

**PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KETAHANAN AUS
PADA PROSES PELAPISAN *HARD ANODIZING ALUMINIUM***

6061

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh:

IVAN HARYO PRASOJO

NIM. 0910623054-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KETAHANAN AUS
PADA PROSES PELAPISAN *HARD ANODIZING ALUMINIUM***

6061

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**IVAN HARYO PRASOJO
NIM. 0910623054-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

**Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005**

Dosen Pembimbing II

**Khairul Anam ST., M.Sc
NIK. 861127 06 3 1 0032**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KETAHANAN AUS
PADA PROSES PELAPISAN *HARD ANODIZING ALUMINIUM*
6061**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**IVAN HARYO PRASOJO
NIM. 0910623054 – 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 10 Desember 2013

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Dr.Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
NIP. 19701017 199802 1 001

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

Skripsi III

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc
NIP. 19490911 198403 1 001

Mengetahui,
An. Ketua

PJS. Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketahanan Aus Pada Proses Pelapisan Hard Anodizing Aluminium 6061”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini Penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta yaitu almarhum ayah Hadi Sukamto dan ibu Sutiyah yang telah memberi segalanya yang terbaik untuk penulis.
2. Bapak Dr. Eng.Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Khairul Anam ST.MSc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Ir. Dr. Pratikto, MMT. selaku Dosen Pembimbing Akademis saya yang tidak pernah lelah memberikan bimbingan, nasehat dan motivasinya selama saya menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
7. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Keluarga Besar Laboratorium Pengujian Bahan, ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT, bapak Suhastomo, serta rekan-rekan asisten Sulistyono, Adhyatma, Reza, Fitri, Ambon, Rivky, Siska, Satriyo, Oye, Sony, Yogi atas segala bantuan, dukungan dan semangat yang diberikan.
9. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya BLACKMAMBA (angkatan 2009) yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

karena telah secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

10. Seluruh keluargaku yaitu dek Dewan Valdi Raharjo, dek Arriyan Diva Maulana, mas Yoyok, dan mbak Dewi telah banyak membantu dan memberi dorongan dalam segala hal.
11. Seseorang yang spesial yaitu Natalia Della Rossy yang selalu menyediakan waktu dan memberikan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuanganku yaitu Jhenta Dawam Guna yang selalu hadir untuk membantu dan menghiburku.
13. Sahabatku selama menuntut ilmu di Malang yaitu Ardea Putra Denarsito, terima kasih atas tumpangan tempat tinggal dan segala bantuannya selama ini.
14. Sahabatku selama di malang Fachrul Lubis, Radhitya W, Zamroni, dan Dwi Arida Harja.
15. Seluruh keluarga besar Honda Tiger Club Indonesia dan Neo GAT'S Malang yang selalu menyediakan waktu untuk menghibur penulis.
16. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif pada pembaca. Semoga memunculkan ide-ide baru, saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya.

Malang, November 2013

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR..... i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR..... vii

DAFTAR LAMPIRAN..... viii

RINGKASAN..... ix

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah..... 2

1.4 Tujuan Penelitian..... 3

1.5 Manfaat Penelitian..... 3

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya 4

2.2 Aluminium..... 4

 2.2.1 Sifat-sifat Aluminium..... 5

 2.2.2 Aluminium Paduan Seri 6061 6

2.3 Pengertian Anodizing 7

 2.3.1 Komponen *Anodizing* 7

 2.3.2 Mekanisme *Anodizing* 8

 2.3.3 Pengujian Pelapisan *Anodizing* 10

2.4 Macam-macam Proses *Anodizing* 10

 2.4.1 *Chromic Anodize* 10

 2.4.2 *Sulfuric Anodize* 11

 2.4.3 *Hard Anodize*..... 11

2.5 Elektrolit..... 12

2.6 Elektroda 13



2.7 Elektrolisis.....	14
2.8 Teori Pembentukan dan Pelapisan Oksida.....	15
2.9 Kuat Arus Listrik.....	20
2.10 Uji Kekerasan (<i>Microhardness Tester</i>).....	21
2.11 Uji <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	21
2.12 Pengertian Keausan (<i>Wear Resistant</i>).....	22
2.13 Metode Pengujian Keausan Ogoshi.....	22
2.14 Hipotesa.....	24

III. METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian.....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2.1 Tempat Penelitian.....	25
3.2.2 Waktu Pelaksanaan.....	25
3.3 Variabel Penelitian.....	25
3.3.1 Variabel Bebas.....	25
3.3.2 Variabel Terikat.....	26
3.3.3 Variabel Terkontrol.....	26
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.4.1 Alat Penelitian.....	26
3.4.2 Bahan Penelitian.....	29
3.5 Bentuk dan Dimensi Spesimen yang Digunakan.....	30
3.6 Prosedur Penelitian.....	31
3.7 Pengujian Kekerasan.....	31
3.8 Pengukuran Uji Keausan.....	32
3.9 Rancangan Tabel Hasil Penelitian.....	33
3.10 Diagram Alir Penelitian.....	34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Contoh Perhitungan.....	36
4.2 Tabel Nilai Kekerasan dan Laju Keausan.....	37

4.3 Analisa Grafik Kekerasan dan Laju Keausan.....38

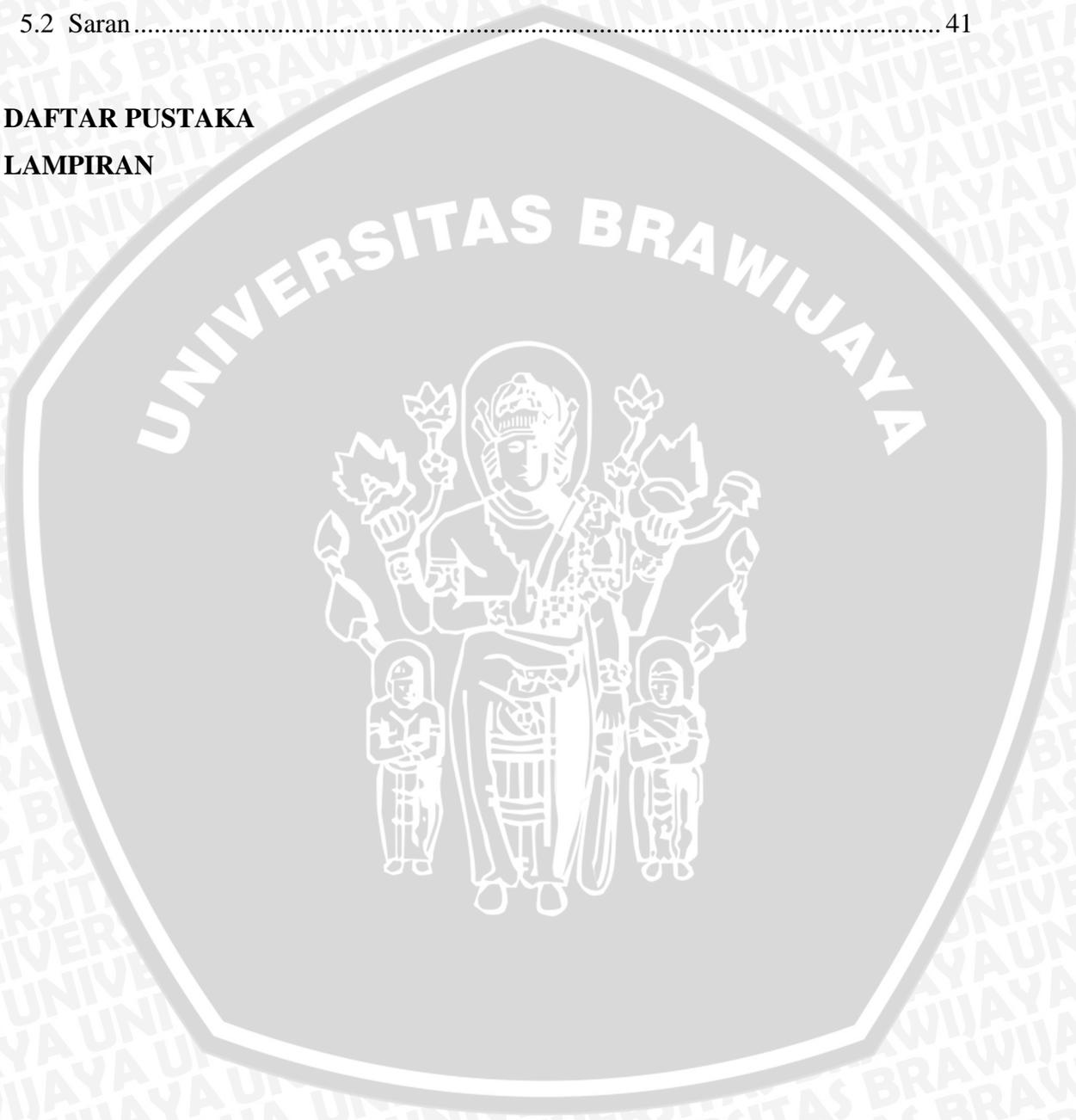
V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....41

5.2 Saran.....41

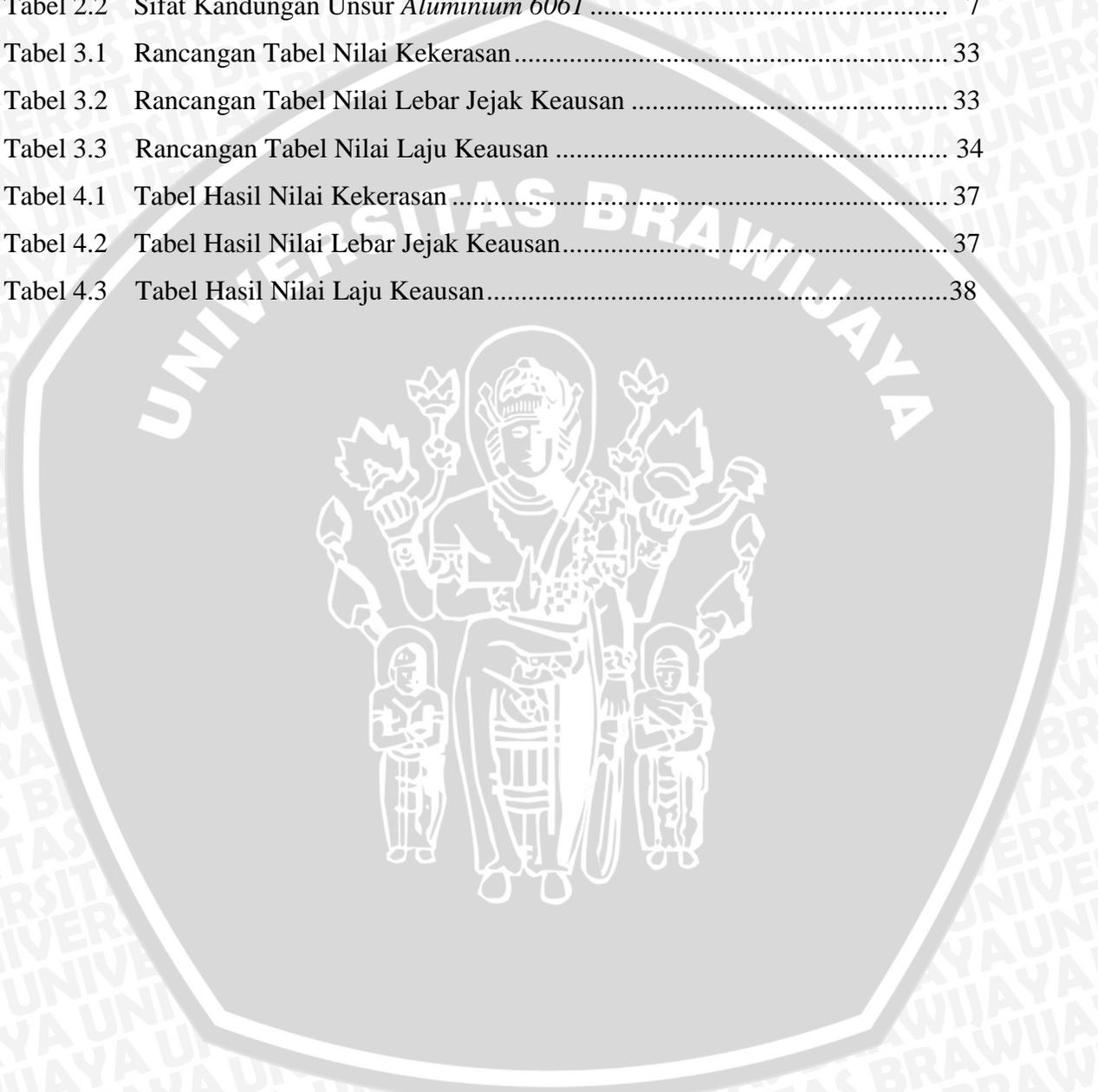
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

