PENGARUH ARUS DAN WAKTU ANODISASI TERHADAP KEKERASAN PADA LAPISAN OKSIDA ALUMINIUM

SKRIPSI

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh
Muh. Nurhidayat
5201412071

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **"Pengaruh Arus dan Waktu Anodisasi Terhadap Kekerasan Pada Lapisan Oksida Aluminium"** Telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 31 bulan Maret tahun 2017.

Oleh

Nama : Muh. Nurhidayat
Nim : 5201412071
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia

Ketua Panitia	Sekretaris
Rusiyanto, S.Pd ., M.T.	Rusiyanto, S.Pd ., M.T.
NIP. 197403211999031002	NIP. 197403211999031002

Penguji Utama	Pembimbing I	Pembimbing II
Drs. Pramono, M.Pd.	Drs. Masugino, M.Pd.	Dr. Murdani, M.Pd.
NIP. 195809101985031002	NIP. 195207211980121001	NIP. 195306081980121001

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama Mahasiswa	: Muh. Nurhidayat
NIM	: 5201412071
Program Studi	: Pendidikan Teknik Mesin, S1
Fakultas	: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul **"Pengaruh Arus dan Waktu Anodisasi Terhadap Kekerasan Pada Lapisan Oksida Aluminium"** ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Sumber informasi atau kutipan dari karya saya telah disebutkan dalam teks dan tercantum dalam daftar pustaka.

Semarang, 31 Maret 2017

Muh. Nurhidayat
NIM. 5201412071

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

"Bergerak atau mati dalam kegelisahan"

Persembahan

1. Bapak, Ibu, Kakak, serta adik-adiku yang senantiasa mendoakan dan memotivasi.
2. Teman-teman teknik mesin angkatan 2012.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Nurhidayat, Muh. 2017. Pengaruh Arus dan Waktu Anodisasi Terhadap Kekerasan Pada Lapisan Oksida Aluminium. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Masugino dan Murdani.

Kata Kunci: anodisasi, rapat arus, waktu, kekerasan.

Aluminium 6061 digunakan dalam pembuatan komponen mesin dan otomotif. Untuk meningkatkan kekerasan pada aluminium, salah satu prosesnya yaitu anodisasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rapat arus dan waktu pada proses anodisasi terhadap kekerasan permukaan lapisan oksida aluminium.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Pada penelitian ini, spesimen aluminium 6061 berukuran 30 mm x 40 mm x 9,8 mm sebanyak 25 buah. Perlakuan yang diberikan yaitu variasi rapat arus dan waktu pada proses anodisasi. Variasi rapat arus yang digunakan yaitu 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2. Sedangkan waktu yang digunakan yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Setelah diberi perlakuan sesuai variasi pada proses anodisasi, selanjutnya dilakukan uji kekerasan permukaan menggunakan mesin *micro vickers* sebanyak tiga titik secara acak yang kemudian dicari rata-rata angka kekerasan permukaan pada masing-masing spesimen. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah statistik deskriptif.

Nilai rata-rata kekerasan permukaan pada raw material sebesar 151 VHN. Semakin tinggi rapat arus semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan. Hasil anodisasi pada waktu 10 menit dengan rapat arus 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 3 A/dm^2 yaitu 281 VHN. Pada waktu 20 menit dengan rapat arus 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 2,5 A/dm^2 yaitu 315 VHN. Pada waktu 30 menit dengan rapat arus 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 2,5 A/dm^2 yaitu 385,33 VHN. Pada waktu 40 menit dengan rapat arus masing-masing 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 2,5 A/dm^2 yaitu 390 VHN. Pada waktu 50 menit dengan rapat arus masing-masing 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 3 A/dm^2 yaitu 441 VHN. Hasil kekerasan permukaan tertinggi terdapat pada rapat arus 3 A/dm^2 dan waktu pencelupan 50 menit yaitu sebesar 441 VHN, sedangkan hasil kekerasan terendah terdapat pada rapat arus 1 A/dm^2 dan waktu pencelupan 10 menit yaitu sebesar 167 VHN.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Negeri Semarang.

Dalam Kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Skripsi ini, terutama kepada :

1. Dr.Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Bapak Drs. Masugino, M.Pd., selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Murdani, M.Pd., selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi.
5. Drs. Pramono, M.Pd., selaku penguji skripsi yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, serta masukan dalam penyusunan skripsi.
6. Dr. Ir. Basyirun, S.Pd., M.T, IPP. Ketua Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penggunaan laboratorium pengujian bahan UNNES.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

7. Imam Sukoco, SST. Teknisi laboratorium pengujian bahan Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan pengarahan selama melakukan pengujian di laboratorium teknik mesin UNNES.
8. Semua Pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semarang, Maret 2017

