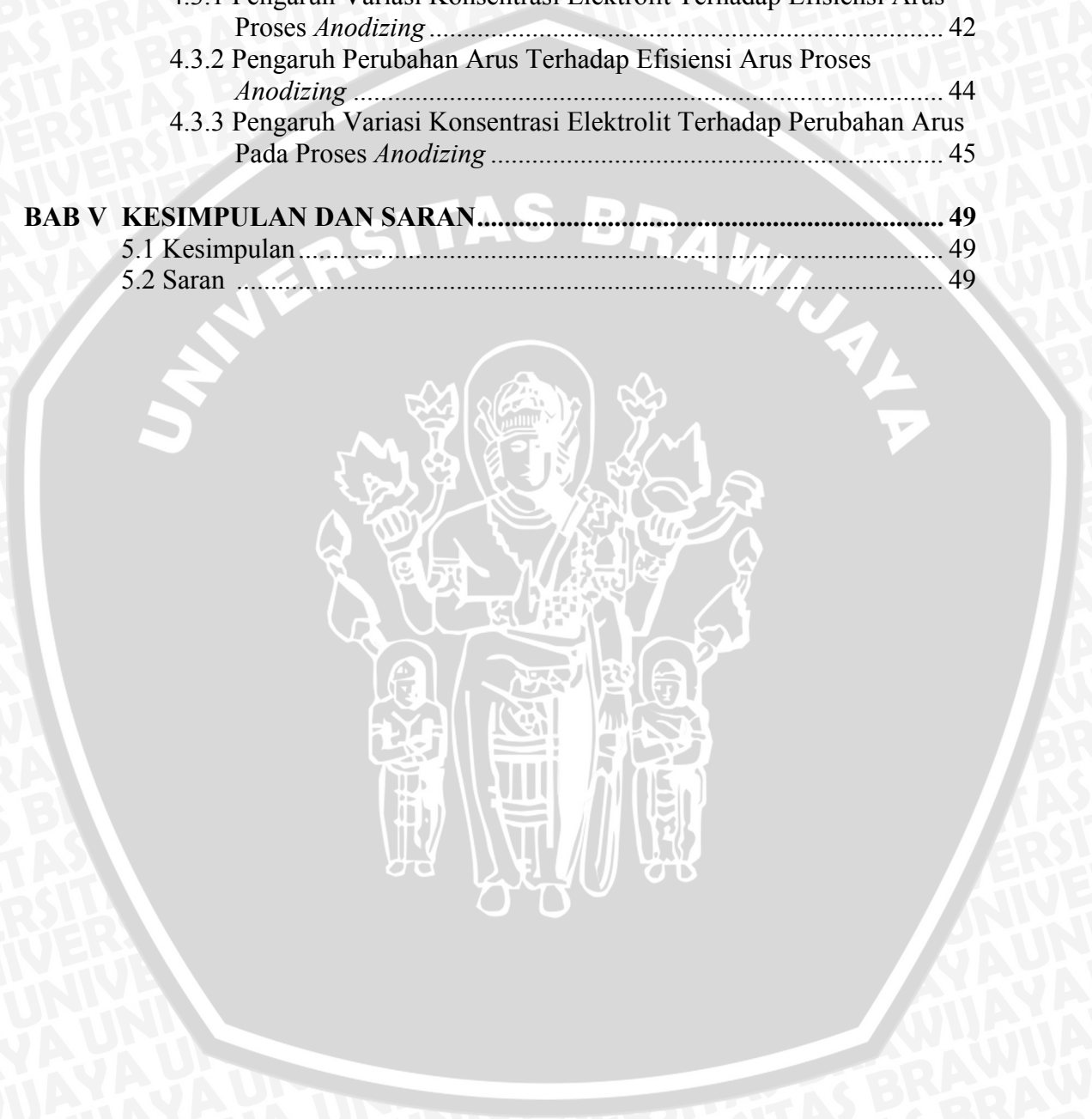
Malang, Desember 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Aluminium	4
2.2.1 Aluminium dan Paduannya	5
2.3 Ciri Fisik dan Sifat Aluminium Paduan	6
2.4 Proses Elektrokimia	7
2.4.1 Elektrolit	8
2.4.2 Elektrolisis	9
2.4.3 Reaksi <i>Red-Ox</i> (Redoks)	10
2.5 Pelapisan Logam Secara Listrik	12
2.6 <i>Anodizing</i>	13
2.6.1 Klasifikasi dan Tipe <i>Anodizing</i>	14
2.7 Lapisan Oksida Pada Aluminium	16
2.7.1 Tipe Lapisan Oksida Pada Aluminium	16
2.7.2 Pembentukan Lapisan Oksida Tipe Pori	18
2.8 Hukum Faraday	21
2.9 <i>Current Efficiency</i> (η) pada proses <i>anodizing</i>	22
2.10 Hipotesis	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Variabel Penelitian	24
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	24
3.4.1 Peralatan yang Digunakan	24
3.4.2 Bahan yang Digunakan	25
3.5 Prosedur Penelitian	25
3.6 Rancangan Penelitian	27
3.6.1 Analisa Kecukupan Data	27
3.6.2 Analisa Varian Satu Arah	29
3.7 Diagram Alir Penelitian	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Analisa Data	32
4.1.1 Data Hasil Proses <i>Anodizing</i>	32
4.1.2 Data Hasil Perhitungan.....	34
4.2 Analisa Statistik.....	
4.2.1 Analisa Varian Satu Arah.....	40
4.3 Pembahasan Grafik.....	42
4.3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Elektrolit Terhadap Efisiensi Arus Proses <i>Anodizing</i>	42
4.3.2 Pengaruh Perubahan Arus Terhadap Efisiensi Arus Proses <i>Anodizing</i>	44
4.3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Elektrolit Terhadap Perubahan Arus Pada Proses <i>Anodizing</i>	45
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	 49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses pelapisan logam merupakan sel elektrolitik	9
Gambar 2.2	Reaksi redoks (reaksi reduksi pada logam Cu, reaksi oksidasi logam Zn).....	10
Gambar 2.3	Skema ilustrasi proses <i>anodizing</i>	13
Gambar 2.4	Dua tipe lapisan oksida yang terbentuk pada proses <i>anodizing</i> aluminium	17
Gambar 2.5	Penampang melintang lapisan oksida tipe <i>barrier</i> dan tipe <i>porous</i>	18
Gambar 2.6	Ilustrasi dari proses awal terbentuknya film oksida <i>porous</i> pada aluminium	18
Gambar 2.7	Skema proses perubahan lapisan film tipe <i>barrier</i> menjadi tipe <i>porous</i>	19
Gambar 2.8	<i>Porous</i> yang terbentuk pada <i>aluminium oxide layer</i>	20
Gambar 2.9	Perubahan distribusi <i>anion</i> selama <i>anodizing</i>	21
Gambar 3.1	Dimensi spesimen	26
Gambar 4.1	Grafik pengaruh variasi konsentrasi elektrolit terhadap efisiensi arus proses <i>anodizing</i>	42
Gambar 4.2	Berturut – turut dari kiri ke kanan, Aluminium hasil <i>anodizing</i> pada larutan elektrolit dengan konsentrasi 15 %, 17,5 % dan 20 %.....	43
Gambar 4.3	Grafik pengaruh perubahan arus terhadap efisiensi arus proses <i>anodizing</i>	44
Gambar 4.4	Grafik pengaruh variasi konsentrasi elektrolit terhadap perubahan arus pada proses <i>anodizing</i>	45
Gambar 4.5.	Aluminium hasil <i>anodizing</i> pada konsentrasi elektrolit 10 %	46
Gambar 4.6.	Aluminium hasil <i>anodizing</i> pada konsentrasi elektrolit 12,5 %	47
Gambar 4.7.	Aluminium hasil <i>anodizing</i> pada konsentrasi elektrolit 15 %	47
Gambar 4.8.	Aluminium hasil <i>anodizing</i> pada konsentrasi elektrolit 17,5 %	48
Gambar 4.9.	Aluminium hasil <i>anodizing</i> pada konsentrasi elektrolit 20 %	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa.....	5
Tabel 2.2	Klasifikasi Paduan Aluminium Tuang	6
Tabel 2.3	Petunjuk umum jenis pelapisan <i>anodizing</i>	6
Tabel 2.4	Potensial elektroda standar saat 25°C.....	12
Tabel 3.1	Rancangan Penulisan Data Hasil Perhitungan efisiensi proses <i>anodizing</i>	27
Tabel 3.2	Koefisien Tingkat Keyakinan.....	28
Tabel 3.3	Tabel Analisa Varian Satu Arah.....	30
Tabel 4.1	Data proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 10%.....	33
Tabel 4.2	Data proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 12,5%.....	33
Tabel 4.3	Data proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 15%.....	34
Tabel 4.4	Data proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 17,5%.....	34
Tabel 4.5	Data proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 20%.....	34
Tabel 4.6	Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 10%.....	38
Tabel 4.7	Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 12,5%.....	38
Tabel 4.8	Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 15%.....	39
Tabel 4.9	Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 17,5%.....	39
Tabel 4.10	Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses <i>anodizing</i> pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 20%.....	39
Tabel 4.11	Penulisan data hasil penghitungan nilai efisiensi arus proses <i>anodizing</i> dengan variasi konsentrasi elektrolit.....	40
Tabel 4.12	Tabel Analisa Varian Satu Arah.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel Distribusi F (α ; v_1 ; v_2) untuk $\alpha = 5\%$	50
Lampiran 2 : Alat, Spesimen dan Hasil Penelitian	51



RINGKASAN

Muhammad Rachmatullah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2009, *Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap Efisiensi Proses Anodizing Pada Aluminium Paduan*. Dosen Pembimbing : Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met dan Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE.

Aluminium menjadi logam yang populer, dan seringkali digunakan sebagai bahan baku industri, diantaranya industri transportasi, industri kelistrikan, industri konstruksi, dan masih banyak lagi. Aluminium merupakan logam yang sangat reaktif, hal ini disebabkan aluminium mempunyai sifat mudah berikatan kimia dengan oksigen. Oleh karena itu apabila aluminium dibiarkan dalam udara bebas dalam waktu yang cukup lama, maka akan terbentuk lapisan oksida. Lapisan ini meningkatkan ketahanan terhadap aus. *Anodizing* adalah sebuah proses elektrokimia yang mengubah permukaan logam aluminium menjadi sebuah lapisan oksida, dimana lapisan ini mempunyai ketahanan aus yang lebih baik daripada lapisan aluminium dibawahnya. Proses *anodizing* ini membentuk lapisan pelindung dari logam dasarnya, sehingga lapisan ini menjadi satu kesatuan dengan logam dasarnya dan sulit terkelupas.

Pada penelitian ini dilakukan proses *anodizing* terhadap aluminium paduan (97,6% Al) selama 20 menit. Menggunakan arus DC dengan tegangan 12V dan jarak antar elektroda adalah 75 mm. Dan dengan memvariasikan konsentrasi larutan elektrolit asam sulfat dimulai dari konsentrasi 10 % sampai dengan 20 % dengan interval 2,5 %. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan elektrolit terhadap efisiensi arus proses *anodizing* pada aluminium paduan. Dengan mencatat perubahan arus yang terjadi ketika proses *anodizing* berlangsung pada masing – masing variasi konsentrasi. Dari data simpangan arus yang terjadi pada proses *anodizing* dapat diperoleh massa yang hilang secara teoritis (berdasarkan hukum faraday) untuk kemudian dibandingkan dengan massa yang hilang secara aktual sehingga diperoleh nilai efisiensi arus proses *anodizing*.

Hasil pengolahan data menunjukkan nilai efisiensi menunjukkan tren naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi elektrolit sampai pada besaran tertentu. Hal ini juga dapat dilihat secara makro pada aluminium hasil *anodizing*, meski tidak terlalu signifikan pada aluminium hasil *anodizing* dengan konsentrasi lebih tinggi terlihat lebih bagus (warnanya lebih cerah). Tetapi setelah melewati besaran maksimum (20 %) nilai efisiensi turun ke angka kurang dari 50 %. Pada kenyataannya aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi elektrolit 17,5 % dan 20 % tampak bahwa permukaan hasil *anodizing* berwarna gelap dan kusam apabila dibandingkan dengan aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi yang lain. Proses *anodizing* menghasilkan aluminium hasil *anodizing* yang baik secara tampak rupa pada proses dengan nilai efisiensi arus yang tinggi.

Kata kunci : *anodizing*, konsentrasi larutan elektrolit, simpangan arus, efisiensi arus proses *anodizing*

SUMMARY

Muhammad Rachmatullah, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2009, *The effect of electrolyte concentration to current efficiency process anodizing of Aluminium alloy*, Academic Supervisor: Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met dan Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE..

Aluminium becomes popular metal, and it's often used as industrial raw material, among others transportation industry, electrical industry, construction industry, and many more. Aluminium is a very reactive metal, it's because Aluminiums are easily make bond with oxygen. Therefore if Aluminium is putting down in free air in a sufficient time, they'll make a natural oxide layer at the surface. This oxide layer will increase wear resistance. Anodizing is a process of electrochemical which can change Aluminium surface into an oxide layer, which already mentioned that this oxide layer's wear resistances are better than Aluminium under the layer. This Anodizing process form a barrier layer from the basic metal through the electrochemical process, so this layer is become one with the metal and difficult to be peeled off.

In this study anodizing process is performed to Aluminium alloy (97.6% Al) for about 20 minutes. Using DC as type of current with 12 Volt and the distance between electrodes is 75 mm. Using Sulfuric acid electrolyte variation of concentration started from 10 % up to 20 % with interval 2.5 %. The aim in this study is to understand the effect of electrolyte concentration to current efficiency process anodizing of Aluminium alloy. By noting change of current that happened when process of anodizing take place at each concentration. From current deviation data that happened at anodizing process, can be obtained loss mass theoretically (based on faraday law) then later compared to actual loss mass so that obtained current efficiency value anodizing process.

The Result from data processing show that efficiency value is tends to go up along with increasing electrolyte concentration until maximum limit. This is also can be seen by looking to Aluminium from the anodizing process, even it's not too significant the result of anodizing look better on higher concentration. But after the maximum limit (20 %), efficiency value go down to number less than 50 %. On practically the result of anodizing at concentration 17,5 % and 20 % looks dark and matt on the surface if compared to Aluminium result of anodizing at other concentration. Anodizing process have a good result in the anodizing process with high current efficiency value.

Key words: anodizing, electrolyte concentration, current deviation, current efficiency process anodizing

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aluminium menjadi logam yang populer, dan seringkali digunakan sebagai bahan baku industri, diantaranya industri transportasi, industri kelistrikan, industri konstruksi, dan masih banyak lagi. Selain itu aluminium memiliki ketahanan korosi, konduktivitas thermal dan konduktivitas elektrik yang lebih baik daripada baja. Sehingga sedikit demi sedikit aluminium mulai menggeser peran baja dalam dunia industri.

Aluminium merupakan logam yang sangat reaktif, sehingga tidak pernah ditemukan logam aluminium murni pada lingkungan yang berkontak langsung dengan udara. Hal ini disebabkan aluminium mempunyai sifat mudah berikatan kimia dengan oksigen, oleh karena apabila aluminium dibiarkan dalam udara bebas dalam waktu yang cukup lama, maka akan terbentuk lapisan oksida tipis di atas permukaan aluminium tersebut. Lapisan tersebut disebut dengan "lapisan oksida natural". Akan tetapi karena lapisan yang terbentuk sangat tipis sehingga belum mampu melindungi permukaan aluminium terhadap korosi ataupun goresan.