NO	JUDUL	HALAMAN
Tabel 2.1	Sifat Fisik <i>Aluminium</i>	5
Tabel 2.2	Sifat Kandungan Unsur <i>Aluminium 6061</i>	7
Tabel 3.1	Rancangan Tabel Nilai Kekerasan.....	33
Tabel 3.2	Rancangan Tabel Nilai Lebar Jejak Keausan	33
Tabel 3.3	Rancangan Tabel Nilai Laju Keausan	34
Tabel 4.1	Tabel Hasil Nilai Kekerasan.....	37
Tabel 4.2	Tabel Hasil Nilai Lebar Jejak Keausan.....	37
Tabel 4.3	Tabel Hasil Nilai Laju Keausan.....	38

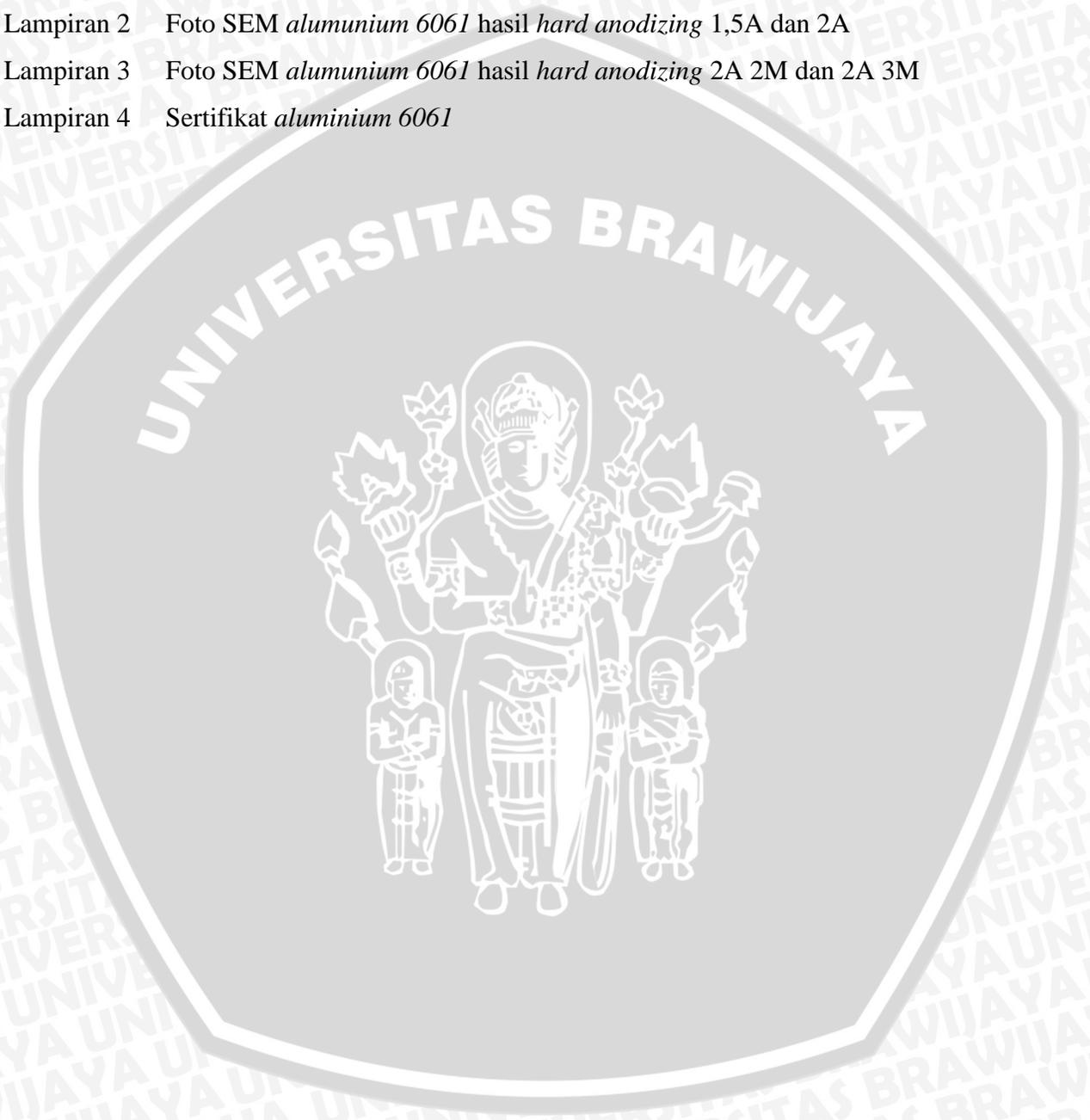


DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	HALAMAN
Gambar 2.1	Mekanisme Sel Elektrolisis Pada <i>Anodizing</i>	9
Gambar 2.2	Sel Elektrolitik	14
Gambar 2.3	Reaksi yang Terjadi Pada <i>Anodizing</i>	16
Gambar 2.4	Mekanisme Pembentukan Lapisan Oksida	17
Gambar 2.5	Struktur Sel pada Lapisan Oksida dan Penampang Lapisan Oksida Berpori	19
Gambar 2.6	<i>Scanning Electron Microscope</i>	22
Gambar 2.7	Alat Uji Keausan	23
Gambar 2.8	Metode Ogoshi	23
Gambar 3.1	Instalasi Alat Percobaan <i>Hard Anodizing</i>	27
Gambar 3.2	Posisi Anoda pada Bak Elektrolit	27
Gambar 3.3	Thermometer raksa.....	28
Gambar 3.4	<i>Heater</i>	28
Gambar 3.5	Gelas Ukur	28
Gambar 3.6	Alat Uji Keausan	29
Gambar 3.7	Bentuk dan Dimensi Spesimen <i>Aluminium 6061</i>	30
Gambar 3.8	Bentuk dan Dimensi Titanium	30
Gambar 3.9	Metode Ogoshi	32
Gambar 3.10	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Kuat Arus dengan Kekerasan.....	38
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Kuat Arus dengan Laju Keausan	39

DAFTAR LAMPIRAN

NO	JUDUL
Lampiran 1	Foto SEM <i>aluminium 6061</i> hasil <i>hard anodizing</i> 0,5A dan 1A
Lampiran 2	Foto SEM <i>aluminium 6061</i> hasil <i>hard anodizing</i> 1,5A dan 2A
Lampiran 3	Foto SEM <i>aluminium 6061</i> hasil <i>hard anodizing</i> 2A 2M dan 2A 3M
Lampiran 4	Sertifikat <i>aluminium 6061</i>



RINGKASAN

Ivan Haryo Prasajo, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2013, *Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketahanan Aus Pada Proses Pelapisan Hard Anodizing 6061*, Dosen Pembimbing: Purnami dan Khairul Anam

Aluminium paduan seri 6061 merupakan paduan yang paling luas pemakaiannya pada seri 6XXX. *Aluminium 6061* mempunyai karakteristik ketangguhan yang baik, tahan korosi, memiliki kekuatan yang sedang hingga tinggi dan paduan yang *heat-treatable*. Namun *Aluminium 6061* masih memiliki sifat tingkat ketahanan aus yang rendah sama seperti jenis *aluminium* yang lain. Hal tersebut dinilai merugikan karena dapat memperpendek *lifetime* dari produk suatu industri karena *aluminium* sendiri pada umumnya akan dipakai dalam kondisi kerja yang berbeda-beda. Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat mekanik dari *aluminium* adalah dengan proses *anodizing*. *Anodizing* merupakan proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrokimia yang merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Maka dalam studi eksperimental ini diteliti seberapa besar laju keausan yang terjadi pada *aluminium* yang telah di *hard anodizing* dengan Titanium dengan memvariasikan nilai kuat arus listrik (A).

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata (*true experimental research*). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kuat arus listrik sebesar 0,5A; 1A; 1,5A dan 2 A. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu laju keausan yang terjadi setelah proses *Hard Anodizing* pada *aluminium 6061*. Sedangkan variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah temperature operasi proses *anodizing* pada suhu $0 - 5^{\circ}\text{C}$, jarak dari anoda ke katoda adalah 5 cm, dan tegangan listrik sebesar 25V dan konsentrasi H_3PO_4 sebesar 2 dan 3 Mol. Setelah melalui proses *anodizing*, proses selanjutnya adalah pengujian keausan. Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui laju keausan *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*.

Dari hasil pengujian dan pengolahan data menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kuat arus listrik yang diberikan, semakin tahan aus pula spesimen yang dibuat. Pada pengujian ini, efisiensi tertinggi terjadi pada nilai kuat arus listrik 2A.

Kata Kunci: *Hard Anodizing, Aluminium 6061, Titanium, Kuat Arus, Laju Keausan.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di berbagai bidang saat ini terjadi sedemikian pesat dan seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia yang dari masa ke masa menuntut peningkatan baik dalam kualitas maupun kuantitas. Kebutuhan manusia yang tidak terbatas mengharuskan para ilmuwan dan teknokrat untuk berinovasi dan melahirkan teknologi baru yang semakin canggih untuk menjawab tantangan tersebut. Demikian juga dengan teknologi dalam bidang teknik mesin yang mengalami perkembangan cukup pesat. Berbagai macam inovasi telah diciptakan untuk menghadapi tantangan kebutuhan manusia yang berkaitan dengan sentuhan mekanik. Salah satu aspek yang penting dalam rekayasa mekanik (*mechanical engineering*) adalah pada penekanan di bidang manufaktur material karena suatu alat atau komponen harus terbuat dari material yang memiliki sifat (*property*) dan ciri (*characteristic*) yang spesifik dan memiliki kontribusi yang tinggi dalam optimasi suatu produksi (Suherman, 1987: 1)

Memilih material yang tepat untuk pembuatan suatu alat atau produk merupakan salah satu aspek penting yang tidak bisa ditolerir dalam salah satu prosedur spesifikasi desain dari system manufaktur. Pemilihan bahan yang kurang tepat akan berakibat pada rendahnya umur pakai (*lifetime*), gangguan pemakaian, rendahnya efisiensi, serta kegagalan (*failure*). Selain itu yang perlu dipertimbangkan adalah komposisi material yang akan dipergunakan. Karena komposisi material yang berbeda akan mempengaruhi baik dan buruknya sifat mekanik dari material tersebut.

Usaha yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik suatu material adalah dengan melakukan pelapisan (*anodizing*) pada material tersebut. Proses pelapisan itu sendiri merupakan salah satu bagian dari proses produksi. *Anodizing* merupakan proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Proses elektrokimia yang merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi

kimia. Pada proses ini komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektroda dan elektrolit. Pada elektrolisis, katoda merupakan kutub negatif dan anoda merupakan kutub positif. (Boyer Haward E, 1986). Pada dasarnya, proses *anodizing* merupakan proses rekayasa permukaan yang bertujuan untuk memproteksi logam dari korosi. Proses *anodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam (Michael Faraday, 1834).

Proses *anodizing* ditentukan oleh komposisi dasar material dan tujuan pembuatannya. Untuk menentukan proses *anodizing* yang tepat harus ditentukan parameter yang tepat pula. Parameter *anodizing* meliputi: kuat arus, tegangan, suhu, molaritas, jenis larutan elektrolit, serta anoda dan katoda yang digunakan. Seluruhnya dapat mempengaruhi hasil ketebalan dalam proses *anodizing* suatu material.

Aluminium paduan seri 6061 merupakan paduan yang paling luas pemakaiannya pada seri 6XXX. *Aluminium 6061* mempunyai karakteristik ketangguhan yang baik, tahan korosi, memiliki kekuatan yang sedang hingga tinggi dan paduan yang *heat-treatable*. Namun *Aluminium 6061* masih memiliki sifat tingkat ketahanan aus yang rendah sama seperti jenis *aluminium* yang lain. Hal tersebut dinilai merugikan karena dapat memperpendek *lifetime* dari produk suatu industri karena *aluminium* sendiri pada umumnya akan dipakai dalam kondisi kerja yang berbeda-beda.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan mengkaji pengaruh kuat arus *anodizing* terhadap ketahanan aus *Aluminium 6061*. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui efektivitas pengaruh kuat arus proses *anodizing* pada *Aluminium 6061*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh kuat arus pada proses *hard anodizing* terhadap ketahanan aus *Aluminium 6061*.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu luas, maka dalam tulisan ini perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan sebagai anoda adalah *Aluminium 6061*

2. Material yang digunakan sebagai katoda adalah *Titanium*.
3. Larutan elektrolit yang digunakan adalah Asam Phosphate (H_3PO_4).
4. Tegangan listrik yang digunakan adalah arus searah (DC)
5. Jenis *anodizing* yang dilakukan adalah *hard anidizing*.