Anodizing merupakan salah satu cara dalam pelapisan logam dengan menggunakan proses elektrokimia. *Anodizing* pada aluminium bertujuan untuk mendapatkan lapisan oksida pada permukaan aluminium. Dimana lapisan oksida tersebut akan memberikan sifat protektif maupun dekoratif pada permukaan aluminium tersebut. Proses *anodizing* pada aluminium mampu meningkatkan ketahanan gesekan, korosi serta mampu meningkatkan kekerasan (Rajagopal, 200:247-248). Selain itu aluminium hasil *anodizing* juga bisa dicelupkan pada larutan pewarna sehingga membuat tampilan aluminium menjadi lebih menarik.

Pada proses *anodizing* aluminium terdapat banyak parameter yang dapat mempengaruhi proses pembentukan lapisan, antara lain rapat arus, tegangan, jenis dan konsentrasi larutan elektrolit, waktu dan temperatur larutan elektrolit yang digunakan selama proses berlangsung. Pada penelitian kali ini parameter yang dikontrol adalah konsentrasi asam sulfat pada larutan elektrolit. Selanjutnya akan diamati pengaruh penambahan asam sulfat terhadap reaksi ionisasi yang terjadi, sebagai salah satu tolak ukur efisiensi dari proses *anodizing*. Dengan demikian dapat diperoleh hasil yang

maksimal pada proses *anodizing*. Karena pertimbangan diatas sudah semestinya menjadikan penelitian ini penting untuk dilakukan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimanakah pengaruh konsentrasi asam sulfat sebagai larutan elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing* pada aluminium?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, untuk memberikan penjelasan terhadap isi pembahasan supaya permasalahan yang timbul nantinya tetap pada masalah semula maka perlu diambil batasan - batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan sebagai anoda adalah aluminium paduan dengan kadar aluminium sebesar 97,6 %.
2. Menggunakan larutan elektrolit asam dengan variasi konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) 10 %, 12,5%, 15%, 17,5%, 20%
3. Power supply yang digunakan adalah arus DC dengan tegangan 12 volt.
4. Jarak elektroda saat elektrolisis 75 mm.
5. Suhu ruangan pada proses *anodizing* berlangsung adalah 27°C.
6. Pembahasan terkait pada efisiensi proses *anodizing*.
7. Tidak membahas struktur mikro yang terjadi akibat proses *anodizing*.
8. Tidak membahas estimasi biaya.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam sulfat pada larutan elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing* aluminium paduan.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi ilmiah bagi praktisi dalam bidang pelapisan logam menggunakan proses *anodizing*, dapat digunakan sebagai masukan dalam peningkatan efisiensi proses *anodizing*.

2. Bagi peneliti lain akan dapat digunakan sebagai data awal untuk meneliti pengaruh yang lain dalam proses *anodizing* dalam penelitian selanjutnya.
3. Pembaca dapat mengetahui proses pelapisan logam aluminium menggunakan metode *clear anodizing*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

M.A. Hill, D.P. Butt dan R. S. Lillard (1998) dalam penelitiannya menemukan keterkaitan antara perubahan pH dengan perubahan densitas arus yang terjadi. Dan pada penelitian yang sama terjadi perubahan potensial elektroda seiring dengan perubahan densitas arus pada proses *anodizing*. Perubahan densitas arus yang terjadi akan berpengaruh terhadap *Current Efficiency* (η) pada proses *anodizing*.

Achim Walter Hassel dan Detlef Diesing (2007) pada penelitian sebelumnya berkesimpulan bahwa lapisan oksida tipis yang terbentuk pada aluminium pada proses *anodizing* tergantung pada elektrolit dan kenaikan perubahan potensial elektroda. Yang menunjukkan adanya keterkaitan antara densitas arus pada proses *anodizing* dengan tebal lapisan oksida yang terbentuk.

Masatoshi Sakairi, Hiroomi Miyata, Tatsuya Kikuchi, dan Hideaki (2009) dalam penelitian yang mereka lakukan memperlihatkan bahwa perbedaan elektrolit menimbulkan perbedaan densitas arus yang terjadi dan potensial elektroda yang terjadi. Sehingga menimbulkan angka *Current Efficiency* (η) yang berbeda pula pada setiap elektrolit.

2.2. Aluminium

Aluminium adalah salah satu logam ringan dan reaktif yang bersifat non-ferromagnetis. Dengan permukaan yang mengkilat. Logam aluminium mempunyai daya pantul yang baik terhadap cahaya dan pancaran gelombang elektromagnetik. Aluminium mempunyai panas jenis $890 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$ dan titik lebur yang rendah ini bermanfaat untuk proses pemurnian aluminium, akan tetapi menjadi kendala dan keterbatasan untuk aplikasinya dalam suhu tinggi.

Aluminium murni adalah penghantar panas dan listrik yang baik, dalam paduannya kemampuan kehantaran ini dipengaruhi oleh logam pepadunya. Konduktivitas panas aluminium dengan komposisi 99,99 % pada suhu 20°C adalah 235 W/mK dan kehantaran listriknya adalah $37,67 \text{ m/W.mm}^3$. 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 logam lain maka 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, 1990:137), selain itu dengan proses perlakuan panas dan pelapisan juga mampu meningkatkan kualitas dari logam aluminium

2.2.1 Aluminium dan Paduannya

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang terkenal dan sempurna adalah standar AA (*Aluminium Association*) yang dikembangkan oleh Amerika Serikat didasarkan atas standar yang terdahulu dari AICOA (*Aluminium Company Of America*). Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

1. *Aluminium Wrought Alloy*

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *rolling, extruding, drawing, forming, forging*, dan sebagainya. Untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat. Menurut standar AA, paduan aluminium tempa dinyatakan dalam 4 angka. Angka pertama menyatakan unsur utama paduan. Angka kedua menyatakan adanya modifikasi dari paduan. Sedangkan angka ketiga dan keempat menyatakan jumlah minimum aluminium dalam paduan. Pada tabel dibawah ini ditunjukkan penggolongan paduan aluminium tempa serta serinya.

Tabel 2.1. Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa

UNSUR UTAMA PADUAN	SERI
Aluminium dengan kemurnian minimum 99% atau lebih	1XXX
Tembaga	2XXX
Mangan	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium dan Silikon	6XXX
Seng	7XXX
Unsur-unsur yang lain	8XXX

Sumber: De Garmo (1970:159)

2. Aluminium Cast Alloy

Pada paduan ini bentuk produk yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku. Sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk akhir produk untuk kemudian *difinishing*. Penandaan paduan ini juga dinyatakan menggunakan standar AA dengan 4 angka. Angka pertama menyatakan unsur utama paduan. Angka kedua dan ketiga menyatakan jumlah minimum aluminium dalam paduan. Dan angka terakhir dipisahkan dengan tanda pecahan desimal menyatakan bentuk produk, untuk bentuk akhir produk (*final shape*) dinyatakan dengan angka 0, sedangkan untuk bentuk ingot dinyatakan dengan angka 1 atau 2. Tabel 2.2 menunjukkan penggolongan paduan aluminium tuang dan serinya.

Tabel 2.2. Klasifikasi Paduan Aluminium Tuang

UNSUR UTAMA PADUAN	SERI
Aluminium dengan kemurnian minimum 99% atau lebih	1XXX
Tembaga	2XXX
Silikon dengan Tembaga dan atau Magnesium	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Seng	6XXX
Tin	7XXX
Unsur-unsur yang lain	8XXX

Sumber: De Garmo (1970:164)

2.3. Ciri Fisik dan Sifat Aluminium Paduan

Karakteristik dari lapisan *anodizing* dipengaruhi oleh komposisi dan sifat paduannya. Dengan kata lain paduan aluminium dan struktur metalurginya mempengaruhi ciri pelapisan, baik densitas, warna, kecerahan, ketebalan, maupun penampilannya. Tabel 2.3 memberikan petunjuk umum tentang pengaruh sifat paduan terhadap jenis dan tujuan pelapisan *anodizing*.

Tabel 2.3. Petunjuk umum jenis pelapisan *Anodizing*

Al alloy	Komposisi nominal (%)	Bright anodizing	Protective anodizing	Colour anodizing	Hard anodizing
1080 A	99,8 Al	4	4	4	5
1050 A	99,5 Al	4	4	4	5

1200	99Al	3	4	4	5
3103	1,25Mn	3	4	3	4
5251	2,25Mg	3	4	4	4
5154	3,5Mg	2	4	4	4
5056	5Mg	2	3	3	3
6063	0,5Mg, 0,5Si	3	4	4	4
2031	2Cu ; 1Ni ; 0,9Mg ; 0,8Si	1	2	2	3
2014	4,25Cu ; 0,75Si ; 0,75Mn ; 0,5Mg	1	1	2	2
7020	4Cu ; 2Ni ; 1,5Mg	5	4	4	4
6061	1Mg ; 06Si ; 0,25Cu ; 0,25Cr	2	3	4	4
6082	1Si ; 0,6Mg ; 0,5Mn	2	2	3	3

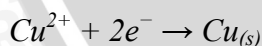
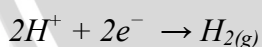
5 = best response ; 1 = poorest response

Sumber : Rajagopal, C (2000:276)

2.4. Proses Elektrokimia

Ilmu elektrokimia adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara perilaku elektrositas dan reaksi kimia. Pada proses ini, akan terjadi perpindahan ion. Proses ionik ini menghasilkan arus yang disebabkan oleh pertukaran dan perpindahan (*transport*) ion-ion positif dan negatif yang tergabung dalam transport unsur kimia.

Bila arus elektrik mengalir seperti waktu elektroda metalik yang dicelupkan kedalam larutan elektrolitik, ion-ion yang bermuatan bereaksi dengan elektroda. Selanjutnya, elektron masuk kedalam larutan elektrolit sehingga diperoleh reaksi reduksi pada elektroda yaitu :



Pada saat elektron meninggalkan elektrolit diperoleh reaksi oksidasi yang terjadi pada elektroda yaitu :



2.4.1. Elektrolit

Elektrolit adalah komposisi kimia yang membantu terjadinya proses elektrokimia. Saat reaksi kimia berlangsung elektrolit akan bereaksi menghasilkan ion-ion. Berdasarkan ion-ion yang terbentuk elektrolit dibedakan menjadi :

a) Elektrolit asam (*acidic electrolyte*)

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 klorida (HCl). Elektrolit-elektrolit asam tersebut bila dilarutkan dalam pelarut (biasanya adalah air) maka akan terurai menjadi ion H^+ .

b) Elektrolit alkali (*alkali electrolyte*)

Adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion (OH^-). Contoh dari elektrolit alkali adalah soda api (*caustic soda*), apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion Na^+ dan ion OH^- .

c) Elektrolit garam cair (*molten salt electrolyte*)

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

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan asam yang paling sering digunakan dalam proses *anodizing*. Molekul dari asam sulfat dari dua atom hidrogen, satu atom belerang dan empat atom oksigen. Asam sulfat memiliki karakteristik sebagai berikut :

- *Melting Point* : 10,3 °C
- *Boiling Point* : 338 °C
- *Formula Weight* : 98,08
- *Density* : 1,94

Asam sulfat adalah asam kuat yang diperoleh dari pemecahan belerang trioksida (SO_3) dalam air.

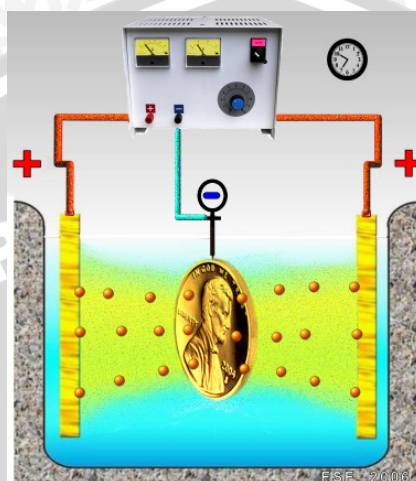


Kekuatan dari asam menggambarkan kemampuannya untuk terionisasi dalam larutan yang mengandung air. Sebagai contoh, asam sulfat merupakan asam kuat yang ion-ionnya terpisahkan sempurna selama proses elektrolisis, dan semua hidrogen yang terpisahkan dalam asam adalah ion hidrogen (H^+).



2.4.2. Elektrolisis

Sel tempat berlangsungnya peristiwa reaksi kimia yang melibatkan arus listrik disebut sel elektrokimia. Sel elektrokimia dapat dibedakan menjadi sel elektrolitik (*electrolytic cell*) dan sel galvanik (*galvanic cell*). Sel elektrolitik adalah sel elektrokimia yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi agar dapat terjadi reaksi kimia. Proses yang terjadi dalam sel elektrolitik biasa disebut elektrolisis.



Gambar 2.1 Proses pelapisan logam merupakan sel elektrolitik
Sumber : Anonim (2007)

Sel galvanik merupakan kebalikan dari sel elektrolitik, dimana reaksi kimia yang terjadi dalam sel menghasilkan arus listrik. Contoh dari sel galvanik adalah baterai, karena reaksi kimia dalam sel elektrokimia baterai dapat membangkitkan energi listrik yang dapat digunakan sebagai sumber energi.

Faraday menunjukkan bahwa jumlah zat yang bereaksi pada elektroda-elektroda sel elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah arus yang melalui sel tersebut. Dan bila jumlah arus tertentu melalui beberapa sel elektrolisis maka akan dihasilkan jumlah ekuivalen masing-masing zat.

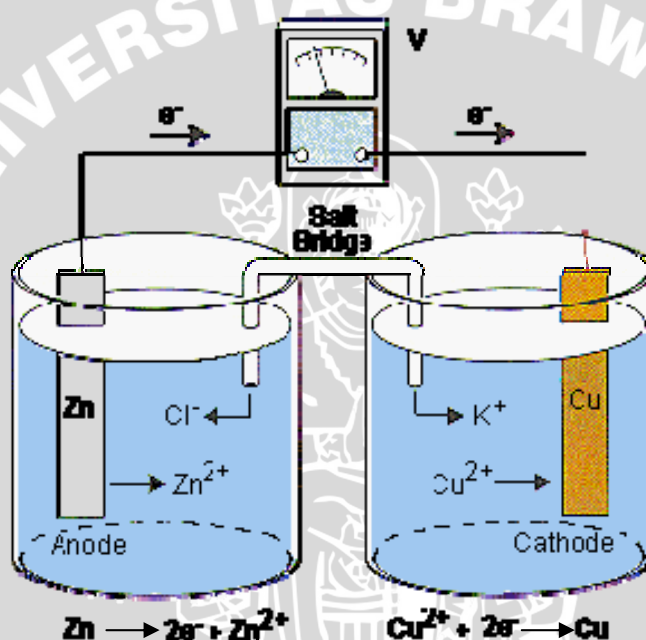
Pada umumnya, reaksi elektrolisis dapat dipercepat dengan cara meningkatkan arus listrik melalui sirkuit (*cell*) dan dapat dilakukan dengan cara :

- a) Meningkatkan beda potensial antar elektroda.
- b) Menurunkan resistensi dalam sirkuit dengan cara :
 - 1) Mengatur variabel *resistor* pada resistensi rendah.
 - 2) Memperpendek jarak dua elektroda.
 - 3) Menggunakan elektroda dengan permukaan yang lebih luas.
 - 4) Meletakkan elektroda lebih dalam agar semua permukaan elektroda terendam dalam larutan.

- 5) Meningkatkan konsentrasi larutan elektrolit.
- 6) Mengurangi efek polarisasi jika gelembung gas terdapat dalam elektroda.
- 7) Meningkatkan temperatur elektrolit.