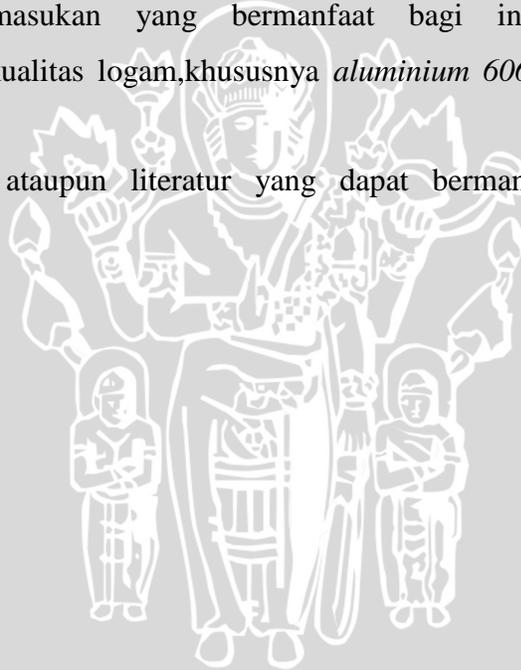
1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuat arus proses *hard anodizing* terhadap ketahanan aus *Aluminium 6061*.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri logam dalam meningkatkan kualitas logam, khususnya *aluminium 6061* dengan proses *hard anodizing*.
2. Sebagai dasar ataupun literatur yang dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sukma (2008), melakukan penelitian dengan tujuan mengetahui pengaruh *densitas* arus terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan oksida pada permukaan *Aluminium* 6063 dengan menggunakan rapat arus 1A, 2A, 3A, 4A, 5A; dan konsentrasi larutan H_2SO_4 15% dengan waktu proses 60 menit. Hasil penelitiannya adalah dengan peningkatan rapat arus dari 1A sampai dengan 3A kekerasan permukaan *aluminium* mengalami peningkatan dari 550 HV hingga 769 HV dan ketebalan lapisan oksida pada permukaan *aluminium* meningkat dari 63,4 μm hingga 94,8 μm , tetapi pada densitas arus diatas 3A kekerasan dan ketebalan lapisan oksida menurun.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bayu (2009) mengenai pengaruh proses pelapisan *Pulse Hard Anodizing* dengan variasi *Pulse Frequency* terhadap karakteristik korosi Al 6061 diketahui bahwa rapat arus yang tidak maksimal mengakibatkan kecilnya elektron yang mengalir melalui sistem elektrolisis pada proses *anodizing* yang menyebabkan lapisan oksida semakin rendah.

Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Torres (2006) tentang *Influence of the Current Density and Resistivity on the Optical Properties of P-Type Porous Silicon Thin Films Fabricated by the Electrochemical Anodizing Method* melaporkan bahwa peningkatan rapat arus pada *anodizing* menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan oksida yang terbentuk. Penelitian ini menggunakan rapat arus sebesar 1.3, 3.8, 6.4, 8.9 and 11.5 mA/cm².

2.2 Aluminium

Aluminium berasal dari bijih *aluminium* yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan *aluminium* murni dilakuan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida *aluminium* atau alumina, yang kemudian dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan *aluminium*.

Aluminium termasuk salah satu logam terpenting dari logam *nonferro*. Penggunaan *aluminium* adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia, 1999). Keutamaan *aluminium* dalam bidang teknik adalah beberapa sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik. (Rahayu, 2008). *Aluminium* memiliki kemampuan untuk melindungi dirinya sendiri dari korosi dengan menghasilkan lapisan oksida yang tipis dan terbentuk secara alami pada permukaannya dengan ketebalan sekitar 0,01 μm . Pengaruh perlindungan dari lapisan oksida pada permukaan *aluminium* tersebut dapat ditingkatkan melalui proses *anodizing*.

2.2.1 Sifat-sifat Aluminium

Berikut ini akan dijelaskan sifat-sifat *aluminium* baik sifat secara fisika maupun mekanik.

a. Sifat-sifat fisik

Tabel 2.1 sifat-sifat fisik *aluminium*

No	Sifat-Sifat Fisik <i>Aluminium</i>	Kemurnian Al (%)	
		99.996	>99.99
1	Massa Jenis (Kg/dm^3)(20°C)	2.6989	2.71
2	Titik cair (°C)	660.2	653-657
3	Panas Jenis ($\text{cal}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}$)(100°C)	0.2226	0.2297
4	Hantaran listrik (%)	64.91	59(dianil)
5	Tahanan Listrik Koefisien Temperatur ($^\circ\text{C}$)	0.00429	0.0115
6	Koefisien muai (20-100°C)	23.86×10^{-6}	23.5×10^{-6}
7	Jenis Kristal, Konstanta kisi	Fcc, $\alpha=4.013\text{kX}$	Fcc, $\alpha=4.04\text{kX}$

Sumber : Surdia, T. 1999 : 134

b. Sifat-sifat mekanik

Sifat-sifat mekanik *aluminium* diantaranya adalah:

1. Ketahanan Aus

Ketahanan aus dari *aluminium* sangat jelek. Hal ini dapat diperkirakan dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan pemanduan *aluminium* dengan logam lainnya seperti Cu.

2. Kekerasan

Aluminium murni mempunyai kandungan *aluminium* sebesar 99,99 % dan mempunyai kekerasan 17 BHN. Penambahan unsur paduan dan perlakuan panas menghasilkan paduan Al dengan kekerasan yang lebih tinggi.

3. Daya hantar panas

Aluminium mempunyai daya hantar panas yang baik. Pembuktiannya dapat ditunjukkan dengan cepatnya distribusi panas dari daerah yang temperaturnya tinggi ke daerah yang temperaturnya rendah.

4. Daya hantar listrik

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

5. Ketahanan korosi

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik karena memiliki lapisan oksida *aluminium* (Al_2O_3) yang terbentuk pada permukaannya. Lapisan ini terbentuk pada permukaan *aluminium* ketika *aluminium* berkontaminasi dengan udara. Lapisan inilah yang melindungi *aluminium* dari korosi. Jika lapisan ini rusak, maka dengan sendirinya terbentuk lapisan film yang baru hasil reaksi dengan udara. Dalam lingkungan asam, *aluminium* cenderung mengalami korosi. Hal ini disebabkan karena reaksi pembentukan lapisan oksidanya lebih lambat dibandingkan dengan reaksi peluruhannya (*dissolution reaction*).

2.2.2 *Aluminium* paduan seri 6061

Aluminium paduan seri 6061 merupakan paduan yang paling luas pemakaiannya pada seri 6XXX. Mempunyai karakteristik ketangguhan yang baik, kekuatannya sedang hingga tinggi dan paduan yang *heat-treatable*. Biasanya digunakan untuk komponen transportasi karena sifat permesinan yang bagus, alat-alat *outdoor* dan sifat mampu

bentuk yang baik dan banyak digunakan untuk rangka-rangka konstruksi. Selain itu *aluminium* seri ini sangat mudah dilas dan disambung dengan beberapa metode, karakteristik *finishing* yang baik dan juga bagus untuk *anodizing* dengan sifat pewarnaan yang baik dan juga kekerasan lapisan yang tinggi. *Aluminium* seri 6061 memiliki berat jenis sebesar 2.7 g/cm^3 sementara konduktivitas termal dan ketahanan listrik *aluminium* seri ini masing – masing sebesar 173 W/m.K dan $3.7 - 4.0 \times 10^{-6} \Omega.\text{cm}$.

Tabel 2.2 kandungan unsur pada *Aluminium* 6061

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
Kandungan (%)	0.4 to 0.8	0.7	0.15	0.15	0.8 to 1.2	0.25	0.15	0.04	<i>balance</i>

Sumber : PT.Sutindo

2.3 Pengertian *Anodizing*

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

Pada dasarnya, proses *anodizing* merupakan proses rekayasa permukaan yang bertujuan untuk memproteksi logam dari korosi. Proses *anodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam. (Michael Faraday, 1834)

2.3.1 Komponen *Anodizing*

Pada *anodizing* komponen yang terpenting adalah elektroda dan larutan elektrolit. Definisi elektroda secara umumnya adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan sebuah bagian non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, sebuah elektrolit atau sebuah vakum). Untuk proses *anodizing* tentunya adalah logam yang melapisi dan logam yang akan dilapisi.

Komponen yang tidak kalah pentingnya adalah larutan elektrolit. Elektrolit adalah suatu senyawa yang bila dilarutkan dalam pelarut akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Elektrolit biasanya digolongkan menjadi elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Larutan elektrolit kuat contohnya adalah HCl, HBr, HI, H₂SO₄ dan HNO₃, selain elektrolit kuat ada juga elektrolit lemah contohnya CH₃COOH, Al(OH)₃, AgCl dan CaCO₃ larutan-larutan tersebut hanya dapat menghantarkan sedikit arus listrik. Suatu larutan elektrolit dapat menghantarkan arus listrik karena jika dia dilarutkan dalam air akan terionisasi. Contohnya elektrolit H₃PO₄ yang larut dalam air akan terionisasi sebagai berikut:



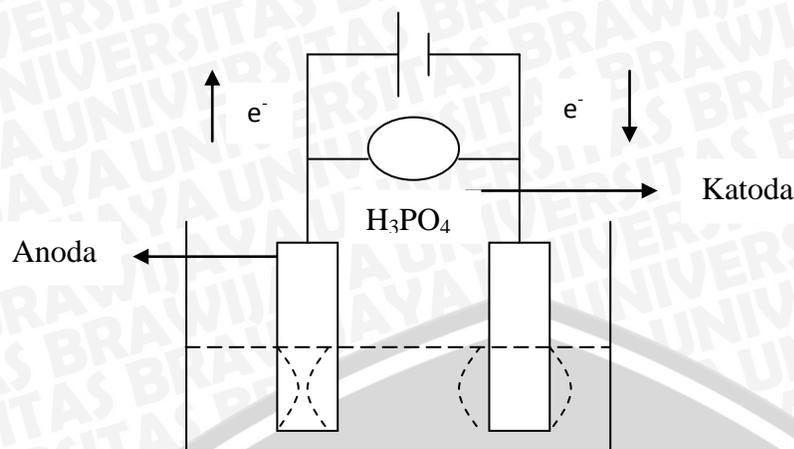
Maka di dalam larutannya akan terbentuk ion positif yaitu (H⁺) dan ion negatif (PO₄³⁻) karena terbentuk ion itulah di dalam larutan timbul beda potensial (tegangan listrik) yang terjadi pada larutan H₃PO₄ sehingga arus listrik dapat mengalir, oleh karena itu larutan tersebut dapat menghantarkan listrik. Zat-zat yang dalam larutannya dapat terionisasi adalah asam, basa dan garam. Selain dua komponen yang terpenting tadi masih ada komponen lain yang berpengaruh yaitu arus dan tegangan listrik yang dipakai juga harus sesuai. (Boyer Haward E, 1986)

2.3.2 Mekanisme Anodizing

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

1. Proses elektrolisis, mengubah energi listrik menjadi energi kimia.
2. Reaksi elektrolisis merupakan reaksi spontan, karena melibatkan energi listrik dari luar.

Dalam proses *Anodizing* ini yang berperan sebagai anoda adalah *aluminium* (Al) sedangkan yang berperan sebagai katoda adalah *Titanium* (Ti). Jika digambarkan proses *anodizing* adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Mekanisme Sel Elektrolisis pada *Anodizing*

Keterangan :

1. Elektron bergerak dari kutub (-) sumber arus ke katode, pada katode terjadi reaksi reduksi.
2. Di anoda terjadi reaksi oksidasi dan elektron mengalir menuju ke sumber arus listrik.
3. Ion (+) bergerak menuju ke kutub (-) dan ion (-) bergerak menuju ke kutub (+), molekul pelarut, bebas tempatnya ada di anoda maupun katoda.
4. Pada katoda akan terjadi endapan *Aluminium* (Al) dan Al pada anoda akan terus menerus larut dan menempel pada katoda.

Dari mekanisme diatas kita dapat mengetahui bahwa logam pelapisnya Ti akan mengendap pada permukaan Al yang terendam elektrolit, sehingga jika dibiarkan maka reaksi tersebut akan terus berlangsung sebelum tegangan listrik dimatikan atau logam Al pada anoda yang dilapisi oleh Ti.

Setelah proses *anodizing* tersebut produk yang diperoleh adalah Al yang dilapisi oleh Ti. *Titanium* tersebut yang nantinya dapat memproteksi atau melindungi *aluminium* dari korosi. Biasanya sesudah di *anodizing* logam Al tersebut tidak langsung dipakai tetapi perlu adanya pelapisan lagi yang berupa cat yang dapat memproteksi logam Al lebih baik lagi dan dapat tahan lama, selain itu gunanya pengecatan adalah juga untuk memperindah atau mempercantik logam tersebut sehingga mempunyai nilai estetika yang lebih tinggi karena lebih menarik.

2.3.3 Pengujian Pelapisan *Anodizing*

Kualitas produk pelapisan secara *anodizing* biasanya diketahui dengan beberapa cara pengujian antara lain: pengamatan secara visual, uji ketahanan korosi, *wear resistance*, ketahanan adhesi, pengujian ketebalan pelapisan dan banyaknya pelapisan. Pengamatan secara visual dilakukan dengan cara mengamati hasil keseluruhan permukaan pelapisan. Lapisan *anodic film* harus seragam serta bebas dari retak, pecah serta tidak adanya daerah penyerbukan.