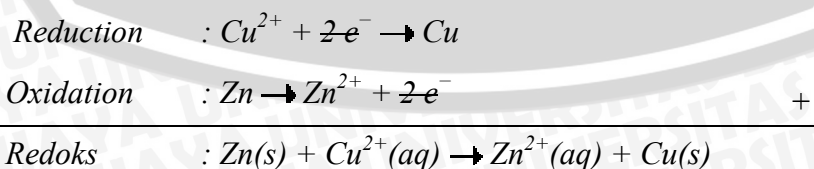
2.4.3. Reaksi *Red-Ox* (Redoks)

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, 1989:25). Contohnya seperti pada gambar 2.2 logam seng (Zn) sebagai anoda dan tembaga (Cu) sebagai katoda yang dicelupkan pada larutan yang sama.



Gambar 2.2. Reaksi redoks (reaksi reduksi pada logam Cu, reaksi oksidasi logam Zn)
Sumber : Bodner Research Web (2009)

Pada reaksi tersebut ion Cu akan mengalami penurunan bilangan oksidasi dari Cu^{2+} menjadi Cu. Sedangkan ion Zn akan mengalami peningkatan bilangan oksidasi dari Zn menjadi Zn^{2+} . Secara lengkap dirumuskan sebagai berikut :



Reaksi oksidasi yaitu suatu perubahan kimia ketika :

- Suatu zat melepaskan elektron
- Suatu unsur mengalami penambahan bilangan oksidasi

- Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda (anodik)

Reaksi reduksi yaitu suatu perubahan kimia ketika :

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

Pada reaksi redoks zat yang mengoksidasi disebut oksidator, sedangkan zat yang mereduksi disebut reduktor.

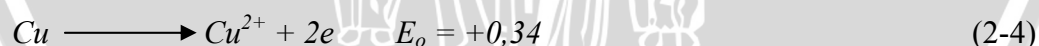
Potensial listrik yang ditimbulkan akibat reaksi reduksi disebut potensial elektrode (E_o). Semakin mudah suatu unsur mengalami reduksi, maka makin besar potensial elektrodanya.

Harga potensial elektroda aktual dalam suatu reaksi reduksi tidak dapat dihitung (N.V Parthasaradhy, 1989:24). Sebab tidak ada reaksi reduksi yang berlangsung tanpa diikuti reaksi oksidasi. Oleh karena itu harga potensial elektroda yang dipakai adalah harga potensial elektroda relatif yang dibandingkan terhadap suatu elektroda standar.

Harga potensial elektroda lebih tepat disebut potensial reduksi standar atau potensial elektroda standar (E_o). Elektroda yang dipakai sebagai standar dalam menentukan harga potensial elektroda adalah hidrogen. Cara memperolehnya dengan mereaksikan gas hidrogen murni pada elektrode platina (Pt) yang bersentuhan dengan larutan asam, sehingga terjadi kesetimbangan :



Harga potensial elektrode dari reaksi diatas ditetapkan 0 volt ($E_o = 0$). Kemudian harga potensial elektroda standar dari semua reaksi adalah harga yang dibandingkan terhadap potensial elektroda standar hidrogen, contoh :



Ini berarti Cu memiliki harga potensial elektroda 0,34 volt lebih besar dibandingkan dengan hidrogen.

Potensial elektroda standar (E_o) dari semua reaksi reduksi larutan asam maupun basa ditunjukkan pada tabel 2.4. Besarnya $E_o \text{ cell} = E_o \text{ reduksi} + E_o \text{ oksidasi}$. Semakin positif harga E_o maka logam akan mudah mengalami reduksi dan sulit teroksidasi. Logam ini disebut logam pasif atau logam mulia. Sedangkan harga E_o yang semakin negatif maka logam itu akan mudah teroksidasi dan sulit tereduksi. Logam ini disebut logam yang aktif dan reaktif.

Tabel 2.4. Potensial elektroda standar saat 25°C

Standart Reduction Potentials at 25°C, 1 M, 1 Atm

HALF-REACTION	E° (V)
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3,05
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{K}(\text{s})$	-2,93
$\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ba}(\text{s})$	-2,90
$\text{Sr}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sr}(\text{s})$	-2,89
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ca}(\text{s})$	-2,87
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2,71
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2,37
$\text{Be}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Be}(\text{s})$	-1,85
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1,66
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}(\text{s})$	-1,18
$2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$	-0,83
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0,76
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}(\text{s})$	-0,74
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0,44
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{s})$	-0,40
$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	-0,31
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Co}(\text{s})$	-0,28
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0,25
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$	-0,14
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s})$	-0,13
$2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0,00
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	+0,13
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+(\text{aq})$	+0,15
$\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+0,20
$\text{AgCl}(\text{s}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$	+0,22
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	+0,34
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-(\text{aq})$	+0,40
$\text{I}_2(\text{s}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{I}^-(\text{aq})$	+0,53
$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 4 \text{OH}^-(\text{aq})$	+0,59
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	+0,68
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+0,77
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	+0,80
$\text{Hg}_2^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Hg}(\text{l})$	+0,85
$2 \text{Hg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}(\text{aq})$	+0,92
$\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+0,96
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Br}^-(\text{aq})$	+1,07
$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,23
$\text{MnO}_2(\text{s}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,23
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14 \text{H}^+(\text{aq}) + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 7 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,33
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$	+1,36
$\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Au}(\text{s})$	+1,50
$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) + 5 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,51
$\text{Ce}^{4+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}^{3+}(\text{aq})$	+1,61
$\text{PbO}_2(\text{s}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,70
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,77
$\text{Co}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{2+}(\text{aq})$	+1,82
$\text{O}_3(\text{g}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+2,07
$\text{F}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{F}^-(\text{aq})$	+2,87

strong reducing agent

strong oxidizing agent

Sumber : www.pembinatrails.com (2000)

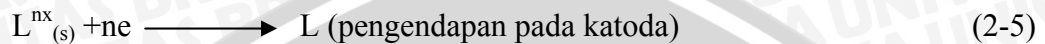
2.5. Pelapisan Logam Secara Listrik

Pelapisan logam adalah metode yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan korosi. Salah satu jenis pelapisan logam adalah pelapisan elektrik. Pada pelapisan elektrik digunakan proses elektrolisis dengan melibatkan dua

elektroda yang dialiri arus listrik searah. Elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif (+) disebut anoda, sedangkan yang dihubungkan dengan kutub negatif (-) disebut katoda. Pelapisan elektrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a) Pelapisan Katodik

Adalah pelapisan dengan menggunakan proses elektrolisis dengan tujuan untuk melapisi logam katoda, dengan cara mengorbankan anoda. Reaksi yang terjadi pada katoda sesuai dengan persamaan :



Salah satu aplikasi dari pelapisan katodik adalah elektroplating nickel.

b) Pelapisan Anodik

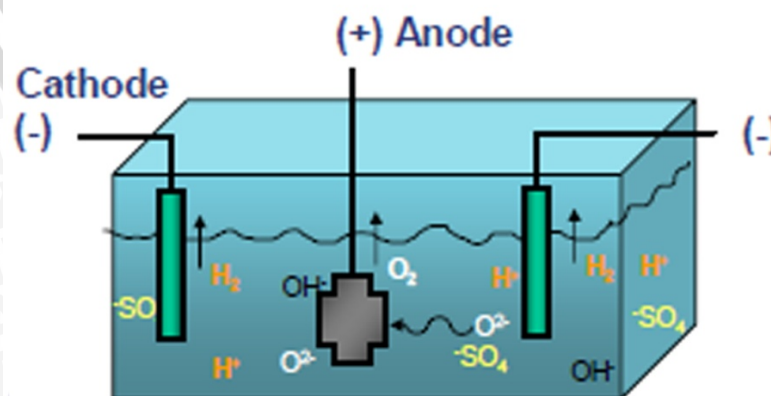
Pelapisan ini dilakukan melalui proses *anodizing*, yaitu suatu proses elektrokimia dengan tujuan agar benda kerja teroksidasi. Pada pelapisan anodik tidak ada logam lain yang dikorbankan untuk pelapisan, seperti pada pelapisan katodik.

2.6 Anodizing

Anodizing dapat diklasifikasikan sebagai *oxide-conversion coating* (pelapisan konversi-oksida). Proses ini pada umumnya proses ini lebih banyak digunakan pada aluminium, karena aluminium adalah logam elektronegatif sehingga memiliki daya tarik menarik yang kuat dengan oksigen.

Anodizing didefinisikan sebagai proses oksidasi secara elektrolitik yang mengkonversi permukaan logam yang bersifat anodik sampai mencapai ketebalan dan karakteristik yang lain. Hal ini dilakukan dengan harapan, material yang terlapis secara oksidasi dapat memenuhi karakteristik akhir yang diinginkan (Rajagopal, 2000:250).

Pada proses *anodizing*, lapisan oksida akan dihasilkan pada anoda, dan terjadi pelepasan gas H₂ pada katoda. Secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema ilustrasi proses *anodizing*
Sumber : Ruben A. Prado, CEF (2007:3)

Reaksi yang terjadi pada saat *anodizing* dapat dilihat pada persamaan reaksi di bawah ini :

- 1) Proses yang terjadi pada anoda adalah proses oksidasi pada permukaan anoda :



Logam aluminium bereaksi dengan air dan menghasilkan lapisan oksida.

- 2) Proses yang terjadi pada katoda adalah proses reduksi pada permukaan katoda :



Gas hidrogen terbentuk pada katoda dalam bentuk gelembung selama proses *anodizing*.

- 3) Apabila proses tersebut dirangkai akan membentuk reaksi redoks :



Jadi pada *anodizing* dihasilkan Al_2O_3 pada anoda dan pelepasan gas H_2 pada katoda.

2.6.1 Klasifikasi dan Tipe *Anodizing*

Berdasarkan jenis arus listrik yang digunakan *anodizing* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *DC anodizing* dan *AC anodizing* (Sato, 1997:2)

- 1) *DC anodizing*

DC anodizing adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus listrik searah (*direct current*). *Anodizing* tipe ini bertujuan untuk memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan tinggi. *DC anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yakni *continuous anodizing* dan *pulse anodizing*.

- a) *Continuous anodizing*

Adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan besar arus yang dialirkan konstan selama proses *anodizing*.

- b) *Pulse anodizing*

Adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan rapat arus terputus-putus secara periodik. Tujuannya untuk menjaga temperatur agar tetap konstan dan stabil.

- 2) *AC anodizing*

AC anodizing adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus bolak-balik (*alternating current*). *Anodizing* tipe ini bertujuan untuk memperoleh hasil pelapisan dengan kekerasan yang rendah. Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan *aluminium foil*.

Apabila pembuatan *aluminium foil* menggunakan arus *DC*, maka akan diperoleh hasil *anodizing* dengan tingkat kekerasan yang tinggi sehingga dapat mengakibatkan aluminium foil akan mudah patah jika mendapat tekukan atau dirol. Namun apabila pembuatan *aluminium foil* menggunakan arus *AC* maka akan diperoleh aluminium foil yang mampu tekuk dan mudah dirol, karena kekerasannya rendah dan lapisan oksidanya tipis.

Berdasarkan ketebalan lapisan yang dihasilkan, *anodizing* dibedakan menjadi tiga macam tipe 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 2,5 micron). Proses ini sedikit berpengaruh terhadap kekuatan *fatigue*, dan sedikit korosif.

Oleh karena itu idealnya digunakan untuk bagian yang kompleks. Tipe ini sangat baik untuk pelapisan aluminium cor. Paling banyak proses ini digunakan untuk kebutuhan militer dan aplikasi pada industri luar angkasa dan mempunyai fungsi dekoratif.

2) *Sulfuric Acid Anodizing (SAA)*

Tipe yang kedua ini adalah tipe yang 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 naik sampai 1 mils (25 micron).

Sulfuric 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 industri komputer.

3) *Hard Coating Anodizing (HCA)*

Pada tipe yang ketiga ini dibutuhkan larutan elektrolit dengan konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi dan temperatur yang lebih rendah. Diharapkan akan dihasilkan kulit luar yang keras dengan ketahanan abrasi yang baik sekali, ketahanan korosi, ketahanan terhadap pemudaran warna, kekuatan dielektrik dan mempunyai permukaan yang sangat keras (rockwell C-scale naik sampai 70). Ketebalan lapisan yang dihasilkan dari 0,5 sampai 5 mils (12,5 sampai 125 micron).

Logam yang dihasilkan dari proses *hard anodizing* ini kekerasannya meningkat. Umumnya logam hasil *hard anodizing* digunakan dalam bahan non-dekoratif seperti peralatan pengemas makanan, pengerol kertas mesin fotokopi, piston, silinder, dan *gear*.

2.7. Lapisan Oksida Pada 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, tergantung dari jenis logam yang dipakai.

Untuk logam aluminium, lapisan film oksida yang terjadi adalah lapisan yang unik. Karena logam aluminium dapat membentuk lapisan film oksida yang lebih tebal dan mengandung densitas *porous* yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena aluminium lebih mudah teroksidasi daripada logam jenis lain, seperti digambarkan pada tabel 2.4. Selain itu logam aluminium dapat membentuk dua tipe lapisan oksida, dimana logam lain memiliki keterbatasan dalam hal ini. Dua lapisan oksida tersebut yaitu : *barrier oxide layer* dan *porous oxide layer*.

2.7.1 Tipe dari Lapisan Oksida Pada Aluminium

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 (pHmendekati 7) seperti pada larutan yang dibentuk melalui pencampuran antara *boric acid* dan *ammonium borate*, *tetrate*, 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.

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

Tetapi, bagaimanapun juga tidak mungkin melakukan *anodizing* pada voltase yang sangat tinggi, karena batas maksimum pemberian voltase adalah 500V – 700V.

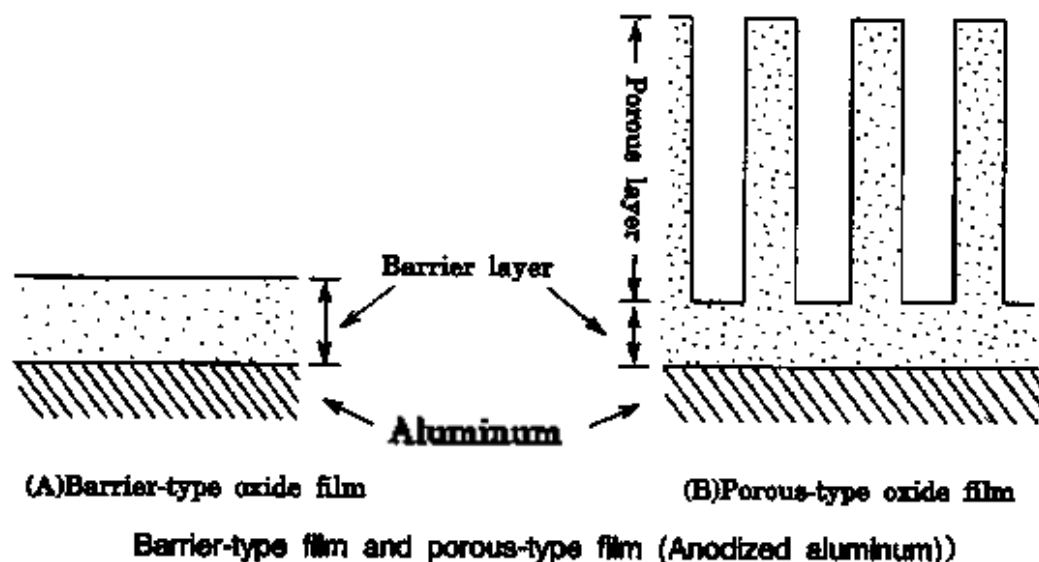
Bila voltase yang diberikan lebih tinggi dari nilai tersebut, maka akan terjadi percikan bunga api pada permukaan aluminium dan lapisan oksida tidak bisa terbentuk.