Sifat ketahanan korosi dari produk *anodizing* dapat diketahui dengan cara *salt spray*, yaitu dengan cara membiarkan bagian yang telah dilapisi ke dalam larutan garam lalu mendiamkannya dalam beberapa waktu (336 jam) kemudian diamati korosi yang terjadi. (Boyer Haward E, 1986)

2.4 Macam-Macam Proses *Anodizing*

Reaksi dasar dari proses *anodizing* adalah merubah permukaan *aluminium* menjadi *aluminium* oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda di dalam sel elektrolisis. Proses *anodizing* terbagi menjadi tiga yaitu *Chromic Anodizing*, *Sulfuric Anodizing*, *Hard Anodizing*. (Boyer Haward E, 1986)

2.4.1 *Chromic Anodizing*

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

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

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

1. Konsentrasi elektrolit 50-100 gr/L CrO_3
2. Temperatur 37 ± 5 °C (100 ± 9 °F)
3. *Time in Bath* 40 – 60 menit

4. Tegangan yang digunakan meningkat dari 0 – 40 Volt dalam 10 menit
5. Penahanan pada tegangan 40 V untuk waktu keseimbangan
6. Kerapatan arus 0,15 – 0,30 A (1,4 – 4,3 A/ft²)

Keuntungan dari proses *chromic anodize* antara lain CrO₃ lebih sedikit agresif dibandingkan dengan *aluminium* dan H₂SO₄, pada proses ini membentuk 0,7 m η dengan pengulangan yang tetap. Warna yang dihasilkan proses *chromic anodize* dapat berubah jika ditambahkan komposisi paduan yang berbeda serta perlakuan panas yang berbeda.

2.4.2 Sulfuric Anodizing

Prinsip dasar operasi ini sama dengan proses asam kromik. Konsentrasi asam sulfur (1,84 sp gr) dalam larutan *anodizing* adalah 12 sampai 20% berat larutan mengandung 36 liter (9,5 gal) H₂SO₄ per 380 liter atau (100 gal) dari larutan dapat menjadi lapisan anodik ketika di-*seal* pada didihan larutan dikromat. Larutan *anodizing* asam sulfur jangan digunakan kecuali:

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

Parameter untuk proses *sulfuric anodize* adalah:

1. Konsentrasi elektrolit 15 % H₂SO₄
2. Temperatur 21 ± 1 °C (70 ± 2 °F)
3. *Time in Bath* 30 – 60 menit
4. Tegangan 15 – 22 Volt, tergantung dari paduannya.
5. Rapat arus yang digunakan 1 – 2 A (9,3 – 18,6 A/ft²)

2.4.3 Hard Anodizing

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

lapisan. Temperatur operasi yang besar menyebabkan lapisan tidak dapat larut dan dapat membakar dan merusak kerja.

2.5 Elektrolit

Komponen penting yang lainnya yaitu larutan elektrolit. Elektrolit adalah suatu senyawa yang bila dilarutkan dalam pelarut akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Zat cair dipandang dari sudut hantaran listriknya, dapat dibagi dalam tiga golongan yaitu :

1. Zat cair isolator seperti air murni dan minyak
2. Larutan yang mengandung ion-ion seperti larutan asam, basa, dan garam - garam di dalam air. Larutan ini dapat dilalui arus listrik dengan ion-ion sebagai penghantarnya dan disertai dengan perubahan-perubahan kimia.
3. Air raksa, logam-logam cair dapat dilalui arus listrik tanpa ada perubahan kimia di dalamnya.

Elektrolit sering kali diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit yang dapat menghantarkan dengan baik digolongkan kedalam elektrolit kuat, contohnya yaitu HCl, HBr, HI, H₂SO₄ dan HNO₃ yang bersifat asam dan LiOH, NaOH, KOH, RbOH, Ca(OH)₂, Sr(OH)₂, dan Ba(OH)₂ yang bersifat basa, selain elektrolit kuat dan elektrolit basa kuat, ada pula golongan elektrolit lemah seperti CH₃COOH, Al(OH)₃, AgCl dan CaCO₃. Larutan-larutan tersebut hanya dapat menghantarkan sedikit arus listrik. Suatu larutan elektrolit dapat menghantarkan arus listrik karena dalam suatu larutan semisal H₃PO₄. Zat H₃PO₄ yang larut dalam air akan terionisasi sebagai berikut:



Di dalam larutan terdapat ion positif (H⁺) dan ion negatif (PO₄³⁻). Adanya ion positif dan ion negatif dalam larutan menimbulkan beda potensial listrik (tegangan listrik) dalam larutan H₃PO₄ karena dalam larutan ada beda potensial listrik, arus listrik dapat mengalir sehingga larutan dapat menghantarkan listrik. Kemampuan elektrolit untuk menghantarkan listrik disebut *molar conductivity*.

$$\Lambda_m (\text{Molar Conductivity}) = \frac{1000}{C (\text{Molarity})} \quad (\text{Arthur Adamson, 1986})$$

Contoh zat yang dapat terionisasi (zat-zat elektrolit) adalah asam, basa dan garam. Zat-zat selain asam, basa, dan garam termasuk zat nonelektrolit karena dalam larutannya tidak terionisasi menjadi ion positif dan ion negatif. Perbedaan dari larutan elektrolit kuat dan lemah terletak pada jumlah pertikel ion (mol ion) dari tiap 1 mol zat. Jika 1 mol zat tersebut dilarutkan ke dalam air ternyata semuanya terionisasi. Hal tersebut disebut zat elektrolit kuat dan zat elektrolit lemah jika dilarutkan ke dalam air tidak semuanya 1 mol zat terionisasi. Untuk menunjukkan perbedaan elektrolit kuat dengan zat elektrolit lemah dinyatakan dengan derajat ionisasi (α), yaitu perbandingan mol zat yang terionisasi dengan mol zat mula-mula.

$$\alpha = \frac{\text{mol zat yang terionisasi}}{\text{mol zat mula - mula}}$$

Untuk zat elektrolit kuat mempunyai derajat ionisasi = 1 dan zat elektrolit lemah mempunyai derajat ionisasi $0 < \alpha < 1$.

2.6 Elektroda

Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan sebuah bagian non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, sebuah elektrolit atau sebuah vakum). Kata ini diutamakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan *hodos* sebuah cara). Pada percobaan *anodizing* ini, digunakan elektroda *aluminium* sebagai anoda dan katodanya adalah logam titanium. Sebuah elektroda dalam sebuah sel elektrolisis ditunjuk sebagai sebuah anoda atau sebuah katoda, kata-kata yang juga diutamakan oleh Faraday. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari voltase yang diberikan ke sel. Sebuah elektroda bipolar adalah sebuah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah dan katoda bagi sel lainnya. Berikut ini adalah jenis elektroda: (Michael Faraday, 1834)

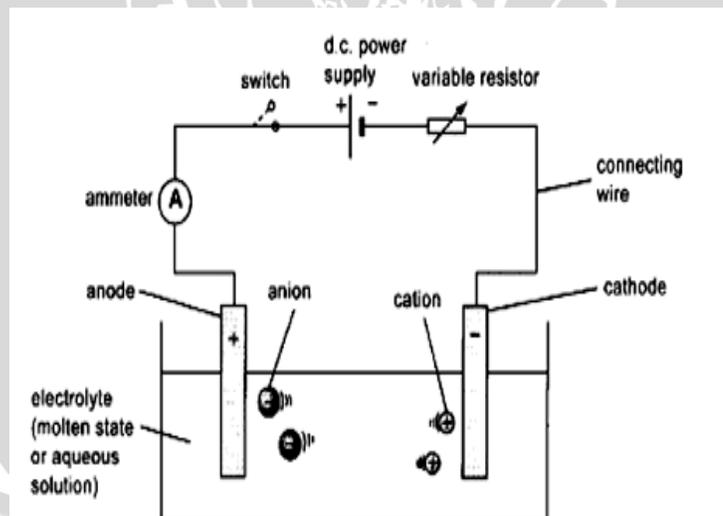
1. Elektroda untuk kegunaan medis, seperti EEG, EKG, ECT, *defibrillator*
2. Elektroda untuk teknik *Electrophysiology* dalam riset biomedikal
3. Elektroda untuk eksekusi oleh kursi listrik
4. Elektroda untuk *electroplating*

5. Elektroda untuk *arc welding*
6. Elektroda untuk *cathodic protection*
7. Elektroda inert untuk hidrolisis (terbuat dari platinum)

2.7 Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Alat elektrolisis terdiri atas sel elektrolitik yang berisi elektrolit (larutan atau leburan), dan dua elektroda, yaitu anoda dan katoda. Sel tempat berlangsungnya peristiwa reaksi kimia yang melibatkan arus listrik disebut sel elektrokimia. Sel elektrokimia berdasarkan energinya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Sel galvanik (*galvanic cell*), yang merubah reaksi kimia (reaksi redoks) menjadi energi listrik. Aplikasi terdapat pada baterai dan *accumulator*.
- b. Sel elektrolitik (*electrolytic cell*), yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi untuk berlangsungnya reaksi kimia (reaksi redoks). Proses yang terjadi dalam sel elektrolitik disebut elektrolisis. Proses elektrolisis menjadi dasar terjadinya proses elektroplating dan proses *anodizing*. Gambar sel elektrolitik dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Sel Elektrolitik
Sumber: Richardson, 2002: 46

Cara kerja sel elektrolisis adalah sebagai berikut.

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

Reaksi yang terjadi pada sel elektrolitik :

- Reaksi pada katoda

Jika yang menuju katoda adalah ion positif dari:

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

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

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

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

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

- Reaksi pada anoda

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

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

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

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

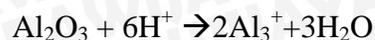
Reaksi yang terjadi : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

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

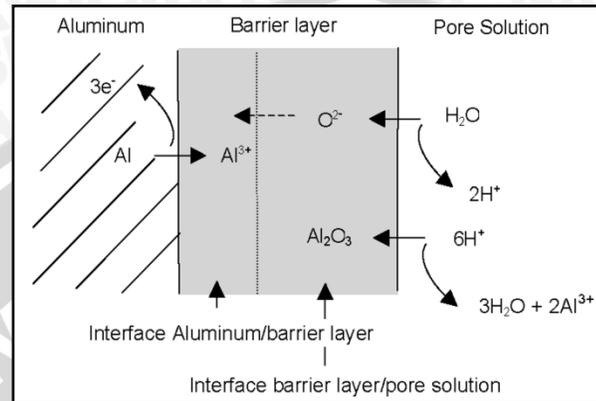
$\text{X} \rightarrow \text{Xn}^+ + \text{n}^-$

2.8 Teori Pembentukan dan Peluruhan Lapisan Oksida

Pada dasarnya pembentukan lapisan oksida harus memperhatikan dua reaksi kimia yang utama yaitu reaksi pembentukan dan reaksi peluruhan, masing – masing sebagai berikut.



Pada reaksi pembentukan ketika arus mulai diberikan, maka proses elektrolisis mulai berjalan. Dalam larutan elektrolit terjadi penguraian ion. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan katoda terjadi reaksi reduksi. Gambar 2.3 menunjukkan kedua proses kimia pada proses anodizing yang berupa reaksi pembentukan dan reaksi peluruhan.

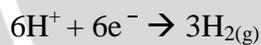


Gambar 2.3 Reaksi yang Terjadi pada *Anodizing*

Sumber : Juhl, 2002

Reaksi Reduksi (Katoda) :

Asam Fosfat akan terurai menjadi kation H⁺ dan ion PO₄³⁻. Kation – kation H⁺ akan bergerak menuju katoda dan di sisi lain akan dinetralkan oleh elektron – elektron katoda sehingga akan terbentuk gas H₂.

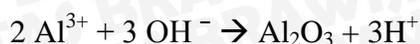


Reaksi Oksidasi (Anoda) :

Al pada anoda akan terurai menjadi ion Al³⁺



Pada permukaan anoda, terjadi reaksi antara ion Al³⁺ dengan oksida atau hidroksida untuk menghasilkan Aluminium oksida (ion hidrogen akan terlepas menuju larutan).

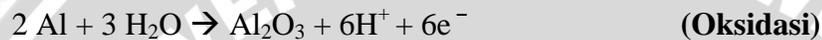


Sehingga didapatkan reaksi oksidasi keseluruhan:

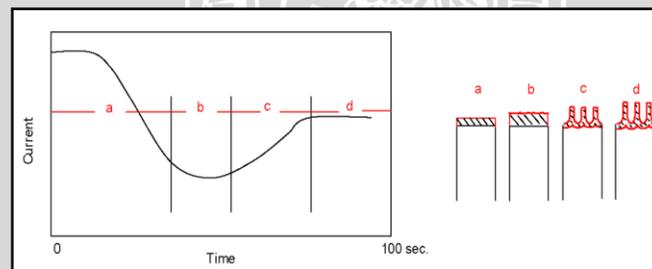


Reaksi Redoks :

Jika kedua reaksi tersebut (oksidasi dan reduksi) dirangkai dan disetarakan maka akan membentuk reaksi redoks sebagai berikut :



Persamaan reaksi redoks diatas merupakan reaksi kimia pembentukan lapisan oksida. Untuk mekanisme pembentukan lapisan oksida jelasnya kita perhatikan gambar 2.4 berikut ini



Gambar 2.4 Mekanisme Pembentukan Lapisan Oksida

Sumber : Juhl, 2002

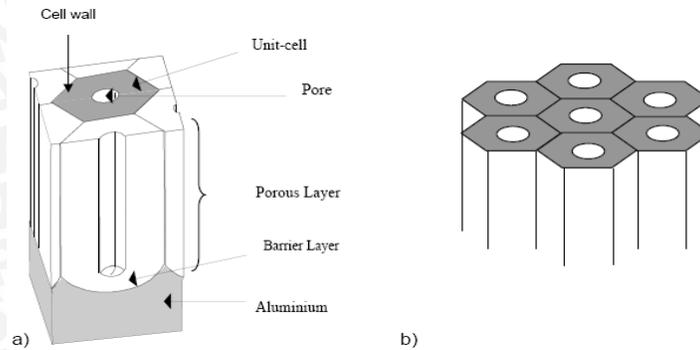
Pembentukan lapisan oksida diawali dari pertemuan antara ion logam Al^{3+} dengan $\text{O}^{2-}/\text{OH}^-$ dari penguraian air. Lapisan yang pertama dibentuk adalah lapisan *barrier* (daerah a). Dalam lapisan *barrier* terjadi reaksi penguraian ion H_3PO_4^- yang diperoleh dari penguraian Asam Phosfat pada larutan yaitu $\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{3-}$. Dalam lapisan *barrier*

ion H_3PO_4^- ini terurai menjadi $\text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$. Ion H^+ adalah proton yang kemudian membentuk *proton space charge*. Adanya *proton space charge*, memudahkan untuk masuknya ion O_2^- kedalam lapisan *barrier*, sehingga lapisan *barrier* yang terbentuk menjadi lebih tebal (daerah *b*).

Tidak ratanya lapisan (daerah *b*) disebabkan arus yang mula-mula diberikan besar (kurva daerah *a*) perlahan-lahan mulai turun (kurva daerah *b*) yang disebabkan lapisan oksida yang memberikan tahanan. Semakin tebal lapisan yang dibentuk, maka tahanannya semakin besar pula. Akibatnya arus yang mengalir menjadi turun seperti yang ditunjukkan pada kurva daerah *b* dan dihasilkan permukaan yang tidak rata. Arus yang mengalir pada daerah ini akan terkonsentrasi pada permukaan lapisan oksida yang tipis, sehingga pada daerah tersebut akan mengalami peningkatan temperatur elektrolit, kemudian daerah *porous* (daerah *c*) mulai terbentuk dan arus kembali naik (kurva daerah *c*). Pada daerah *d*, arus akan mencapai level konstan (kurva daerah *d*), dimana angka dari pembentukan dan pelarutan lapisan oksida mencapai level *steady state*.

Lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *hard anodizing* terdiri dari dua lapisan utama. Seperti tampak pada gambar 2.3, lapisan pertama adalah lapisan penghalang (*barrier layer*), dimana merupakan lapisan yang sangat tipis ($0.03 - 0.08\mu\text{m}$) dan tidak banyak berpori sedangkan lapisan kedua adalah lapisan berpori (*porous layer*) dan letaknya diatas lapisan penghalang. Secara keseluruhan lapisan oksida ini merupakan lapisan yang membentuk struktur *hexagonal closed packed* (gambar 2.5). Tiap sel mempunyai pori – pori dengan diameter pori kurang lebih $1\mu\text{m}$, dimana pori – pori ini dipisahkan dari Aluminium oleh lapisan penghalang.

Ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodizing*, dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain, jenis larutan elektrolit, *current density*, durasi proses *anodizing*, dan lain – lain.



Gambar 2.5 a.) Struktur sel pada lapisan oksida
b.) Penampang lapisan oksida berpori (*porous*)

Sumber : Juhl, 2002

Dalam pembentukan lapisan oksida, selain terjadi pertumbuhan lapisan oksida juga terjadi reaksi peluruhan dengan terurainya ikatan Al_2O_3 menjadi ion Al^{3+} , O^{2-} maupun H_2O . Reaksi peluruhan ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *chemical dissolution* dan *field-assisted dissolution*. *Chemical dissolution* terjadi diantara lapisan *barrier* dan elektrolit sementara *field-assisted dissolution* terjadi diantara lapisan *barrier* yang tidak rata atau berlubang dengan larutan elektrolit. Antara *chemical dissolution* dan *field-assisted dissolution* memiliki laju peluruhan yang sangat berbeda. *Field assisted dissolution* memiliki laju peluruhan sebesar 300 nm oksida per menit, jauh lebih tinggi dibanding dengan *chemical dissolution* yang memiliki laju peluruhan sebesar 0,1 nm oksida per menit. Sehingga reaksi peluruhan *field-assisted dissolution* adalah reaksi peluruhan yang paling berpengaruh pada proses pembentukan lapisan oksida. *Chemical dissolution* terjadi ketika lapisan Al_2O_3 yang sudah terbentuk bereaksi dengan ion H^+ , yang mengakibatkan Al_2O_3 terurai menjadi 2Al^{3+} dan $3\text{H}_2\text{O}$ menurut persamaan reaksi seperti berikut.



Sementara peluruhan pada reaksi *field-assisted dissolution* terjadi karena pemberian energi yang terlalu besar melebihi energi ikatan Al-O pada Al_2O_3 . Pada daerah *barrier* dan sekitarnya, ikatan Al-O akan semakin meregang sebagai akibat tertariknya ions O^{2-} ke dalam lapisan dan terdorongnya Al^{3+} ke dalam larutan oleh medan listrik. Pada *field-assisted dissolution* terjadi peluruhan dengan reaksi sebagai berikut.



Fenomena ini terjadi karena ketidakrataan permukaan pada permukaan lapisan *barrier* yang mulai terbentuk sehingga menyebabkan arus akan terkonsentrasi pada permukaan lapisan oksida yang tipis (berlubang), hal ini akan mengakibatkan peningkatan temperatur elektrolit secara lokal pada tempat tersebut kemudian terjadilah proses pelarutan/peluruhan. Jika kecepatan reaksi peluruhan terlalu besar akan menyebabkan kelarutan lapisan oksida yang terlalu besar, sehingga ketebalan juga akan menurun. Untuk itu reaksi ini perlu ditekan, salah satunya dengan cara penurunan temperatur elektrolit. Lapisan oksida yang terbentuk pada temperatur rendah akan lebih keras karena porositas lapisan kecil atau lapisan padat, lapisan dengan porositas kecil didapat karena proses peluruhan yang lambat daripada proses pembentukan lapisan oksida. Pengaturan temperatur larutan elektrolit sangat penting karena kelarutan aluminium oksida akan bertambah dengan naiknya temperatur larutan elektrolit.

2.9 Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik adalah aliran muatan listrik setiap selang waktu tertentu. Dalam suatu penghantar, muatan yang mengalir adalah elektron- elektron yang bebas bergerak. Proses aliran arus listrik mirip dengan aliran panas dari suatu benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu lebih rendah. Aliran panas akan berhenti setelah kedua suhu benda tersebut sama (setimbang termal). Dalam aliran listrik juga demikian, jika kedua titik telah memiliki tegangan sama, aliran muatan akan berhenti. Arah pergerakan elektron berlawanan dengan arah arus listrik. Dalam sebuah penghantar sesungguhnya pembawa muatan listrik adalah elektron. Walaupun demikian, telah disepakati bahwa arah arus listrik berlawanan dengan arah gerak elektron. Muatan listrik hanya akan mengalir dalam rangkaian tertutup. Pada rangkaian tertutup akan terjadi beda potensial antara kedua ujung penghantar. Beda potensial inilah yang menyebabkan muatan listrik mengalir (terjadi arus listrik).

Kuat arus listrik (I) didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam suatu penghantar setiap satu satuan waktu. Secara matematis, dituliskan sebagai berikut.

$$I = q/t$$

(Dudi Indrajit, 2009)

(2-1)

Keterangan :

I = kuat arus listrik (A)

q = muatan listrik (Q)

t = selang waktu (s)

2.10 Uji Kekerasan (*Microhardnes Tester*)

Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi dari gaya yang diberikan. Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material. Salah satu alat yang digunakan pada pengujian kekerasan ini adalah *micro hardness tester* dengan metode *vickers*. Indentor yang digunakan berupa piramida intan yang alasnya berbentuk persegi dan besar sudut puncak piramidnya adalah 136° . Nilai kekerasan vickers didapat dengan persamaan berikut:

$$VHN = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^{\circ}}{2} \quad (\text{Tata Surdia, 1999}) \quad (2-2)$$

Dengan :

VHN = Nilai kekerasan vickers

F = Beban uji (gram)

A = Luas permukaan bekas injakan indentor (mm).

2.11 Uji *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

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

berguna dalam kualitatif atau semi-kuantitatif menentukan komposisi kimia (menggunakan EDS), struktur kristal, dan orientasi kristal (menggunakan EBSD).

Alat uji SEM seperti pada gambar 2.6 pada pengujian kali ini digunakan untuk memperlihatkan ketebalan luar dan dalam dari hasil pelapisan *Hard Anodizing Al*.



Gambar 2.6 *Scanning Electron Microscope*
Sumber: *Anonymous 1*

2.12 Pengertian Ketahanan Aus (*Wear Resistant*)

Ketahanan aus dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan gesekan (friksi) antar padatan tanpa mengalami kerusakan atau kehilangan material yang progresif pada permukaan. Ketahanan aus bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Peristiwa ketahanan aus merupakan hal yang sering ditemukan pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Ketahanan aus dapat diketahui dengan berbagai macam metode salah satunya dengan perhitungan laju keausan. Semakin rendah laju keausan, maka nilai ketahanan aus dari suatu material akan semakin tinggi.

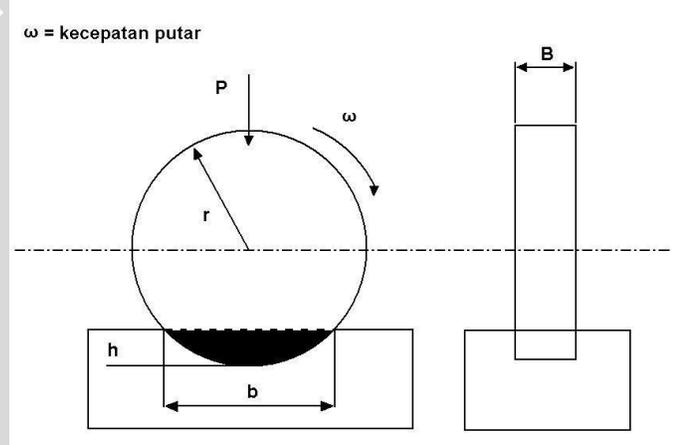
2.13 Metode Pengujian Laju Keausan Ogoshi

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besar jejak permukaan material tergesek hasil pengujian digunakan sebagai dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji.



Gambar 2.7 Alat Uji Keausan

Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Metode Ogoshi

Untuk mengetahui laju keausan digunakan rumus (2-3) dengan parameter sebagai berikut:

$$W_s = \frac{B \cdot b^2}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot l_0} \quad \text{(Sriati Djaprie. 1993)} \quad (2-3)$$

Keterangan :

W_s = Keausan Spesifik (mm^2/kg)

B = Tebal *Revolving disc* (mm)

b^2 = Lebar Celah Material yang Terabrasi

r = Jari-jari Disc (mm)

- P_0 = Beban Tekan (kg)
 l_0 = Jarak Tempuh Proses Pengausan

2.14 Hipotesa

Ketika kuat arus semakin besar, maka lapisan oksida yang pada permukaan *aluminium* di dalam elektrolit akan terbentuk dengan cepat dan tebal, sehingga menyebabkan ketahanan aus *aluminium* 6061 hasil *hard anodizing* meningkat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan arus listrik pada proses *hard anodizing* terhadap ketahanan aus *aluminium 6061*. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengujian *hard anodizing* dan dilanjutkan dengan pengujian ketahanan aus hasil *hard anodizing*.

3.2.1 Tempat penelitian

Penelitian *hard anodizing* dan uji keausan dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Mesin FT Universitas Brawijaya Malang dan Laboratorium Material Teknik Jurusan Mesin FT Universitas Gadjah Mada.

3.2.2 Waktu pelaksanaan

Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Juli 2013 sampai dengan November 2013.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang diubah secara sengaja oleh peneliti untuk menerangkan hubungannya dengan fenomena yang diobservasi. Dalam penelitian ini variabel bebas yang dipakai adalah variasi nilai arus yaitu 0,5 A; 1 A; 1,5 A; 2 A.