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

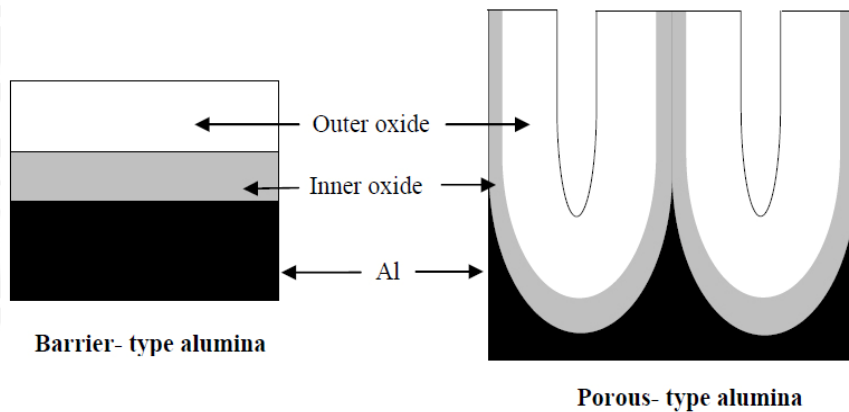
Apabila aluminium dianodisasi dalam larutan asam seperti asam sulfat, asam kromat, asam pospat atau asam oksalat, maka akan terbentuk lapisan film oksida tipe pori (*porous-type oxide film*). Lapisan film oksida tipe ini disebut juga lapisan film bertingkat (*duplex film*).

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*). Gambar 2.4 menjelaskan perbedaan ini, sekaligus memperlihatkan secara lebih detail penampang melintang dari kedua lapisan film oksida.

Walaupun berbeda, namun tiap-tiap tipe mengandung lapisan oksida dalam (*inner oxide*) dan lapisan oksida luar (*outer oxide*). Pada gambar 2.5, *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.



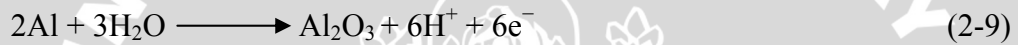
Gambar 2.4. Dua tipe lapisan oksida yang terbentuk pada proses *anodizing* aluminium
Sumber : Sato T (1997:208)



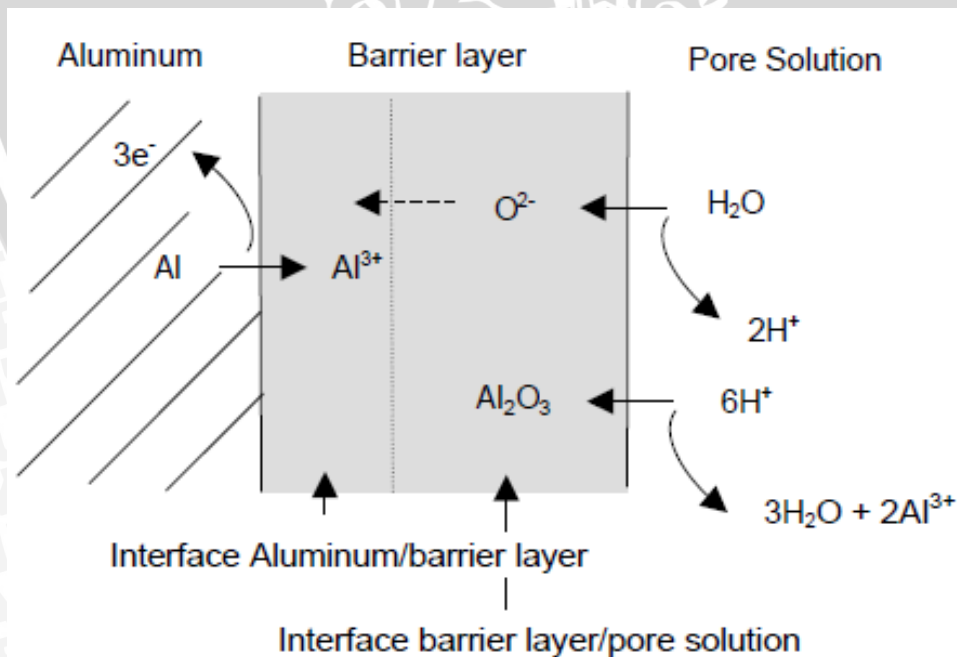
Gambar 2.5. Penampang melintang lapisan oksida tipe *barrier* dan tipe *porous*
 Sumber : Anonim (1990)

2.7.2 Pembentukan Lapisan Oksida tipe Pori

Pada dasarnya pembentukan film oksida tipe pori harus memperhatikan dua reaksi kimia yang utama berikut ini :



Reaksi yang pertama pada persamaan (2-9) menunjukkan reaksi pembentukan lapisan oksida dan reaksi yang kedua pada persamaan (2-10) menunjukkan reaksi pelarutan kimia dari lapisan oksida dalam larutan elektrolit asam, seperti asam sulfat. Gambar 2.6 menunjukkan reaksi awal dari kedua proses tersebut.

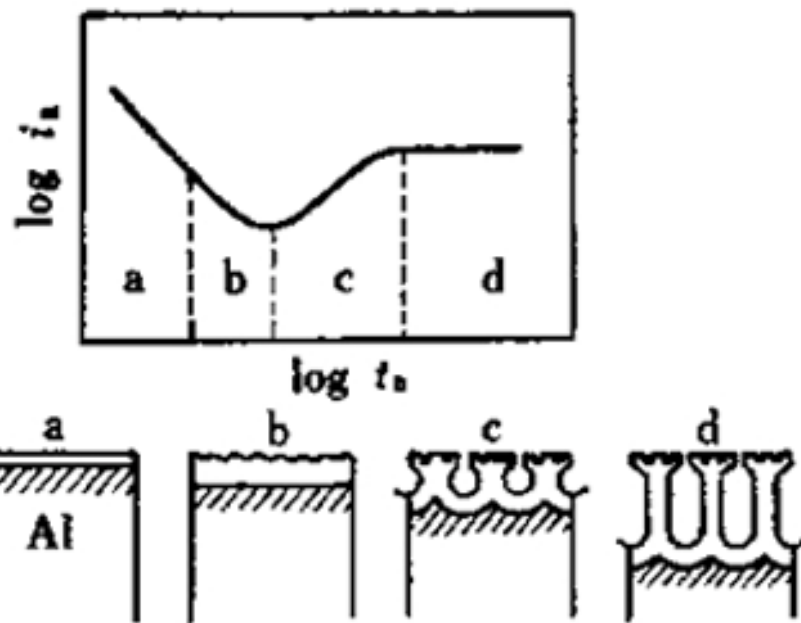


Gambar 2.6. Ilustrasi dari proses awal terbentuknya film oksida *porous* pada aluminium
 Sumber : Anne Deacon Juhl (2002:5)

Pada gambar 2.7, lebih jelas diilustrasikan proses pembentukan lapisan film oksida tipe *porous*. Ditunjukkan melalui sebuah kurva hubungan antara arus, waktu, dan juga skema perubahan dari lapisan film oksida tipe *barrier* yang hanya memiliki *barrier layer* menjadi tipe *porous* yang memiliki dua layer, *barrier* dan *porous layer*.

Ketika arus mulai diberikan, maka proses elektrolisis mulai berjalan. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion, ion negatif (*anion*) akan menuju anoda, sedangkan ion positif (*kation*) akan menuju katoda. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda akan terjadi reaksi reduksi.

Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion logam Al^{3+} dengan O^{2-} atau OH^- dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier* (*barrier layer*). Dalam lapisan *barrier* terjadi reaksi penguraian ion HSO_4^- yang diperoleh dari penguraian asam sulfat pada larutan yaitu $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$.



Change of barrier-type film to porous-type film at the beginning of anodizing of aluminum.

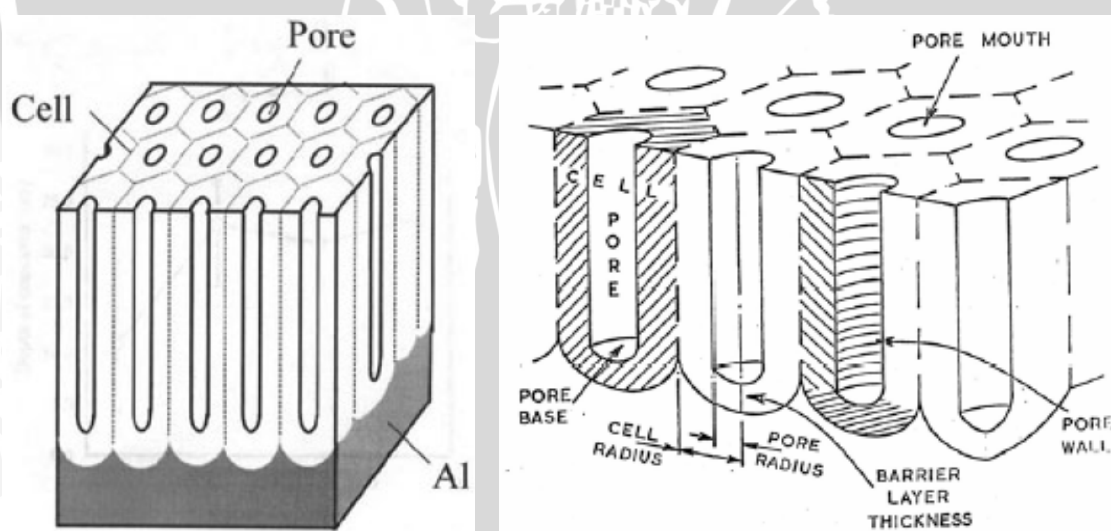
Gambar 2-7. Skema proses perubahan lapisan film tipe *barrier* menjadi tipe *porous*
Sumber : Sato T (1997:209)

Dalam lapisan *barrier* ion HSO_4^- ini terurai menjadi $\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$, 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 awal proses, seperti ditunjukkan pada daerah *a*, arus yang diberikan besar. Dan perlahan arus mulai 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 menjadi turun seperti ditunjukkan pada daerah *b*.

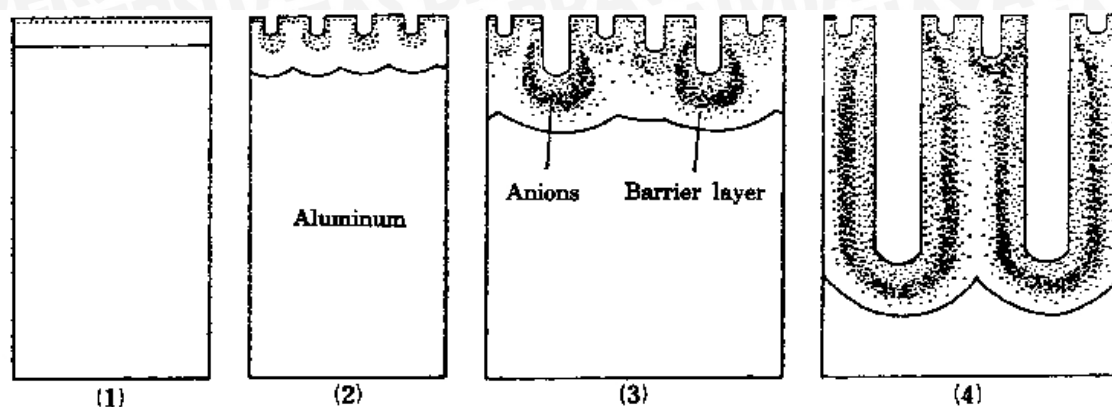
Kemudian dihasilkan permukaan lapisan yang tidak rata (kasar). Ketidakrataan ini menyebabkan arus akan terkonsentrasi pada permukaan yang tipis oksidanya (berlubang). Kemudian terjadilah proses pelarutan akibat naiknya arus yang menimbulkan aksi medan listrik dan aksi elektrolit seperti reaksi pada persamaan (2-8). Peristiwa ini terjadi pada daerah *c*, dimana pada daerah inilah pori mulai terbentuk.

Pada daerah *d* arus akan mencapai level konstan, dimana angka dari pembentukan dan pelarutan lapisan oksida menjadi *steady state*. Lapisan oksida yang terbentuk mempunyai struktur atom *hexagonal* dengan pori di tengahnya serta lapisan oksida yang terbentuk menyatu dengan logam induknya, sehingga sulit untuk terkelupas. Struktur atom *hexagonal* tersebut biasa disebut dengan nama *cell*. Untuk lebih jelasnya, lapisan oksida *porous* yang terbentuk dapat dilihat pada skema ilustrasi yang ditunjukkan oleh gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Porous* yang terbentuk pada *aluminium oxide layer*
Sumber : *Journal of The Electrochemical Society* (2001)

Dalam kenyataan, kandungan lapisan oksida tidak hanya aluminium oksida saja, melainkan terdapat zat tambahan lain yaitu sulfat dan air dari elektrolitnya. Letak dan distribusi dari sulfat dan air ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Change of anion distribution in anodic oxide film during anodizing of aluminum

Gambar 2.9. Perubahan distribusi *anion* selama *anodizing*
 Sumber : Sato T (1997:211)

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

2.8 Hukum Faraday

Michael Faraday (22 September 1791 – 25 August 1867) adalah seorang ahli kimia dan fisika dari Inggris, yang telah banyak memberikan kontribusi dalam ilmu pengetahuan. Salah satunya dalam bidang elektromagnetik dan elektrokimia.

Sebagai seorang ahli kimia, Faraday menemukan benzena, melakukan penelitian tentang klorine, menemukan bunsen burner untuk pertama kali dan menemukan sistem angka oksidasi. Serta mempopulerkan istilah seperti anoda, katoda, elektroda dan ion. Pada tahun 1834, Faraday dalam penelitiannya di bidang elektrokimia dia menemukan hubungan kuantitatif yang kemudian dia sebut dengan Faraday's laws of electrolysis.

1. Hukum Faraday I tentang elektrolisis

"Massa zat yang terbentuk di elektroda pada waktu proses elektrolisis sebanding dengan kuat arus yang mengalir pada elektroda tersebut".

2. Hukum Faraday II tentang elektrolisis.

"Massa dari macam-macam zat yang diendapkan pada masing-masing elektroda (terbentuk pada masing-masing elektroda) oleh sejumlah arus listrik yang sama banyaknya akan sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut."

Sehingga bentuk persamaan matematika dari hukum faraday dapat ditulis sebagai berikut :

$$m = \left(\frac{Q}{F} \right) \cdot \left(\frac{M}{z} \right) \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

Keterangan :

m = massa yang terbentuk di elektroda (gram)

Q = Muatan Listrik (Coulomb)

F = 96,485 C mol⁻¹ (konstanta faraday)

M = berat mol

z = Valensi dari ion

M / z adalah rumus dari berat ekuivalen. Sedangkan pada hukum faraday I, M, F, dan z nilainya konstan. Sehingga semakin tinggi nilai Q, maka semakin banyak massa yang terbentuk di elektroda.

Pada hukum faraday II. Q, F dan z adalah konstan. Jadi semakin tinggi nilai M/z (berat ekuivalen) maka semakin banyak massa yang terbentuk di elektroda.

Karena Q = I . t ,maka persamaan diatas juga dapat ditulis.

$$m = \left(\frac{It}{F} \right) \cdot \left(\frac{M}{z} \right) \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

Sehingga bisa dituliskan sebagai persamaan

$$n = \left(\frac{It}{F} \right) \cdot \left(\frac{1}{z} \right) \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

Keterangan :

n = jumlah mol. (n = m/M)

t = waktu (detik)

2.9 Current Efficiency (η) pada proses *anodizing*

Current Efficiency (η) pada proses *anodizing* adalah salah satu tolak ukur proses *anodizing* didefinisikan sebagai persentase dari massa aluminium yang hilang pada proses *anodizing* dibagi dengan massa aluminium yang hilang yang dihitung secara teoritis menggunakan hukum Faraday. (METALAST TECH : 2000)

Semakin tinggi nilai *Current Efficiency*, maka semakin kecil kemungkinan terjadinya “*burning*” pada proses *anodizing*. *Burning* adalah fenomena pada proses *anodizing* dimana arus terkonsentrasi pada bagian aluminium yang dianodizing akibat dari densitas arus yang tinggi sehingga permukaan berubah warna menjadi abu-abu kecoklatan.

Dengan demikian *Current Efficiency* dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\eta = \frac{\text{massa yang hilang}}{m} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

η = *Current Efficiency* (%)

m = massa yang hilang menurut perhitungan hukum Faraday (gram)

2.10. Hipotesis

Konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan pada proses *anodizing*, mempengaruhi simpangan arus yang terjadi. Arus pada proses *anodizing* digunakan untuk menghitung massa aktual, untuk mendapatkan nilai efisiensi proses *anodizing*. Dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa perubahan konsentrasi elektrolit mempengaruhi besarnya efisiensi yang terjadi.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Dalam hal ini penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi H_2SO_4 dalam elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing*. Data dan informasi pendukung diperoleh dari kajian buku, artikel dan jurnal yang diperoleh dari perpustakaan dan internet untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel-variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditetapkan sebelum melakukan penelitian. Besarnya variabel ini dapat diubah-ubah untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikatnya. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah konsentrasi H_2SO_4 pada proses *anodizing* aluminium.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas dan diketahui setelah penelitian itu dilakukan. Besar variabel terikat dapat berubah-ubah sesuai dengan variabel bebas jika terdapat hubungan antara keduanya. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah efisiensi *anodizing*.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan 31 Juli 2009 sampai dengan 11 September 2009 di Laboratorium $\alpha \beta \gamma$, Landungsari Malang untuk melakukan proses *anodizing*.

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mistar

2. Kertas gosok
3. Timbangan elektrik
4. Gelas ukur
5. Pipet
6. Gergaji besi
7. Ragum
8. Alat pemanas (*heater*)
9. Instalasi *anodizing*
10. Masker Hidung
11. Sarung tangan
12. Tang jepit
13. *Stabilizer* tegangan listrik
14. Termometer
15. AVometer

3.4.2 Bahan yang Digunakan

Spesimen yang digunakan adalah aluminium paduan dengan komposisi sebagai berikut.

Al	: 97,6 %	V	: 0,018 %	Cu	: 0,181 %
P	: 0,46 %	Cr	: 0,039 %	Zn	: 0,130 %
Ca	: 0,30 %	Mn	: 0,153 %	Ga	: 0,032 %
Sc	: 0,017 %	Fe	: 0,975 %	Y	: 0,018 %
Ti	: 0,034 %	Ni	: 0,027 %	Os	: 0,037 %

3.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, yaitu:

1. Studi literatur
2. Persiapan bahan dan alat
3. Melakukan proses *pre-treatment* spesimen

Langkah-langkah proses *pre treatment* spesimen *anodizing* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *Degreasing*

Degreasing dilakukan untuk menghilangkan oli atau lemak yang terdapat pada permukaan aluminium sebelum dilakukan proses *anodizing*. Pembersihan dilakukan dengan cara direndam kedalam larutan asam sulfat dengan konsentrasi 10 % pada temperatur antara 40°C – 70°C selama 5 – 15 menit.

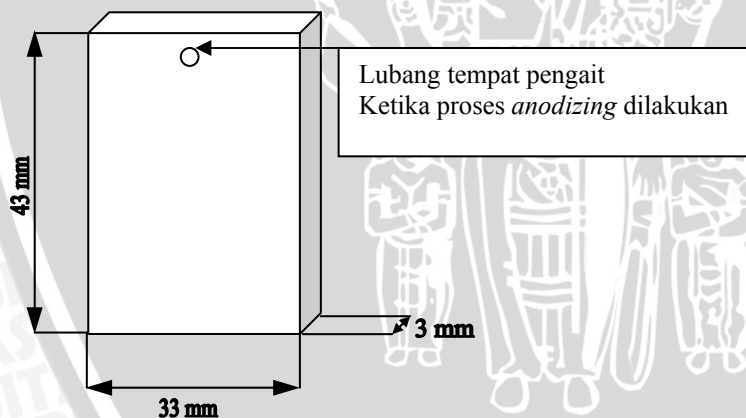
b. *Etching*

Etching dilakukan untuk memperhalus permukaan dan menghilangkan lapisan film oksida aluminium yang terbentuk secara alami pada permukaan aluminium yang akan *dianodizing*. *Etching* dilakukan dengan cara merendam aluminium kedalam larutan soda api dengan konsentrasi 10 % pada temperatur 60°C – 75°C selama 5 – 25 menit tergantung kehalusan permukaan yang diinginkan.

c. *Desmutting*

Desmutting adalah proses pembersihan bercak hitam akibat dari proses *etching*. Dilakukan dengan cara merendam benda kerja pada larutan asam nitrat dengan konsentrasi 5 – 10 % pada temperatur 25°C – 35°C selama 10 menit.

Adapun bentuk atau dimensi spesimen yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Dimensi spesimen

4. Pemberian kode pada spesimen
5. Penimbangan berat awal spesimen
6. Proses *anodizing*

Langkah-langkah proses *anodizing* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Persiapan instrumen *anodizing*
- b. Persiapan larutan elektrolit.
- c. Penuangan larutan elektrolit ke dalam bak *anodizing*.

- d. Melakukan proses *anodizing* selama 20 menit.
 - e. Setelah 20 menit, aluminium diangkat dan dibilas dengan air, untuk membersihkan sisa-sisa elektrolit.
7. Melakukan proses *last treatment* spesimen.
 - a. *Sealing*
Sealing adalah proses yang diperlukan agar pori yang terbentuk di permukaan menutup. Dilakukan dengan cara merendam benda kerja yang telah *dianodizing* kedalam air mendidih dengan suhu $>96\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit.
 8. Penimbangan berat akhir spesimen
 9. Analisis data dan pembahasan.
 10. Pengambilan kesimpulan.

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian bertujuan mencari pengaruh dari variasi konsentrasi H_2SO_4 dalam elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing*. Konsentrasi H_2SO_4 dalam elektrolit dilakukan dengan lima tingkatan, dan diulang sebanyak tiga kali. Seperti ditunjukkan pada tabel rancangan penelitian di bawah ini.

Tabel 3.1 Rancangan Penulisan Data Hasil Perhitungan efisiensi proses *anodizing*

Perlakuan	10 %	12,5 %	15 %	17,5 %	20 %	Jumlah
Pengulangan						
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	-
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	-
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	-
Jumlah	$\sum Y_{i1}$	$\sum Y_{i2}$	$\sum Y_{i3}$	$\sum Y_{i4}$	$\sum Y_{i5}$	$\sum Y_{ij}$
Rata-rata	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3	\bar{Y}_4	\bar{Y}_5	\bar{Y}_j

Keterangan:

Y adalah data efisiensi proses *anodizing*

Y_{ij} adalah data pengujian yang berupa data pengujian tiap pengulangan ke-i pada variasi Konsentrasi ke-j

Dari data-data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisa menggunakan analisa statistik. Analisa statistik digunakan untuk mengetahui kebenaran data dan hasil yang didapatkan dari pengujian dan pengukuran.

3.6.1 Analisa Kecukupan Data

Analisa kecukupan data bertujuan untuk mengetahui apakah jumlah data yang diperoleh sudah cukup dan dapat dianalisa atau perlu adanya penambahan data baru. Untuk melakukan analisa kecukupan data dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Rata-rata sampel (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(3-1)$$

2. Variasi sampel (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \dots\dots\dots(3-2)$$

3. Standar deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3-3)$$

4. Tingkat ketelitian (*Degree of Accuracy* atau *DA*)

$$DA = \frac{\sigma}{x} \times 100\% \dots\dots\dots(3-4)$$

5. Tingkat keyakinan (*Convident Level* atau *CL*)

$$CL = 100\% - DA \dots\dots\dots(3-5)$$

Untuk mengetahui koefisien tingkat keyakinan (k) digunakan tabel koefisien tingkat keyakinan di bawah ini:

Tabel 3.2 Koefisien Tingkat Keyakinan

Confidence level	99,73%	99%	98%	96%	95,45%	95%	90%	80%	68,27%	50%
k	3	2,589	2,33	2,05	2	1,96	1,645	1,28	1	0,6745

Sumber: Spiegel (1988 : 213)

6. Batas kontrol

Batas kontrol atas (*Upper Control Limit* atau *UCL*)

$$UCL = \bar{x} + k\sigma \dots\dots\dots(3-6)$$



Batas kontrol bawah (*Lower Control Limit* atau *LCL*)

$$LCL = \bar{x} - k\sigma \dots\dots\dots(3-7)$$

7. Tingkat ketelitian (S)

$$S = \frac{DA}{100} \dots\dots\dots(3-8)$$

8. Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{S} \sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]^2 \dots\dots\dots(3-9)$$

Dari hasil perhitungan, data dapat dikatakan cukup jika $N' \leq N$

3.6.2 Analisa Varian Satu Arah

Dengan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi konsentrasi H₂SO₄ dalam elektrolit pada aluminium hasil *anodizing* terhadap efisiensi *anodizing*. Dari data yang diperoleh dan diuji secara statistik, akan diketahui bagaimana pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$ dan μ_5 . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

- H₀ : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (Tidak ada perbedaan atau pengaruh nyata dari hasil tiap variasi konsentrasi H₂SO₄ sebagai elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing*)
- H₁ : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (Ada perbedaan atau pengaruh nyata dari hasil tiap variasi konsentrasi H₂SO₄ sebagai elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing*)

Kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Jumlah kuadrat perlakuan (JK_P)

$$JK_P = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{Y}_{j.} - \bar{Y}_{..}) \dots\dots\dots(3-10)$$

2. Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$JK_G = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \dots\dots\dots(3-11)$$

3. Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$KT_P = \frac{JK_P}{k-1} \dots\dots\dots(3-12)$$



4. Kuadrat tengah galat (KT_G)

$$KT_G = \frac{JK_G}{n-k} \dots\dots\dots(3-13)$$

5. Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G} \dots\dots\dots(3-14)$$

Untuk melakukan uji analisa varian, maka dibuat tabel analisa varian satu arah seperti pada tabel 3.3:

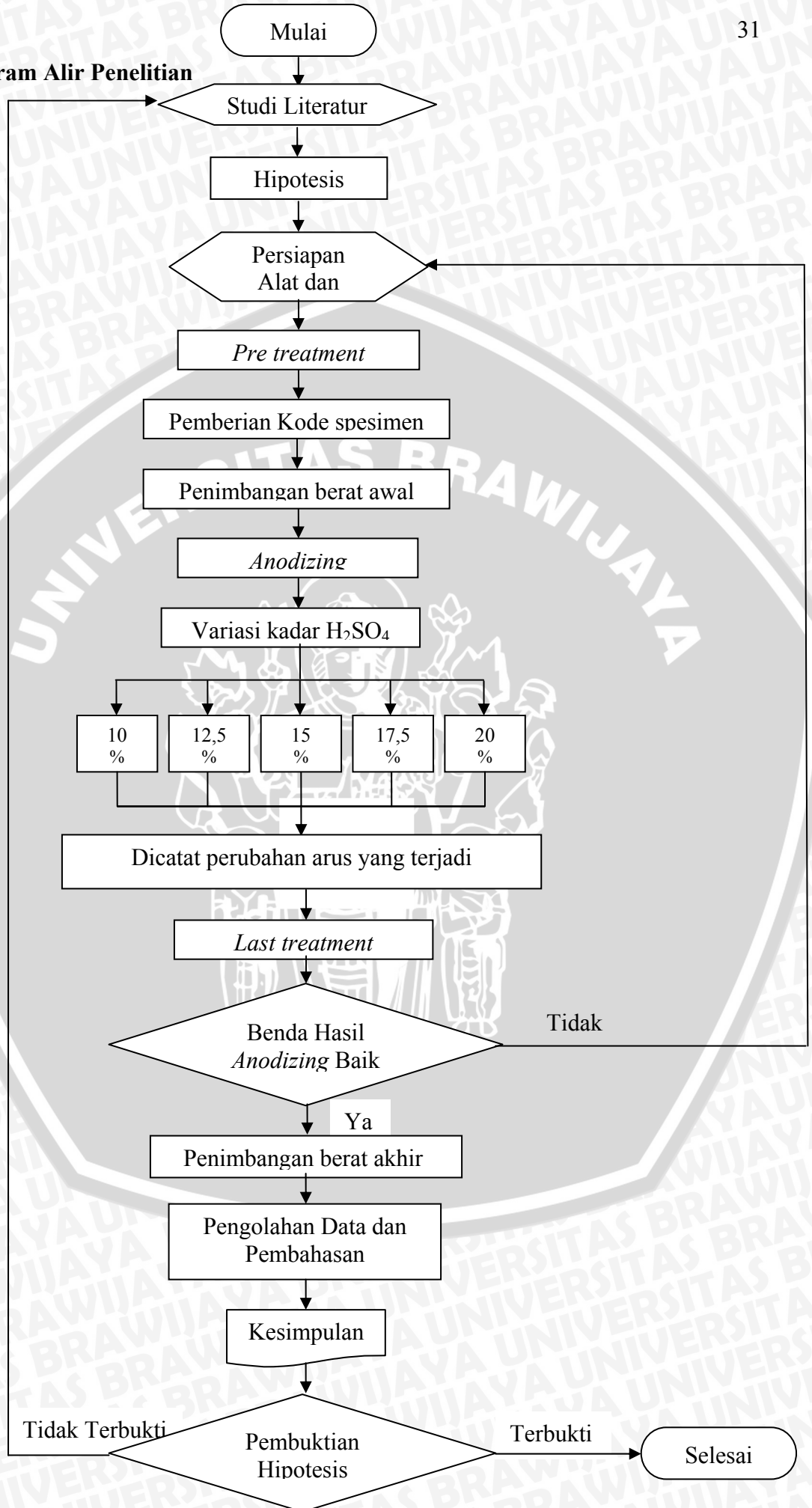
Tabel 3.3 Tabel Analisa Varian Satu Arah

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (kategori)	k-1	$JK_P = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{Y}_{j.} - \bar{Y}_{..})$	$KT_P = \frac{JK_P}{k-1}$	$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G}$	$F\{\alpha; (n-k); (k-1)\}$
Galat	n-k	$JK_G = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2$	$KT_G = \frac{JK_G}{n-k}$		

Kesimpulan bahwa ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} sebagai berikut:

1. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, menyatakan bahwa ada perbedaan atau pengaruh yang nyata dari pengaruh variasi konsentrasi H_2SO_4 sebagai elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing*.
2. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ berarti H_0 diterima dan H_1 ditolak, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan atau pengaruh yang nyata dari pengaruh variasi konsentrasi H_2SO_4 sebagai elektrolit terhadap efisiensi proses *anodizing*.

3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

4.1.1. Data Hasil Proses *Anodizing*.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi larutan elektrolit. Berikut perhitungan jumlah H_2SO_4 yang ditambahkan untuk konsentrasi elektrolit 10 % dengan menggunakan air sebanyak 9 liter.

$$\frac{x}{9+x} = 0,1$$

$$x = 0,9 + 0,1x$$

$$0,9x = 0,9$$

$$x = 1 \text{ liter}$$

Berikut perhitungan jumlah H_2SO_4 yang ditambahkan untuk konsentrasi elektrolit 12,5 % dengan menggunakan air sebanyak 9 liter.

$$\frac{x}{9+x} = 0,125$$

$$x = 1,125 + 0,125x$$

$$0,875x = 1,125$$

$$x = 1,29 \text{ liter}$$

karena pada larutan sudah ada 1 liter H_2SO_4 , maka cukup ditambahkan 0,29 liter H_2SO_4 .