3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah kondisi atau karakteristik yang berubah atau muncul ketika penelitian mengintroduksi, pengubah atau mengganti variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikat yang dipilih adalah nilai ketahanan aus *aluminium* hasil *hard anodizing*.

3.3.3 Variabel terkontrol

Variabel yang dikonstankan dalam penelitian ini adalah :

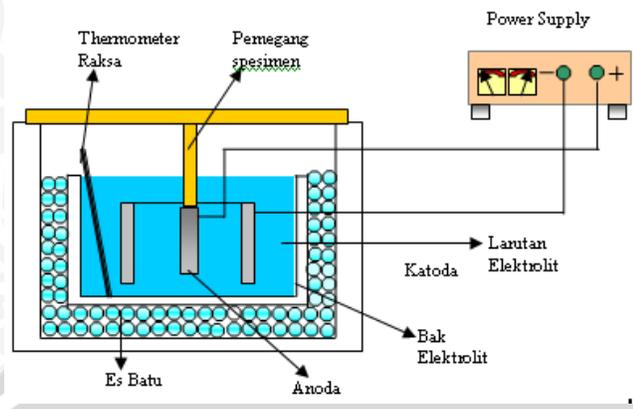
- Waktu proses selama 90 menit.
- Temperatur elektrolit 0 °C sampai 5 °C.
- Larutan elektrolit yang digunakan asam phosphat (H_3PO_4) dengan molaritas 2 dan 3 mol.
- Tegangan yang digunakan 25 V.

3.4 Alat dan Bahan yang digunakan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang dijelaskan di bawah ini.

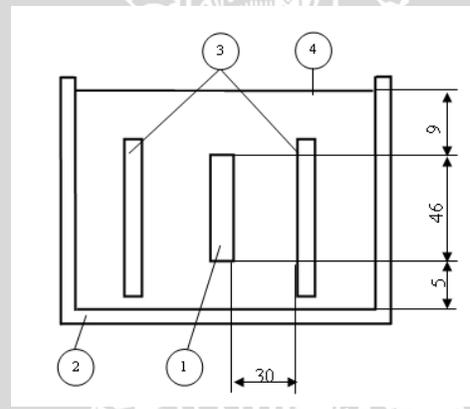
3.4.1 Alat yang digunakan

- Instalasi *anodizing* dalam penelitian ini menggunakan sumber arus jenis DC yang didapatkan dari *power supply* dengan kapasitas arus mencapai 2,5 Ampere dan beda potensial hingga 33 Volt. Instalasi *anodizing* dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Instalasi alat percobaan *Hard Anodizing*

Sedangkan untuk posisi anoda dan katoda pada bak elektrolit dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini:



Satuan: mm

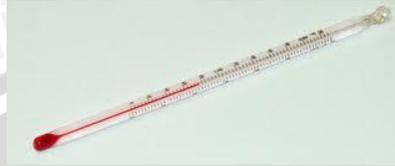
Gambar 3.2 Posisi anoda pada bak elektrolit

Keterangan Gambar 3.2 :

1. Anoda
2. Bak elektrolit (ukuran: 120x120x100) mm
3. Katoda
4. Batas permukaan larutan elektrolit

2. Termometer air raksa

Termometer raksa sebagaimana digambarkan pada gambar 3.3 digunakan untuk mengukur suhu selama proses *pretreatment* dan *anodizing*



Gambar 3.3 Termometer air raksa

Spesifikasi :

- Tingkat ketelitian : 1°
- Temperatur maksimal : 100°C

3. Heater

Heater sebagaimana digambarkan pada gambar 3.4 digunakan untuk memanaskan larutan pada proses *pretreatment*



Gambar 3.4 Heater

Spesifikasi :

- Tegangan 220 V-50 Hz
- Daya 600 W

4. Gelas ukur

Gelas ukur sebagaimana digambarkan pada gambar 3.5 digunakan untuk mengukur volume larutan.



Gambar 3.5 Gelas ukur

Spesifikasi :

- Merk Pyrex
- Kapasitas 250 ml

5. *Stopwatch*
6. Wadah plastik (*tupperware*)
7. Lempengan *titanium* (sebagai katoda)
8. Alat uji kekerasan
9. Alat uji keausan

Gambar 3.6 berikut ini adalah gambar alat uji keausan, yaitu alat yang digunakan untuk pengujian ketahanan aus *aluminium* 6061 sebelum dan setelah mendapatkan perlakuan *hard anodizing* dengan variasi pemberian arus



Gambar 3.6 Alat Uji Keausan

Spesifikasi :

- Tingkat ketelitian disk plate 0,01 mm
- Tingkat ketelitian beban 0,1 mg

3.4.2 Bahan yang digunakan

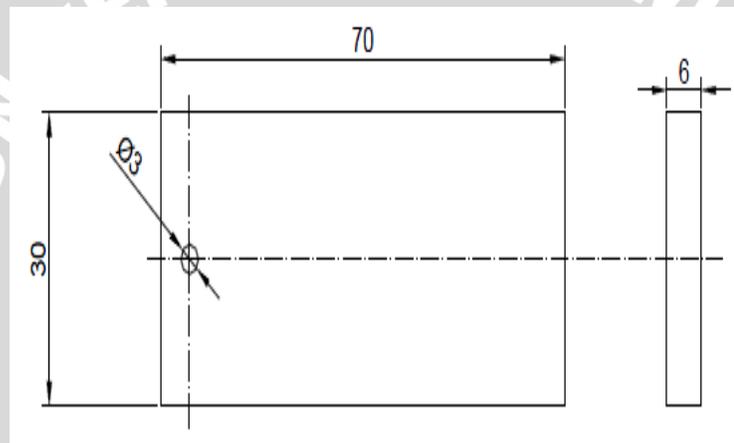
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

- a. *Aluminium* 6061 (benda kerja) berbentuk plat dengan ukuran panjang, lebar dan tebal masing-masing 70 mm; 30 mm; 6 mm.
- b. *Titanium*
- c. Larutan asam sulfat (H_2SO_4)
- d. Asam oksalat (H_3PO_4)
- e. *Caustic soda* (NaOH)

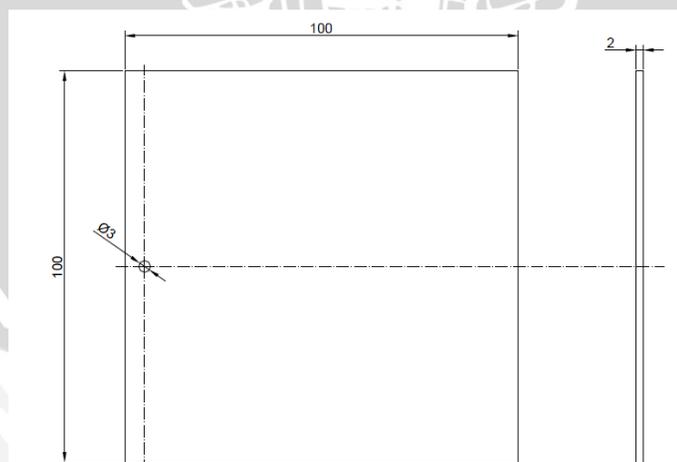
- f. Larutan asam nitrat
- g. Air murni (*destilated water*)
- h. Es batu
- i. Garam dapur
- j. Kain lap

3.5 Bentuk dan Spesimen yang Digunakan

Bentuk dan spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti gambar 3.7 dan 3.8 berikut:



Gambar 3.7 Bentuk dan Dimensi Spesimen *Aluminium 6061*



Gambar 3.8 Bentuk dan Dimensi *Titanium*

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini meliputi :

1. Persiapan peralatan dan benda kerja.
2. Proses *anodizing* :
 - Perlakuan awal (*pre-treatment*), yaitu :
 - a) *Degreasing*, menggunakan larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 15 %, larutan H_2SO_4 dipanaskan pada temperatur $60^\circ C$ sampai $80^\circ C$ dan aluminium direndam selama 5–15 menit, kemudian *aluminium* direndam dalam air murni.
 - b) *Etching*, menggunakan larutan $NaOH$ (*caustic soda*). Proses ini dilakukan pada temperatur $30^\circ C$ sampai $50^\circ C$ dan aluminium direndam selama 3 - 10 menit, kemudian *aluminium* direndam dalam air murni.
 - c) *Desmutting*, menggunakan larutan asam nitrat dengan konsentrasi 10%, proses ini dilakukan pada temperatur $25^\circ C$ sampai $40^\circ C$ dan *aluminium* direndam selama 5 - 10 menit, kemudian *aluminium* direndam dalam air murni.
 - Proses *anodizing*, yaitu *aluminium* hasil *pre-treatment* dihubungkan pada sisi anoda (kutub positif) di *power supply* kemudian direndam dalam *tupper ware* (bak elektrolisis) $12 \times 12 \times 10$ cm yang berisi larutan campuran asam fosfat sebanyak 1000 ml pada temperatur 0 sampai $5^\circ C$, dan pada sisi katoda (kutub negatif) di *power supply* dihubungkan ke lempengan *titanium* 10×10 cm dengan tebal 3 mm, setelah itu pengaturan *urrent density* yang telah direncanakan pada *power supply*. Kemudian *power supply* dinyalakan dan proses berjalan selama 60 menit.

3.7 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan awal dan kekerasan setelah spesimen mengalami proses *anodizing*. Alat yang digunakan pada pengujian kekerasan ini adalah *micro hardness tester* dengan metode *vickers*. Nilai kekerasan vickers didapat dengan persamaan berikut:

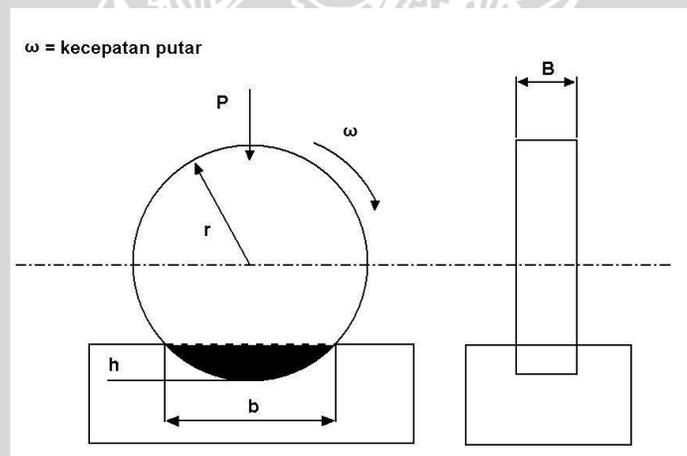
$$VHN = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^\circ}{2} \quad (\text{Tata Surdia, 1999}) \quad (3-1)$$

Dengan :

- VHN = Nilai kekerasan vikers
 F = Beban uji (gram)
 A = Luas permukaan bekas injakan indenter (mm).

3.8 Pengukuran Uji Keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh gambar 3.9 berikut ini :



Gambar 3.9 Metode Ogoshi

$$W_s = \frac{B \cdot b^2}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot l_0} \quad (\text{Sriati Djaprie, 1993}) \quad (3-2)$$

Keterangan :

W_s = Keausan Spesifik (mm^2/kg)

B = Tebal *Revolving disc* (mm)

b^2 = Lebar Celah Material yang Terabrasi

- r = Jari-jari Disc (mm)
 P_0 = Beban Tekan (kg)
 l_0 = Jarak Tempuh Proses Pengausan

Langkah-langkah persiapan alat uji keausan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Letakkan spesimen pada penjepit.
2. Atur beban dan kecepatan yang diberikan terhadap spesimen.
3. Letakkan lengan yang menjepit spesimen hingga bersinggungan dengan disk.
4. Nyalakan mesin uji keausan.
5. Waktu pengujian sampel 5 detik.
6. Setiap pengujian spesimen, setelah itu letakkan spesimen di mikroskop untuk mengetahui lebar jejak hasil keausan.

3.9 Rancangan Tabel Hasil Penelitian

Tabel 3.1 Rancangan tabel nilai kekerasan material *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*.