Berikut perhitungan jumlah H_2SO_4 yang ditambahkan untuk konsentrasi elektrolit 15 % dengan menggunakan air sebanyak 9 liter.

$$\frac{x}{9+x} = 0,15$$

$$x = 1,35 + 0,15x$$

$$0,85x = 1,35$$

$$x = 1,59 \text{ liter}$$

karena pada larutan sudah ada 1,29 liter H_2SO_4 , maka cukup ditambahkan 0,3 liter H_2SO_4 .

Berikut perhitungan jumlah H_2SO_4 yang ditambahkan untuk konsentrasi elektrolit 17,5 % dengan menggunakan air sebanyak 9 liter.

$$\frac{x}{9+x} = 0,175$$

$$x = 1,575 + 0,175x$$

$$0,825x = 1,575$$

$$x = 1,91 \text{ liter}$$

karena pada larutan sudah ada 1,59 liter H_2SO_4 , maka cukup ditambahkan 0,32 liter H_2SO_4 .

Berikut perhitungan jumlah H_2SO_4 yang ditambahkan untuk konsentrasi elektrolit 20 % dengan menggunakan air sebanyak 9 liter.

$$\frac{x}{9+x} = 0,2$$

$$x = 1,8 + 0,2x$$

$$0,8x = 1,8$$

$$x = 2,25 \text{ liter}$$

karena pada larutan sudah ada 1,91 liter H_2SO_4 , maka cukup ditambahkan 0,34 liter H_2SO_4 .

Dari proses *anodizing* didapatkan data berat spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit yang berbeda, serta simpangan arus yang terjadi.

Tabel 4.1 Data proses *anodizing* pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 10%.

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Yang Hilang (g)
1,1	1,5	12,88	12,72	0,16
1,2	1,6	12,25	12,08	0,17
1,3	1,7	12,74	12,58	0,16
Jumlah	4,8	37,87	37,38	0,49
Rata - Rata	1,6	12,62	12,46	0,16

*) jarak elektroda 75 mm; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.2 Data proses *anodizing* pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 12,5%.

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Yang Hilang (g)
2,1	2,1	12,77	12,55	0,22
2,2	2,3	12,88	12,63	0,25
2,3	2,4	13,06	12,83	0,23
Jumlah	6,8	38,71	38,01	0,70
Rata - Rata	2,27	12,90	12,67	0,23

*) jarak elektroda 75 mm; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.3 Data proses *anodizing* pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 15%.

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Yang Hilang (g)
3,1	2,5	12,55	12,28	0,27
3,2	2,6	13,02	12,76	0,26
3,3	2,7	12,60	12,31	0,29
Jumlah	7,8	38,17	37,35	0,82
Rata - Rata	2,60	12,72	12,45	0,27

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.4 Data proses *anodizing* pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 17,5%.

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Yang Hilang (g)
4,1	2,5	12,70	12,53	0,17
4,2	2,5	12,97	12,79	0,18
4,3	2,6	12,50	12,33	0,17
Jumlah	7,6	38,17	37,65	0,52
Rata - Rata	2,53	12,72	12,55	0,17

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.5 Data proses *anodizing* pada spesimen aluminium paduan dengan variasi konsentrasi elektrolit 20%.

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Yang Hilang (g)
5,1	2,6	12,85	12,68	0,17
5,2	2,5	12,81	12,67	0,14
5,3	2,6	12,71	12,56	0,15
Jumlah	7,7	38,37	37,91	0,46
Rata - Rata	2,57	12,79	12,64	0,15

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

4.1.2 Data Hasil Perhitungan

Dari data yang diperoleh pada proses *anodizing*, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui massa yang hilang secara teoritis kemudian kita bandingkan dengan massa yang hilang aktual. Sehingga didapat nilai efisiensi arus yang terjadi pada proses *anodizing*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan perumusan yang telah dijelaskan pada bab II sebagai berikut:

1. Hukum Faraday

Hukum Faraday I tentang elektrolisis

"Massa zat yang terbentuk di elektroda pada waktu proses elektrolisis sebanding dengan kuat arus yang mengalir pada elektroda tersebut".

$$m = \left(\frac{Q}{F} \right) \cdot \left(\frac{M}{z} \right) \dots\dots\dots(2-11)$$

Keterangan :

m = massa yang terbentuk di elektroda (gram)

Q = Muatan Listrik (Coulomb)

F = 96485 C mol⁻¹ (konstanta faraday)

M = berat mol

z = Valensi dari ion

M / z adalah rumus dari berat ekuivalen. Sedangkan pada hukum faraday I, M, F, dan z nilainya konstan. Sehingga semakin tinggi nilai Q, maka semakin banyak massa yang terbentuk di elektroda.

2. Efisiensi arus pada proses *anodizing*

Current Efficiency (η) pada proses *anodizing* adalah salah satu tolak ukur proses *anodizing* didefinisikan sebagai persentase dari massa aluminium yang hilang pada proses *anodizing* dibagi dengan massa aluminium yang hilang yang dihitung secara teoritis menggunakan hukum Faraday. (METALAST TECH : 2000)

Dengan demikian *current efficiency* dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\eta = \frac{\text{massa yang hilang}}{m} \times 100 \% \dots\dots\dots(2-14)$$

Keterangan :

η = *Current Efficiency* (%)

m = massa yang hilang menurut perhitungan hukum Faraday (gram)

Semakin tinggi nilai *current efficiency*, maka semakin kecil kemungkinan terjadinya "*burning*" pada proses *anodizing*.

Dengan memasukkan simpangan arus yang terjadi selama proses *anodizing* kedalam persamaan 2-11, kita dapat mengetahui massa yang hilang secara aktual. Berikut adalah contoh perhitungan massa yang hilang secara aktual pada masing – masing varian.

- a) Contoh perhitungan massa aktual pada proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 10% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \cdot \left(\frac{M}{z}\right)$$

$$m = \left(\frac{1,5 \times 1200}{96485}\right) \cdot \left(\frac{27}{3}\right)$$

$$m = 0,17 \text{ g}$$

- b) Contoh perhitungan massa aktual pada proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 12,5% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \cdot \left(\frac{M}{z}\right)$$

$$m = \left(\frac{2,3 \times 1200}{96485}\right) \cdot \left(\frac{27}{3}\right)$$

$$m = 0,26 \text{ g}$$

- c) Contoh perhitungan massa aktual pada proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 15% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \cdot \left(\frac{M}{z}\right)$$

$$m = \left(\frac{2,6 \times 1200}{96485}\right) \cdot \left(\frac{27}{3}\right)$$

$$m = 0,29 \text{ g}$$

- d) Contoh perhitungan massa aktual pada proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 17,5% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \cdot \left(\frac{M}{z}\right)$$

$$m = \left(\frac{2,8 \times 1200}{96485}\right) \cdot \left(\frac{27}{3}\right)$$

$$m = 0,31 \text{ g}$$

- e) Contoh perhitungan massa aktual pada proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 20% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \cdot \left(\frac{M}{z}\right)$$

$$m = \left(\frac{3,2 \times 1200}{96485}\right) \cdot \left(\frac{27}{3}\right)$$

$$m = 0,36 \text{ g}$$

Perbandingan massa yang hilang aktual dengan massa yang hilang teoritis akan menghasilkan nilai efisiensi arus pada proses *anodizing*. Seperti yang dirumuskan pada persamaan 2-14. Berikut adalah contoh perhitungan efisiensi arus proses *anodizing* pada masing – masing varian.

- f) Contoh perhitungan efisiensi arus proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 10% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$\eta = \left(\frac{\text{Massa Hilang Aktual}}{\text{Massa Hilang Teoritis}}\right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{0,16}{0,17}\right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 95,294 \%$$

- g) Contoh perhitungan efisiensi arus proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 12,5% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$\eta = \left(\frac{\text{Massa Hilang Aktual}}{\text{Massa Hilang Teoritis}}\right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{0,25}{0,26}\right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 97,106 \%$$

- h) Contoh perhitungan efisiensi arus proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 15% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$\eta = \left(\frac{\text{Massa Hilang Aktual}}{\text{Massa Hilang Teoritis}}\right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{0,29}{0,29}\right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 100 \%$$

- i) Contoh perhitungan efisiensi arus proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 17,5% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$\eta = \left(\frac{\text{Massa Hilang Aktual}}{\text{Massa Hilang Teoritis}} \right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{0,18}{0,31} \right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 57,432 \%$$

- j) Contoh perhitungan efisiensi arus proses *anodizing* dengan konsentrasi elektrolit 20% dan proses *anodizing* selama 20 menit.

$$\eta = \left(\frac{\text{Massa Hilang Aktual}}{\text{Massa Hilang Teoritis}} \right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = \left(\frac{0,14}{0,36} \right) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 39,085 \%$$

Tabel 4.6 Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses *anodizing* pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 10%

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Massa hilang aktual (g)	Massa hilang teoritis (g)	η (%)
1,1	1,5	0,16	0,17	95,294
1,2	1,6	0,17	0,18	94,922
1,3	1,6	0,16	0,18	89,338
Jumlah	4,7	0,49	0,53	279,553
Rata - Rata	1,57	0,16	0,18	93,184

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.7 Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses *anodizing* pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 12,5%

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Massa hilang aktual (g)	Massa hilang teoritis (g)	η (%)
2,1	2,1	0,22	0,24	93,592
2,2	2,3	0,25	0,26	97,106
2,3	2,2	0,23	0,25	93,399
Jumlah	6,6	0,7	0,74	284,097
Rata - Rata	2,20	0,23	0,25	94,699

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.8 Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses *anodizing* pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 15%

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Massa hilang aktual (g)	Massa hilang teoritis (g)	η (%)
3,1	2,5	0,27	0,28	96,485
3,2	2,4	0,26	0,27	96,783
3,3	2,6	0,29	0,29	100
Jumlah	7,5	0,82	0,84	292,914
Rata - Rata	2,50	0,27	0,28	97,638

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.9 Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses *anodizing* pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 17,5%

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Massa hilang aktual (g)	Massa hilang teoritis (g)	η (%)
4,1	2,7	0,17	0,30	56,250
4,2	2,8	0,18	0,31	57,432
4,3	2,6	0,17	0,29	58,413
Jumlah	8,1	0,52	0,91	172,095
Rata - Rata	2,70	0,173	0,30	57,365

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

Tabel 4.10 Data penghitungan massa aktual dan efisiensi arus proses *anodizing* pada spesimen aluminium dengan variasi konsentrasi elektrolit 20%

No. Spesimen	ΔI (ampere)	Massa hilang aktual (g)	Massa hilang teoritis (g)	η (%)
5,1	3	0,17	0,34	50,625
5,2	3,2	0,14	0,36	39,085
5,3	3,1	0,15	0,35	43,228
Jumlah	9,3	0,46	1,04	132,938
Rata - Rata	3,10	0,15	0,35	44,313

*) jarak elektroda 75 mm; tegangan listrik 12 volt; waktu proses *anodizing* 20 menit.

4.2. Analisa Statistik

4.2.1. Analisa Varian Satu Arah

Tabel 4.11 Penulisan data hasil penghitungan nilai efisiensi arus proses *anodizing* dengan variasi konsentrasi elektrolit.

Pengulangan	Konsentrasi					Jumlah
	10 %	12,5 %	15 %	17,5 %	20 %	
1	95,294	93,592	96,485	56,250	50,625	-
2	94,922	97,106	96,783	57,432	39,085	-
3	89,338	93,399	100	58,413	43,228	-
Rata-rata	93,184	94,699	97,638	57,365	44,313	387,199
Rata-Rata						77,440

Dari data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisa varian satu arah. Dengan analisis varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi konsentrasi elektrolit terhadap efisiensi arus proses *anodizing*. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$ dan μ_5 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (Tidak ada perbedaan atau pengaruh nyata dari variasi konsentrasi elektrolit terhadap efisiensi arus proses *anodizing*)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (Ada perbedaan atau pengaruh nyata dari variasi konsentrasi elektrolit terhadap efisiensi arus proses *anodizing*)

Untuk mengetahui apakah F_{hitung} lebih besar atau lebih kecil dari pada F_{tabel} maka perlu dilakukan perhitungan statistik ($\alpha = 0,05$; $n_i = 3$; $k = 5$; $n = 15$) :

1. Jumlah kuadrat perlakuan (JK_p)

$$\begin{aligned}
 JK_p &= \sum_{j=1}^k n_i (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 \\
 &= 3(93,184 - 77,440)^2 + 3(94,699 - 77,440)^2 + \\
 &\quad 3(97,638 - 77,440)^2 + 3(57,365 - 77,440)^2 + \\
 &\quad 3(44,313 - 77,440)^2 \\
 &= 5279,25
 \end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$\begin{aligned} JK_G &= \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \\ &= 2(11,131) + 2(4,356) + 2(3,0468) + 2(1,174) + 2(34,173) \\ &= 107,76 \end{aligned}$$

3. Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$\begin{aligned} KT_P &= \frac{JK_P}{k-1} \\ &= \frac{5279,25}{4} \\ &= 1319,81 \end{aligned}$$

4. Kuadrat tengah galat (KT_G)

$$\begin{aligned} KT_G &= \frac{JK_G}{n-k} \\ &= \frac{107,76}{10} \\ &= 10,78 \end{aligned}$$

5. Nilai F_{hitung}

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{KT_P}{KT_G} \\ &= \frac{1319,81}{10,78} \\ &= 122,48 \end{aligned}$$

Untuk melakukan uji analisa varian, dibuat tabel analisa varian satu arah seperti pada tabel 4.12:

Tabel 4.12 Tabel Analisa Varian Satu Arah

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (kategori)	4	5279,25	1319,81	122,48	$F(0,05; 10; 4) = 3,48$
Galat	10	107,8	10,78		

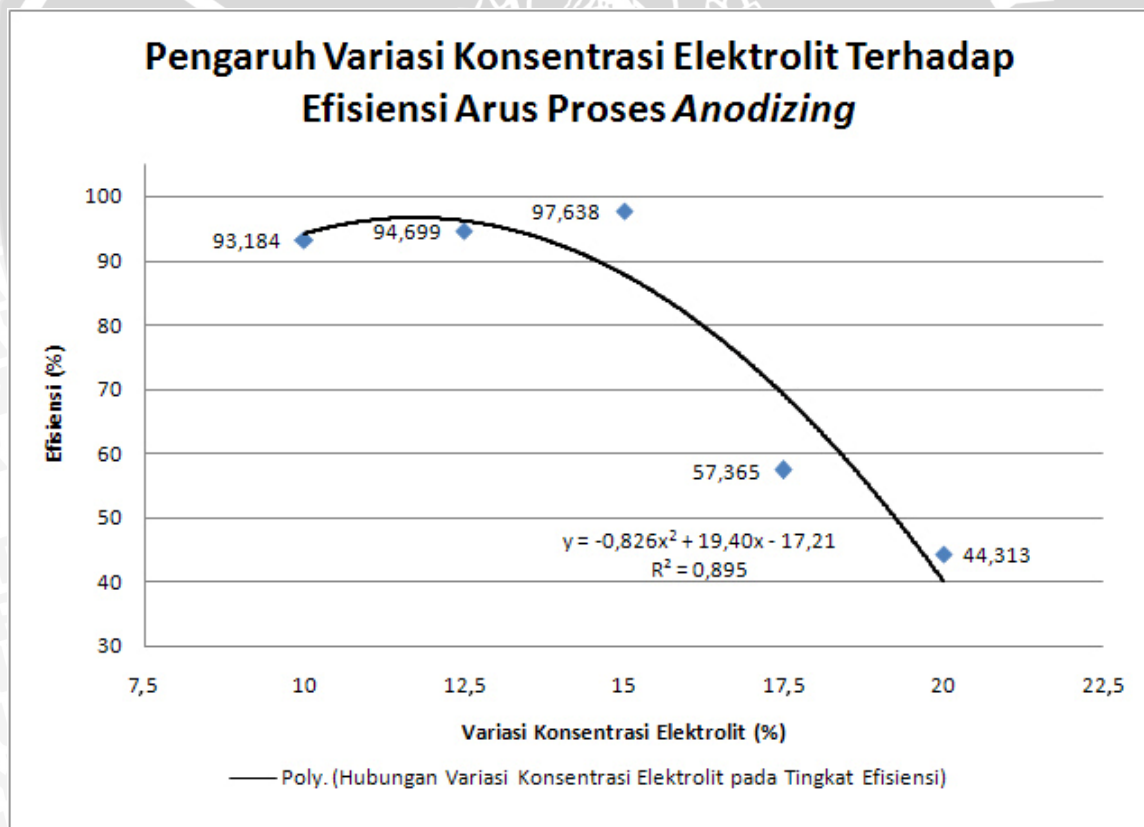
Berdasarkan tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa:

$F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya menyatakan bahwa ada perbedaan atau pengaruh yang nyata antara variasi tegangan listrik pada proses *anodizing* terhadap tingkat porositas permukaan aluminium.

4.3. Pembahasan Grafik

4.3.1. Pengaruh Variasi Konsentrasi Elektrolit Terhadap Efisiensi Arus Proses *Anodizing*

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan variasi konsentrasi elektrolit, maka didapatkan nilai efisiensi arus proses *anodizing*. Untuk mempermudah menganalisa maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara nilai efisiensi arus proses *anodizing* dengan perubahan variasi konsentrasi elektrolit.

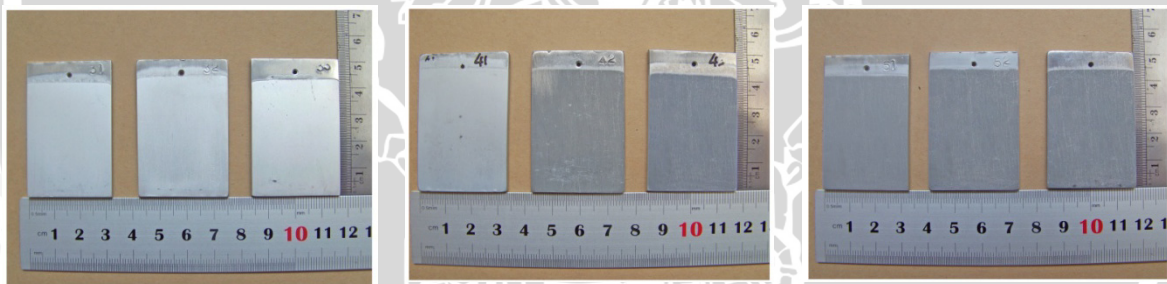


Gambar 4.1. Grafik pengaruh variasi konsentrasi elektrolit terhadap efisiensi arus proses *anodizing*.

Dengan menggunakan berbagai variasi konsentrasi elektrolit maka didapat nilai efisiensi yang berbeda pula. Pada awal percobaan digunakan konsentrasi elektrolit 10 %. Dan selanjutnya ditambahkan konsentrasi elektrolit per 2,5 % sampai dengan

mencapai konsentrasi 20 %. Pada tabel 4.1 tampak bahwa efisiensi tertinggi dicapai pada konsentrasi 15 % dan mencapai titik terendahnya pada konsentrasi 20 %. Sesuai hasil dari analisa varian satu arah diatas $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya menyatakan bahwa ada pengaruh yang nyata antara variasi konsentrasi elektrolit terhadap efisiensi arus pada proses *anodizing*.

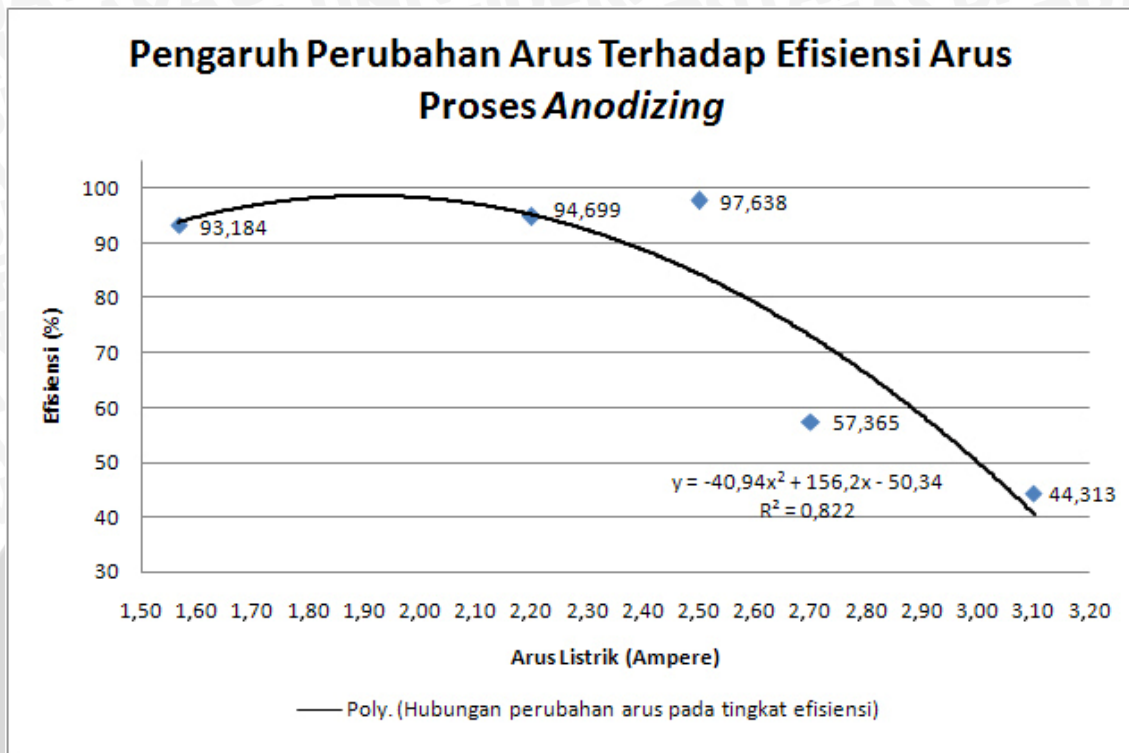
Pada grafik tampak tren rata – rata efisiensi yang terus naik dalam rentang konsentrasi 10 % - 15 %. Dimana rata – rata efisiensi mencapai angka lebih dari 90 %, bahkan pada konsentrasi 15 % di percobaan yang ketiga, nilai efisiensi mencapai 100 % (nilai pembulatan, tabel 4.8). Tetapi kemudian, nilai efisiensi menurun dengan tajam pada konsentrasi 17,5 %. Begitu pula pada konsentrasi berikutnya yaitu 20 %, nilai efisiensi terus menurun sampai mencapai angka dibawah 50 % (tabel 4.10). Dilihat dari tampak rupa (Gambar 4.2), jika diperhatikan aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi 17,5 % dan 20 % tidak seputih aluminium hasil *anodizing* pada variasi konsentrasi yang lain.



Gambar 4.2. Berturut – turut dari kiri ke kanan, Aluminium hasil *anodizing* pada larutan elektrolit dengan konsentrasi 15 %, 17,5 % dan 20 %.

Hal yang menyebabkan perbedaan nilai efisiensi jika dilihat dari persamaan 2.5 adalah nilai arus (I). Dimana pada setiap variasi konsentrasi terjadi simpangan arus yang berbeda. Dan simpangan arus ini semakin besar ketika konsentrasi elektrolit bertambah. Simpangan arus yang besar menyebabkan nilai massa hilang teoritis juga besar (sesuai persamaan 2.5). Dan pada konsentrasi 17,5 % dan 20 % massa hilang aktual tidak mendekati massa hilang teoritis, karenanya didapat nilai efisiensi yang kecil.

4.3.2. Pengaruh Perubahan Arus Terhadap Efisiensi Arus Proses *Anodizing*.

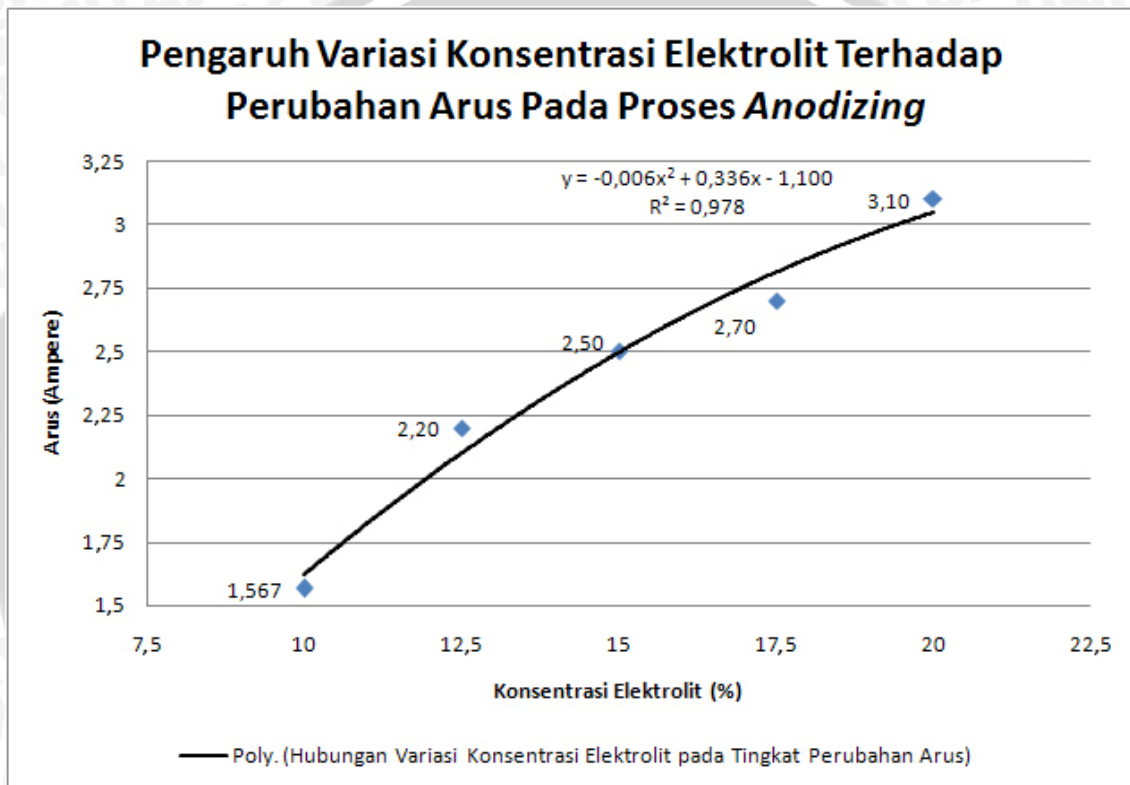


Gambar 4.3. Grafik pengaruh perubahan arus terhadap efisiensi arus proses *anodizing*

Pada grafik pengaruh perubahan arus terhadap efisiensi arus proses *anodizing* diatas. Terlihat pada grafik efisiensi mencapai puncaknya pada arus 2,5 A dengan konsentrasi elektrolit 15 % kemudian menurun dan terus menurun pada variasi konsentrasi berikutnya. Seperti disebutkan pada pembahasan grafik sebelumnya bahwa nilai arus mempengaruhi nilai massa hilang teoritis sehingga secara tidak langsung mempengaruhi nilai efisiensi (persamaan 2.12). Nilai simpangan arus naik pada disertai dengan peningkatan efisiensi hingga besaran maksimum. Setelah mencapai besaran maksimum (2,6 A) nilai efisiensi mengalami penurunan. Nilai efisiensi turun dikarenakan massa aktual tidak mendekati massa teoritis. Menganalisa dari hasil *anodizing*, pada konsentrasi 17,5 % dan 20 % dengan arus yang relatif sama (2,5 A) terjadi *burning* pada aluminium hasil *anodizing*, yaitu arus terkonsentrasi pada bagian aluminium yang *dianodizing*. Dengan konsentrasi larutan yang meningkat (17,5 % dan 20 %) pada luasan yang sama menyebabkan densitas arus yang tinggi sehingga terjadi fenomena *burning* atau bisa dikatakan kegagalan dalam proses *anodizing*.

4.3.3. Pengaruh Variasi Konsentrasi Elektrolit Terhadap Perubahan Arus Pada Proses *Anodizing*

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan variasi konsentrasi elektrolit, maka didapatkan nilai efisiensi arus proses *anodizing*. Untuk mempermudah menganalisa maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara perubahan variasi konsentrasi elektrolit dengan nilai efisiensi arus proses *anodizing*.



Gambar 4.4. Grafik pengaruh variasi konsentrasi elektrolit terhadap perubahan arus pada proses *anodizing*.

Pada setiap variasi konsentrasi elektrolit, memiliki nilai simpangan arus yang berbeda. Pada konsentrasi elektrolit 10 % simpangan arus yang terjadi sebesar 1,57 A. Berikutnya tren nilai simpangan arus terus naik pada konsentrasi berikutnya, dan pada konsentrasi 20 % simpangan arus mencapai 3,10 A.

Proses *anodizing* memakai konsep elektrolisa, dimana elektron – elektron bergerak dari anoda menuju katoda dengan bantuan arus listrik. Karena laju aliran muatan adalah arus (I), dan yang kita perhatikan adalah lewatnya muatan melintasi suatu penampang dengan luas satu satuan maka digunakan densitas arus, atau arus per satuan luas (A/mm^2).