	Molaritas	Kuat Arus			
		0.5	1	1.5	2
25 Volt	2	X_1	X_2	X_3	X_4
	3	X_5	X_6	X_7	X_8

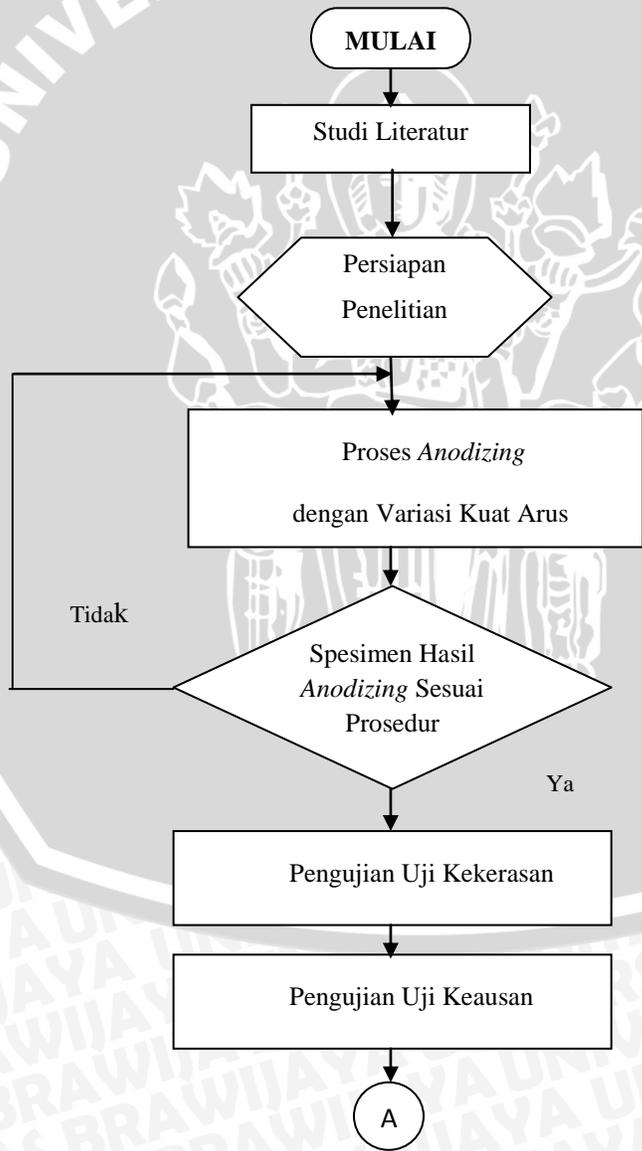
Tabel 3.2 Rancangan tabel lebar jejak uji keausan *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*

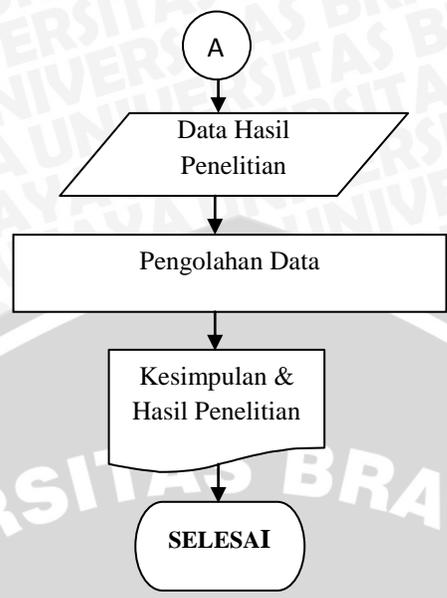
	Molaritas	Arus			
		0.5	1	1.5	2
25 Volt	2	X_1	X_2	X_3	X_4
	3	X_5	X_6	X_7	X_8

Tabel 3.3 Rancangan tabel nilai keausan material *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*.

Molaritas	Kuat Arus			
	0.5	1	1.5	2
25 Volt				
2	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
3	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈

3.10 Diagram Alir Penelitian





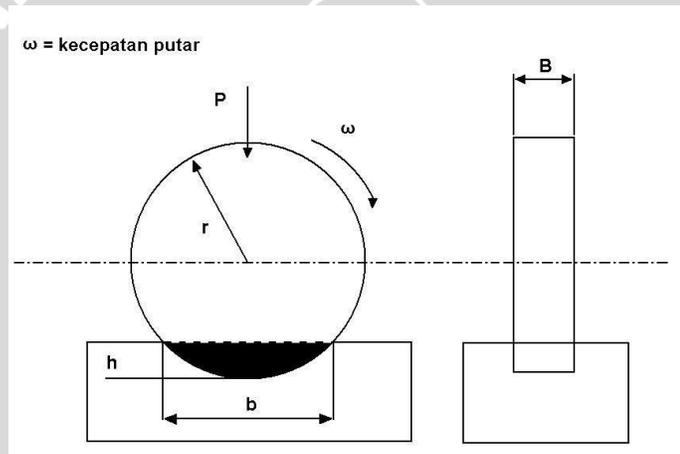
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan perlakuan *hard anodizing* pada *aluminium 6061* dengan memvariasikan kuat arus yang diberikan. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 Ampere. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan keausan untuk mengetahui nilai kekerasan dan keausan material *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*. Berikut ini adalah tabel nilai kekerasan dan keausan, beserta contoh perhitungan nilai keausan yang diperoleh setelah pengujian.

4.1 Contoh Perhitungan



- Rumus perhitungan nilai keausan (W_s)

$$W_s = \frac{B \cdot b^2}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot l_0}$$

Keterangan :

B	: Tebal <i>Revolving disc</i> (mm)	= 3,17 mm
b^2	: Lebar Celah Material yang Terabrasi (mm)	= 1,41 mm
r	: Jari-jari Disc (mm)	= 13,475 mm
P_0	: Beban Tekan (kg)	= 2,12 kg
l_0	: Jarak Tempuh Proses Pengausan	= 1,25 m

- Perhitungan nilai keausan (W_s)

$$W_s = \frac{B \cdot b^2}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot l_0}$$

$$W_s = \frac{3,17 \cdot 1,41^2}{8 \cdot 13,475 \cdot 2,12 \cdot 1,25} = 2,2061 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$$

4.2 Tabel Nilai Kekerasan dan Laju Keausan

Tabel 4.1 menunjukkan nilai kekerasan *aluminium 6061* hasil *hard anodizing* untuk variasi kuat arus yang digunakan.

Tabel 4.1 Tabel nilai kekerasan material *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*.

25 Volt	Molaritas	Kuat Arus			
		0.5	1	1.5	2
	2	104.15	112.95	116.95	122.7
	3	102.6	104.45	106.9	109.7

Sedangkan tabel 4.2 dapat dilihat lebar jejak keausan *aluminium 6061* hasil *hard anodizing* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.2 Tabel lebar jejak uji keausan *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*

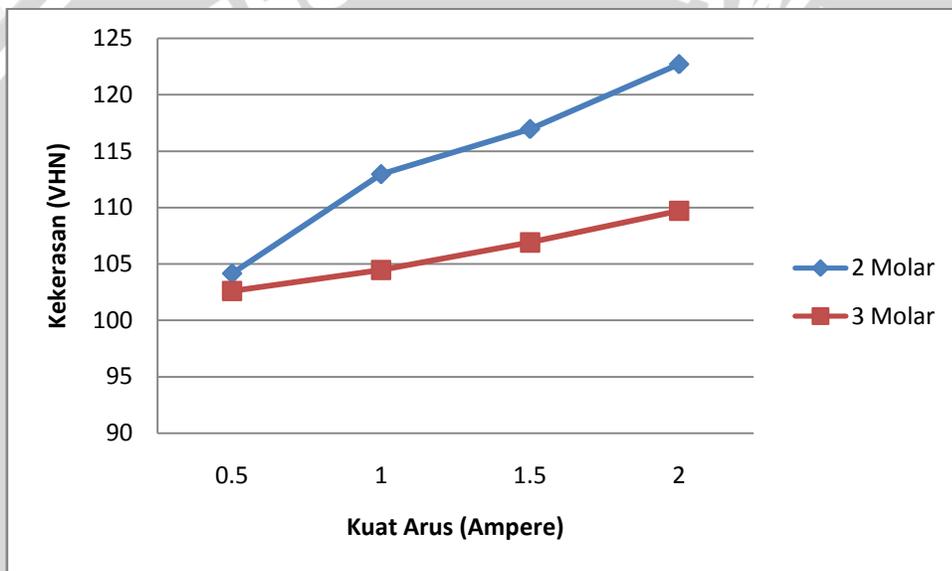
25 Volt	Molaritas	Arus			
		0.5	1	1.5	2
	2	1.41	1.305	1.294	1.252
	3	2.073	1.831	1.726	1.631

Sementara nilai laju keausan yang diperoleh dari pengolahan data tabel 4.2 ditunjukkan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Tabel nilai keausan material *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*.

25 Volt	Molaritas	Kuat Arus			
		0.5	1	1.5	2
	2	2.20614×10^{-5}	1.8898×10^{-5}	1.85807×10^{-5}	1.73942×10^{-5}
	3	4.76863×10^{-5}	3.72024×10^{-5}	3.3058×10^{-5}	2.95191×10^{-5}

4.3 Analisa Grafik Kekerasan dan Laju Keausan



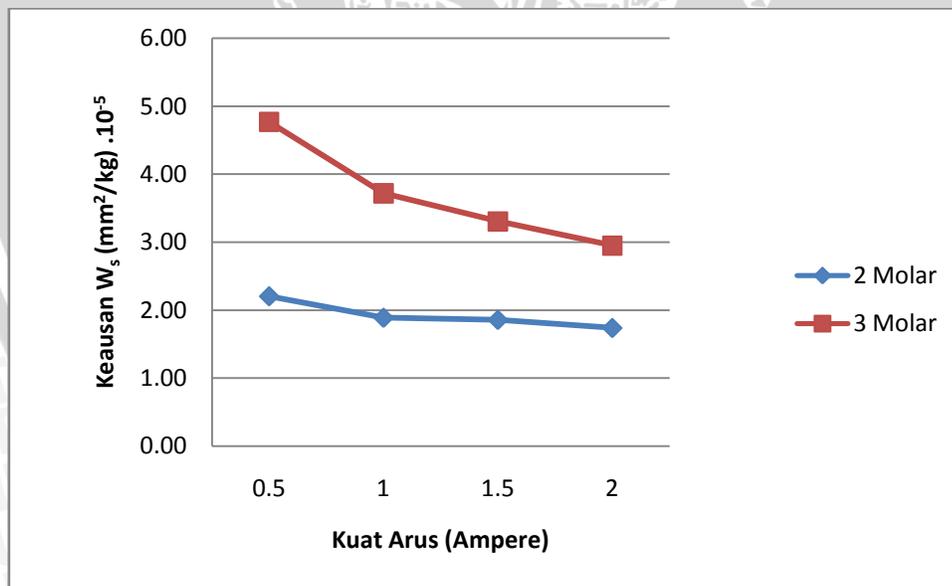
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kuat Arus Dengan Kekerasan

Grafik hubungan kuat arus dengan kekerasan pada gambar 4.1 menyatakan bahwa nilai kekerasan *aluminium 6061* akan semakin meningkat setelah melalui proses *hard anodizing* seiring dengan semakin besarnya kuat arus yang diberikan. Kekerasan paling rendah adalah sebesar 102,6 VHN pada saat kuat arus 0,5 A dan molaritas 3 Mol, sedangkan paling tinggi adalah sebesar 122,7 VHN pada saat kuat arus 2 A dan molaritas 2 Mol.

Penggunaan kuat arus yang semakin besar akan mengakibatkan kekerasan akan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena semakin besar kuat arus yang diberikan maka energi yang diterima oleh ion-ion dalam larutan elektrolit akan semakin besar, sehingga

mengakibatkan pergerakan atom-atom *titanium* semakin leluasa berpindah ke permukaan *aluminium 6061*. Akibatnya, jumlah unsur lapisan oksida *titanium* yang menempel pada permukaan *aluminium 6061* akan semakin banyak dan akan meningkatkan kekerasan *aluminium 6061* hasil *hard anodizing*.

Selain itu gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin rendah molaritas, maka nilai kekerasan *aluminium 6061* akan semakin tinggi. Contoh pada pemakaian arus yang sama, yaitu sebesar 2 Ampere dengan molaritas 2 Mol dan 3 Mol maka akan diperoleh hasil nilai kekerasan dengan molaritas 2 Mol lebih tinggi daripada nilai kekerasan dengan molaritas 3 Mol. Hal ini terjadi karena semakin besar molaritas larutan, maka ion-ion yang terdapat dalam larutan elektrolit akan semakin banyak. Semakin besar molaritas juga akan menyebabkan energi yang dibutuhkan ion-ion untuk bergerak dalam larutan elektrolit semakin besar sehingga perpindahan unsur *titanium* semakin lambat dan mengakibatkan lapisan oksida *titanium* yang terbentuk semakin tipis. Karena lapisan oksida *titanium* yang terbentuk pada permukaan *aluminium 6061* semakin tipis, maka nilai kekerasan akan semakin menurun.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kuat Arus Dengan Keausan

Dari grafik hubungan kuat arus dengan laju keausan gambar 4.2 diperoleh hasil bahwa nilai keausan *aluminium 6061* akan semakin turun seiring dengan semakin

bertambahnya kuat arus yang diberikan pada proses *hard anodizing*. Nilai laju keausan tertinggi adalah pada kuat arus 0,5 A dan molaritas 3 Mol, sedangkan paling rendah adalah pada saat kuat arus 2 A dan molaritas 2 Mol.