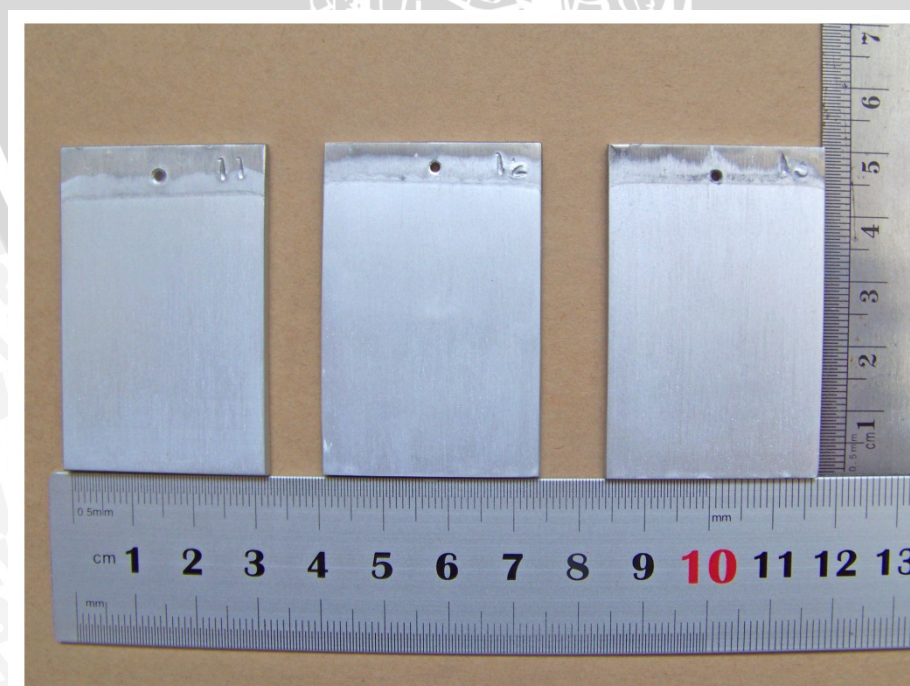
Pada awal proses *anodizing* lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier* (*barrier layer*). Dalam lapisan *barrier* terjadi reaksi penguraian ion HSO_4^- yang diperoleh dari penguraian asam sulfat pada larutan yaitu



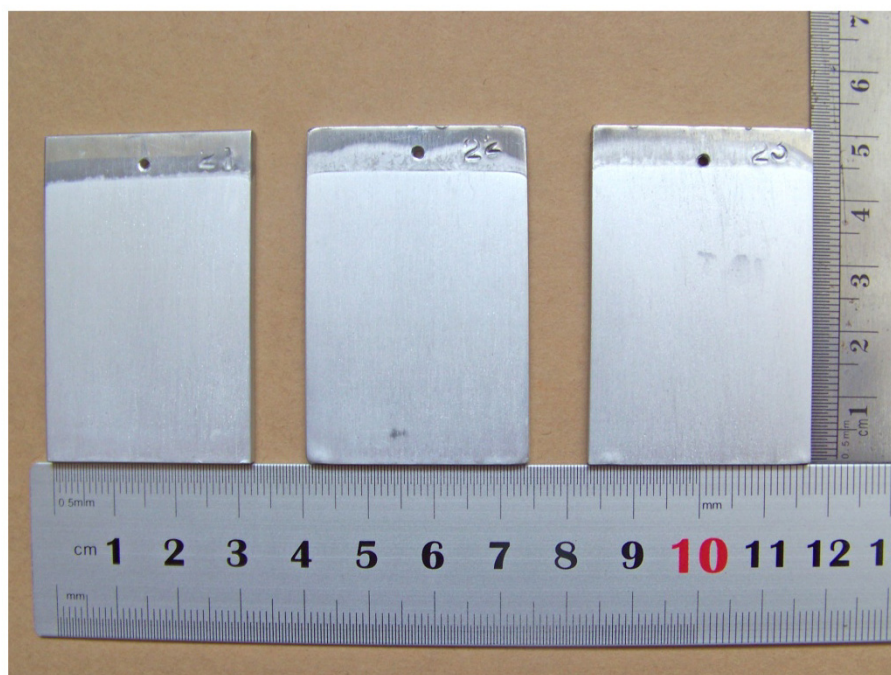
Masih pada awal proses *anodizing* arus yang diberikan besar. Dan perlahan arus mulai turun, hal ini disebabkan lapisan oksida yang memberikan tahanan. Semakin tebal lapisan yang dibentuk, maka tahanannya semakin besar pula. Akibatnya arus yang mengalir menjadi turun.

Kemudian dihasilkan permukaan lapisan yang tidak rata (kasar). 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.

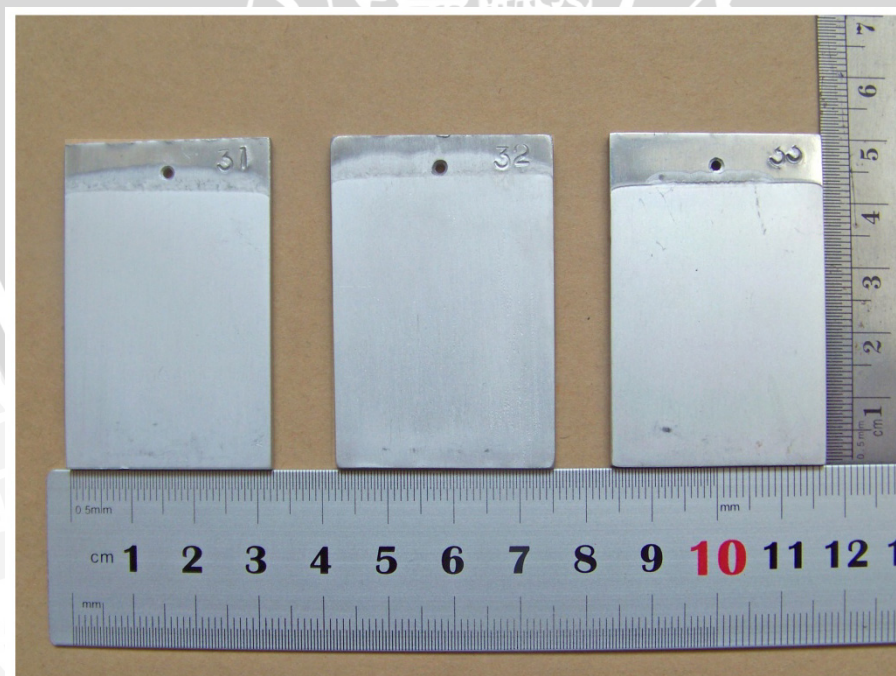
Ketika Aluminium dianodizing dengan *current density* yang tinggi, terjadi fenomena yang disebut dengan *burning*. Dimana pada aluminium hasil *anodizing* permukaannya berwarna abu-abu kecoklatan (dapat dilihat secara tampak rupa). Seperti yang tampak pada aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi 17,5 % dan 20 % yang tampak lebih gelap bila dibandingkan dengan aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi yang lain (dilihat dari gambar 4.5 – 4.9).



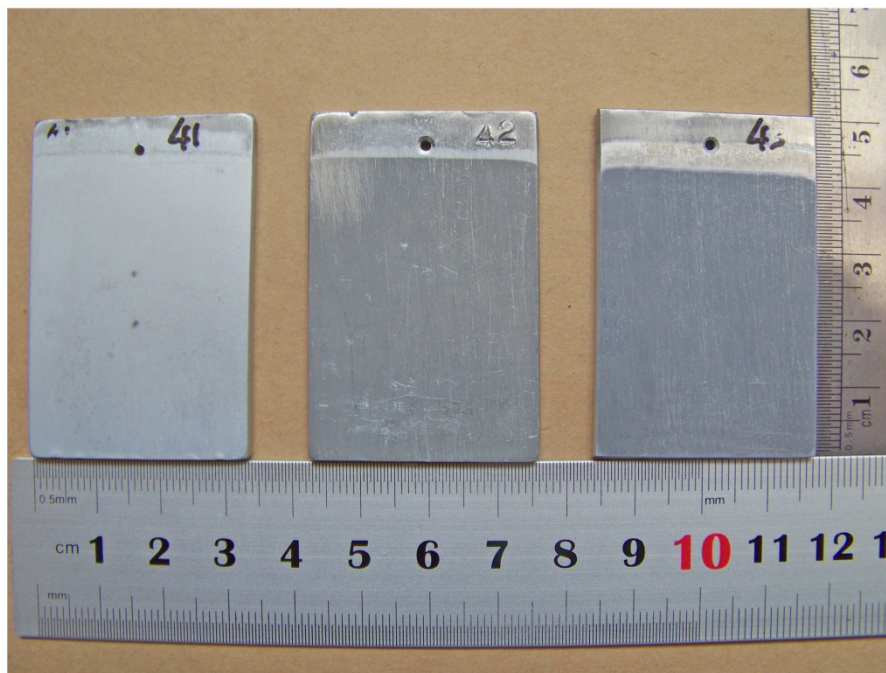
Gambar 4.5. Aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi elektrolit 10 %.



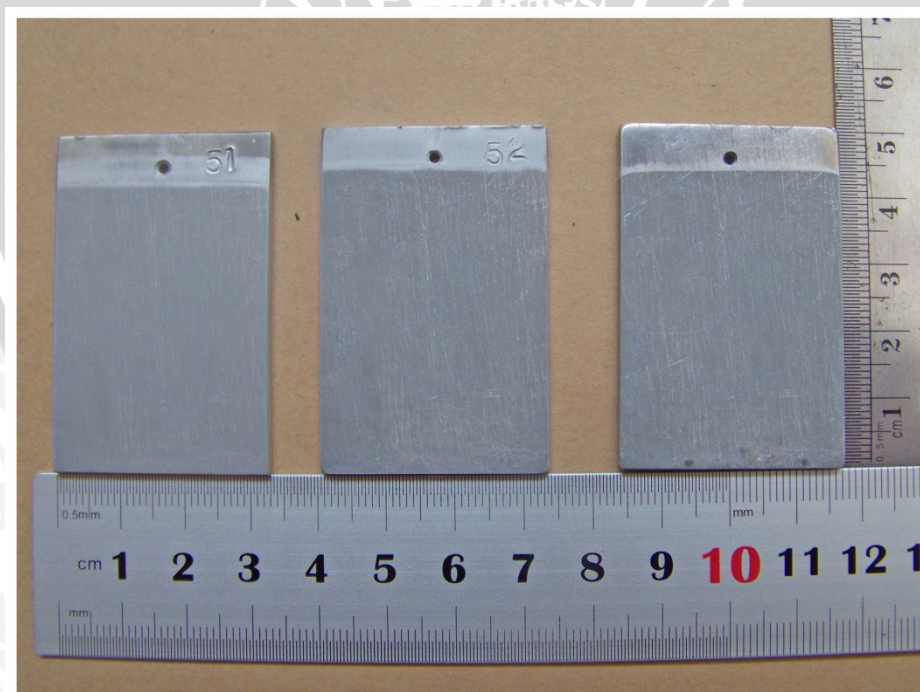
Gambar 4.6. Aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi elektrolit 12,5 %.



Gambar 4.7. Aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi elektrolit 15 %.



Gambar 4.8. Aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi elektrolit 17,5 %.



Gambar 4.9. Aluminium hasil *anodizing* pada konsentrasi elektrolit 20 %.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan konsentrasi elektrolit menyebabkan perubahan simpangan arus pada proses *anodizing* sehingga mempengaruhi nilai efisiensi proses *anodizing*.
2. Nilai efisiensi proses *anodizing* akan naik sampai mencapai besaran maksimum pada penambahan H_2SO_4 kedalam larutan elektrolit. Setelah mencapai besaran maksimum nilai efisiensi akan terus turun hingga mencapai kurang dari 50 %.
3. Proses *anodizing* dengan efisiensi arus tinggi akan menghasilkan aluminium hasil *anodizing* yang baik. Sedangkan proses *anodizing* dengan nilai efisiensi arus yang rendah cenderung akan terjadi *burning*.

5.2 Saran

1. Proses *anodizing* sebaiknya dilakukan pada efisiensi yang tinggi untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menguji aluminium hasil *anodizing* yang baik secara tampak rupa.
3. Standar uji mutu dengan menggunakan perhitungan efisiensi lebih mengarah kepada kuantitas.

DAFTAR PUSTAKA

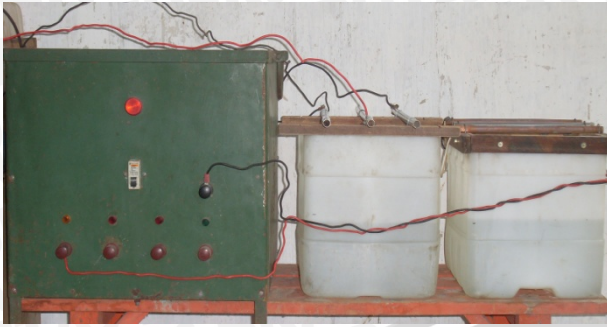
- Hassela, Achim Walter dan Diesing, Detlef. 2007. Modification of Trap Distributions in Anodic Aluminum Tunnel Barriers. *Journal of The Electrochemical Society*. 154_10: C558-C561
- Hifni, M. 1992. *Analisa Varian & Penerapannya*. Malang : Kopma Press.
- Hill, M.A., Butt, D.P., dan Lillard, R.S. 1998. The Passivity and Breakdown of Beryllium in Aqueous Solutions. *Materials Corrosion and Environmental Effects Laboratory*. 1-27.
- Juhl, A. D. 2002. *Theoretical Introduction to Pulse Anodizing*. Denmark : AluConsult.
- Parthasaradhy, Y. 1989. *Practical Electroplating Handbook*. New Jersey, USA : Prentice-Hall, inc.
- Prado, R. A. 2007. *Advanced Anodizing using Process Control Technology dalam DoD Metal Finishing Workshop*. Materials Engineering Laboratory Testing and Corrosion/Wear. Jacksonville, USA. 16-17 May 2007.
- Rajagopal, C. 2000. *Conversion Coating A Reference for Phosphating, Chromating, and Anodizing Process*. New Delhi, India : Tata McGraw-Hill Publishing Company.
- Sakairi, Masatoshi., Miyata, Hiroomi., Kikuchi, Tatsuya., dan Takahashi, Hideaki. 2009. Effect of Potential, Temperature, and Fluoride Ions on the Repassivation Kinetics of Titanium in Phosphate Buffered Saline Solution with the Photon Rupture Method. *Laser Chemistry*. Volume 2009:1-8.
- Sato, T. 1997. "Lecture" *Theories of Anodized Aluminium 100 Q&A*. Tokyo, Jepang. <http://www.mc.mat.shibaura-it.ac.jp/~plaza/index.html>.
- Suratman, R. 2005. *Jurnal Teknologi Perlindungan Logam*. Makalah dalam *Seminar Nasional : Aplikasi Teknologi Perlindungan Logam di Industri*. Prodi Tek. Material ITB. Bandung : 12 Maret 2005.
- Surdia, T. & Shinroku S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Wahyono, S. 2000. *Elektro Metalurgi*. Malang : Universitas Brawijaya.

Lampiran 1 : Tabel distribusi F ($\alpha; v_1; v_2$) untuk $\alpha = 5\%$

		Degrees of freedom for numerator																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00	

Sumber : Walpole, 1997:471

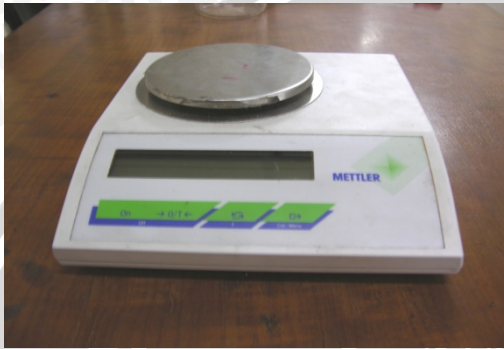
Lampiran 2 : Alat, Spesimen dan Hasil Penelitian



Instalasi Anodizing



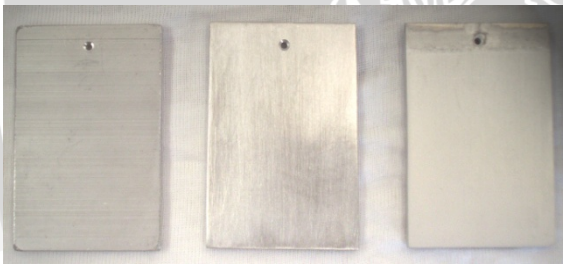
Stabilizer pengatur tegangan listrik



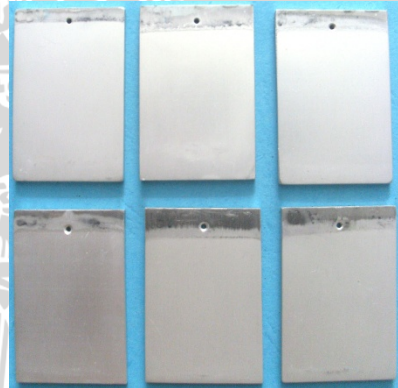
Timbangan Digital



Avometer



Spesimen Aluminium sebelum *pre treatment*, sesudah *pre treatment* dan sesudah proses *anodizing*



Spesimen-spesimen hasil *anodizing*



Spesimen Hasil anodizing



Jangka Sorong