Penggunaan kuat arus yang semakin besar akan mengakibatkan nilai keausan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin besar kuat arus yang diberikan maka energi yang diterima oleh ion-ion dalam larutan elektrolit akan semakin besar, sehingga mengakibatkan pergerakan atom-atom lapisan oksida *titanium* semakin leluasa berpindah ke permukaan *aluminium 6061*. Akibatnya, jumlah unsur titanium yang menempel pada permukaan *aluminium 6061* akan semakin banyak, lapisan oksida *titanium* yang terbentuk semakin tebal (lampiran 2 dan 3), dan nilai ketahanan aus *aluminium 6061* hasil *hard anodizing* akan semakin meningkat.

Pada grafik hubungan kuat arus dengan laju keausan pada gambar 4.2 diatas juga diperoleh hasil bahwa semakin tinggi molaritas, maka nilai keausan *aluminium 6061* akan semakin tinggi pula. Contoh pada pemakaian arus yang sama, yaitu sebesar 2 Ampere dengan molaritas 2 Mol dan 3 Mol maka akan diperoleh hasil nilai laju keausan dengan molaritas 3 Mol lebih tinggi daripada nilai keausan dengan molaritas 2 Mol. Hal ini terjadi karena semakin besar molaritas larutan, maka konduktivitas larutan elektrolit akan semakin kecil, sesuai dengan rumus

$$\Lambda_m \text{ (Molar Conductivity)} = \frac{1000}{C \text{ (Molarity)}} \quad \text{(Arthur Adamson. 1986)}$$

Semakin rendah nilai konduktivitas larutan mengindikasikan bahwa jumlah ion-ion yang terdapat dalam larutan elektrolit banyak. Hal ini menyebabkan energi yang dibutuhkan ion-ion untuk bergerak dalam larutan elektrolit semakin besar sehingga perpindahan unsur *titanium* semakin lambat dan mengakibatkan lapisan oksida *titanium* yang terbentuk semakin tipis (lampiran 3). Karena lapisan oksida *titanium* yang terbentuk pada permukaan *aluminium 6061* semakin tipis, maka nilai ketahanan aus akan semakin menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Anodizing dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus pada aluminium 6061. Semakin besar nilai kuat arus yang diberikan pada saat proses *hard anodizing*, maka nilai kekerasan dan ketahanan aus juga akan semakin tinggi. Nilai kekerasan paling tinggi pada aluminium 6061 hasil *hard anodizing* yaitu pada kuat arus 2 A molaritas 2 Mol dengan nilai kekerasan 122.7 VHN. Sedangkan nilai ketahanan aus paling tinggi pada kuat arus 2 A molaritas 2 Mol.

5.2 Saran

1. Untuk mengetahui nilai optimal dari kuat arus yang diberikan pada proses *hard anodizing* terhadap nilai kekerasan dan ketahanan aus, diperlukan penelitian dengan menggunakan kuat arus yang lebih bervariasi.
2. Selanjutnya diperlukan penelitian tentang pengaruh jenis larutan elektrolit, konsentrasi larutan, dan anoda katoda yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous 1 : http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html

Adamson, Arthur. 1986. *Physical Chemistry Third Edition*. University Of Southern California

Ferry, Bayu Novianto. 2007. *Pengaruh Pelapisan Pulse Hard Anodizing Dengan Variasi Pulse Frequency Terhadap Karakteristik Korosi Al 6061*.

Hamzah, 2012. *Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan Listrik Hard Anodizing Terhadap Ketebalan Lapisan dan Kekerasan Permukaan Aluminium 6061 dengan Katoda Titanium*. Teknik Mesin, Brawijaya University.

Howard, E Bowyer. 1986. *Selection of Materials For Component Design*

Indrajit, Dudi. 2009. *Mudah dan Aktif Belajar Fisika Kelas X*

Juhl, Anne Deacon. 2002. *Pulse Anodizing in an Existing Anodizing Line*.
<http://www.AluConsult.dk.com>

Metal Handbook Ninth Edition, Volume 8. 1985. Mechanical Testing, ASM

Putra, S.2008. *Pengaruh Densitas Arus Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Lapisan Oksida pada Permukaan Aluminium 6063 Hasil Hard Anodizing*

Richardson, J.F. 2002. *Redoks Reaction and Electrochemistry*. Boston: Butterworth Heinman

Rahayu, S.S. 2008. *Kimia Industri Untuk SMK JILID 1*.Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Djaprie, Sriati. 1993. *Metalurgi Mekanik*, edisi ketiga, jilid 1, Erlangga

Suherman, Wahid. 1987. *Pengetahuan Bahan*: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.

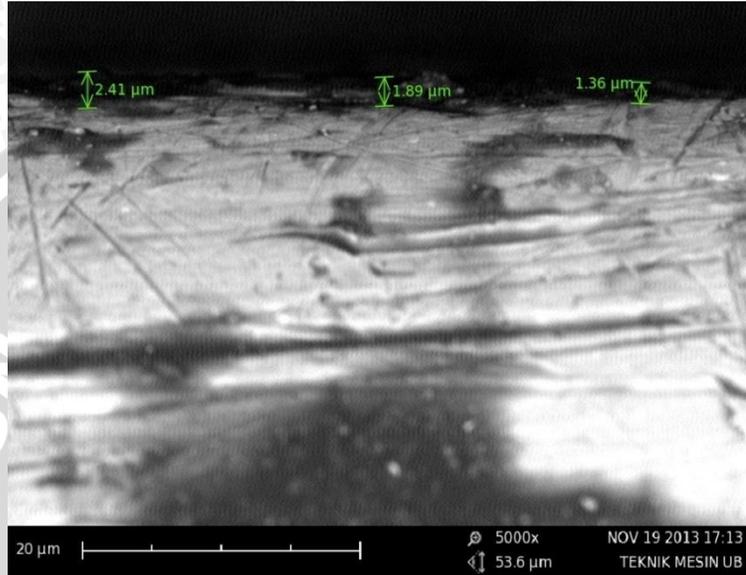
Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan dan Teknik*.Pradnya Paramitha



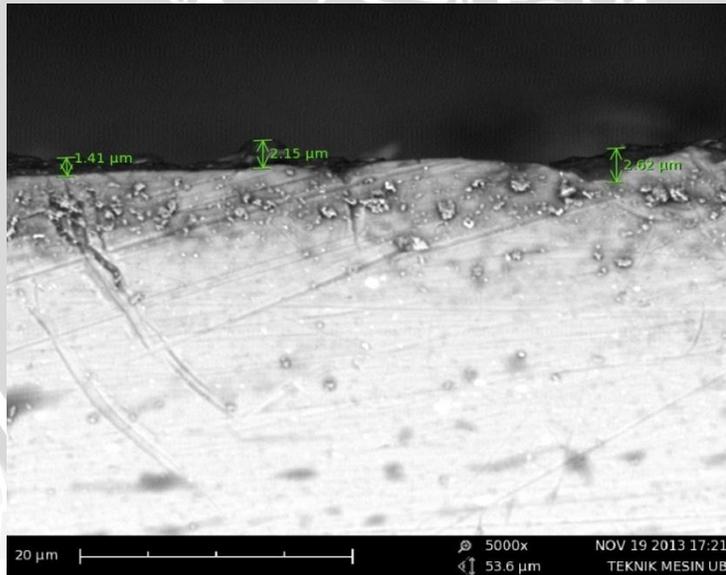
LAMPIRAN

Lampiran 1

Foto SEM Aluminium Hasil Hard Anodizing 0,5A dan 1A



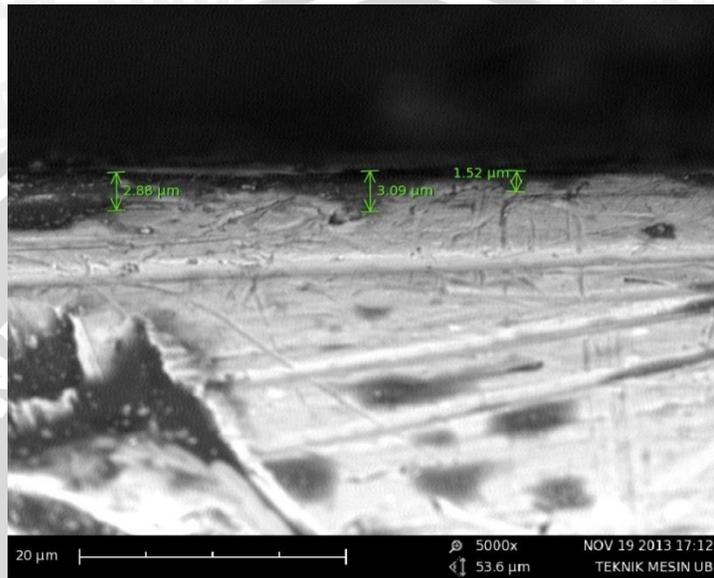
0,5A 25V 2M



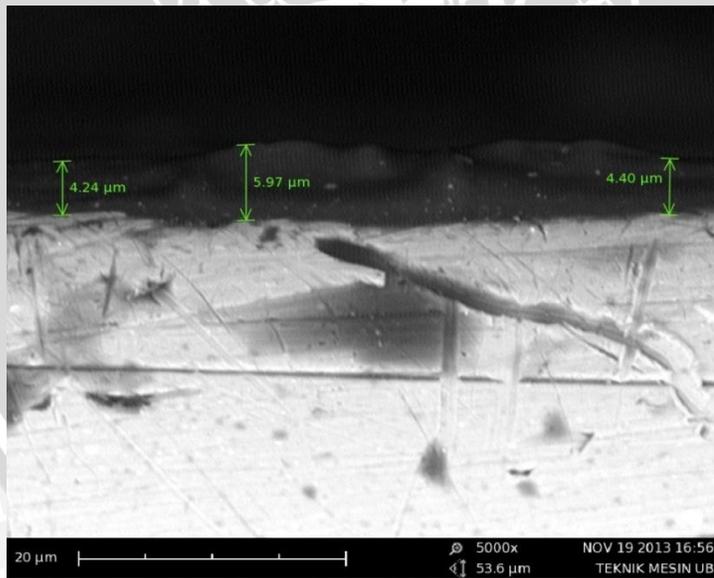
1A 25V 2M

Lampiran 2

Foto SEM Aluminium Hasil Hard Anodizing 1,5A dan 2A



1,5A 25V 2M

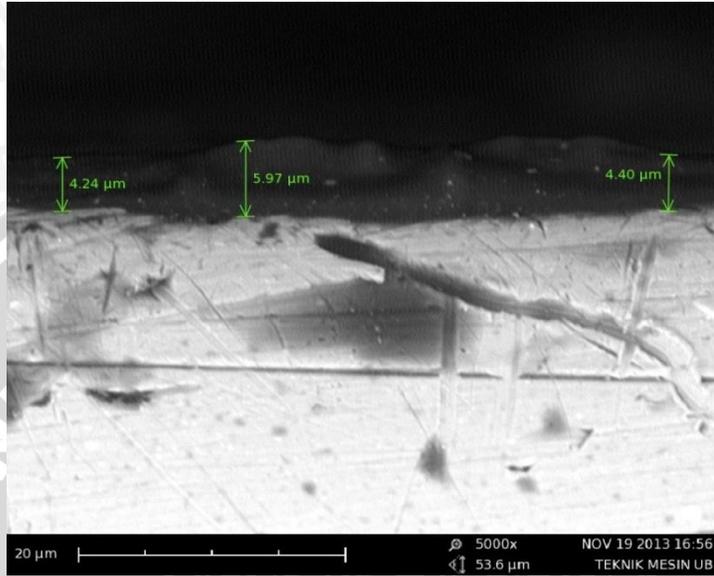


2A 25V 2M

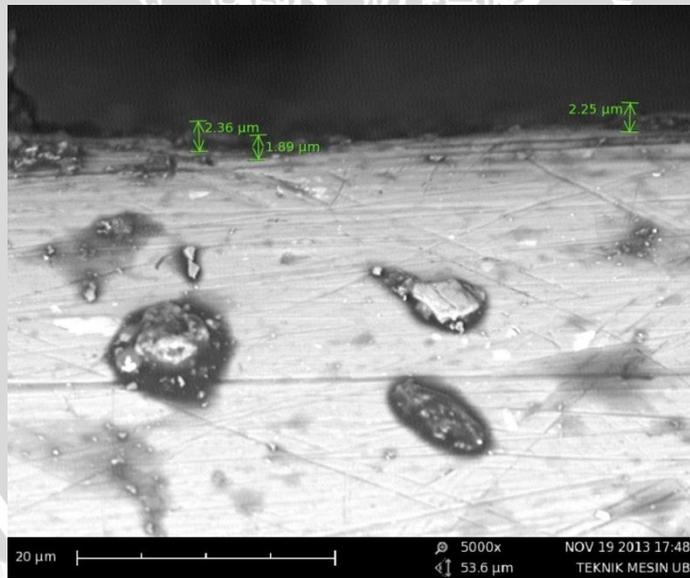


Lampiran 3

Foto SEM Aluminium Hasil Hard Anodizing 2A 2M dan 2A 3M



2A 25V 2M



2A 25V 3M