Penulis

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

PERNYATAAN KEASLIAN iii

MOTTO DAN PERSEMBAHAN iv

ABSTRAK v

PRAKATA vi

DAFTAR ISI viii

ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN xi

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR LAMPIRAN xv

BAB I. PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang Masalah 1

B. Identifikasi Masalah 3

C. Pembatasan Masalah 3

D. Rumusan Masalah 4

E. Tujuan Penelitian 4

F. Manfaat Penelitian 4

BAB II. KAJIAN PUSTAKA 6

A. Kajian Teori 6

1. Aluminium 6

2. Paduan Al-Mg-Si 7
3. Lapisan Oksida Aluminium 7
4. Prinsip Anodisasi 8
5. Mekanisme dan Proses Pembentukan Lapisan Oksida 11
6. Faktor yang Mempengaruhi Anodisasi 13
7. Kekerasan Mikro *Vickers* 18
B. Kajian Penelitian yang Relevan 20
C. Kerangka Pikir Penelitian 22
BAB III. METODE PENELITIAN 24
A. Jenis Penelitian 24
B. Variabel Penelitian 24
C. Alat dan Bahan 24
1. Alat 25
2. Bahan 26
D. Waktu dan Tempat Penelitian 28
E. Prosedur Penelitian 28
1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 28
2. Proses Penelitian 30
3. Data Penelitian 34
4. Teknik Pengumpulan Data 35
5. Teknik Analisis Data 35
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 36
A. Hasil Penelitian 36

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

1. Hasil Uji Komposisi 36

2. Hasil Uji Kekerasan Pada Permukaan Aluminium Tanpa Perlakuan Anodisasi 37

3. Hasil Uji Kekerasan Pada Permukaan Aluminium Dengan Perlakuan Anodisasi 37

B. Pembahasan 51

1. Perbedaan Nilai Kekerasan Benda Tanpa Perlakuan dan Benda Dengan Perlakuan Anodisasi 52

2. Pengaruh Rapat Arus Anodisasi Terhadap Kekerasan Permukaan 52

3. Pengaruh Waktu Anodisasi Terhadap Kekerasan Permukaan 54

4. Hubungan Rapat Arus dan Waktu Anodisasi Terhadap Nilai Kekerasan Permukaan 55

BAB V PENUTUP 57

A. Simpulan 57

B. Saran 58

DAFTAR PUSTAKA 60

LAMPIRAN 63

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	**Arti**
A	Amper
Al	Aluminium
gr	Gram
dm^2	Desimeter kuadrat
HNO_3	Asam nitrat
Mg	Magnesium
Si	Silikon
NaOH	Soda kaustik
H_2SO_4	Asam sulfat
^0C	Derajat celcius
µm	Mikrometer
V	Voltase
mm	Mikrometer
Pb	Timbal

Singkatan	**Arti**
AA	*aluminium association*
ALCOA	*aluminium Company Of America*
ASTM	*American Society for Testing and materials*
DC	*direct current*
VHN	*Vickers microindenter Hardness Number*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia aluminium 6061 7

Tabel 2.2 Parameter proses anodisasi 14

Tabel 2.3 Proses anodisasi konvensional 14

Tabel 2.4 Kondisi operasi untuk anodisasi otomotif.....17

Tabel 3.1 Jumlah spesimen 29

Tabel 3.2 Instrumen data penelitian kekerasan 34

Tabel 4.1 Komposisi kimia aluminium 36

Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan tanpa perlakuan 37

Tabel 4.3 Nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 10 menit 38

Tabel 4.4 Nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 20 menit 39

Tabel 4.5 Nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 30 menit 40

Tabel 4.6 Nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 40 menit 41

Tabel 4.7 Nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 50 menit 42

Tabel 4.8 Nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 1 A/dm^2.....44

Tabel 4.9 Nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 1,5 A/dm^2.....46

Tabel 4.10 Nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 2 A/dm^2.....47

Tabel 4.11 Nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 2,5 A/dm^2.....48

Tabel 4.12 Nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 3 A/dm^2.....49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur lapisan oksida aluminium.....8

Gambar 2.2 Rangkaian anodisasi aluminium.....9

Gambar 2.3 Skema tahapan pembentukan lapisan *porous*.....13

Gambar 2.4 Tegangan dan rapat arus dihitung sebagai fungsi temperatur.....16

Gambar 2.5 Tegangan dan rapat arus dihitung sebagai fungsi konsentrasi Elektrolit.....16

Gambar 2.6 Grafik pengaruh temperatur terhadap kekerasan mikro lapisan oksida.....18

Gambar 2.7 Indentor mikro *Vickers*.....19

Gambar 2.8 Kerangka piker penelitian.....23

Gambar 3.1 *Stand base, stand rod, multy clamp*, dan *hand clamp*.....26

Gambar 3.2 NaOH.....27

Gambar 3.3 HNO_3.....27

Gambar 3.4 Asam sulfat.....28

Gambar 3.5 Dimensi spesimen.....29

Gambar 3.6 Diagram alir penelitian.....30

Gambar 4.1 Grafik nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 10 menit.....39

Gambar 4.2 Grafik nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 20 menit.....40

Gambar 4.3 Grafik nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 30 menit.....41

Gambar 4.4 Grafik nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 40 menit.....42

Gambar 4.5 Grafik nilai kekerasan variasi rapat arus pada waktu 50 menit.....43

Gambar 4.6 Grafik pengaruh rapat arus terhadap kekerasan.....44

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Gambar 4.7 Grafik nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 1 A/dm^2 45

Gambar 4.8 Grafik nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 1,5 A/dm^2 46

Gambar 4.9 Grafik nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 2 A/dm^2 47

Gambar 4.10 Grafik nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 2,5 A/dm^2 48

Gambar 4.11 Grafik nilai kekerasan variasi waktu pada rapat arus 3 A/dm^2 50

Gambar 4.12 Grafik pengaruh waktu terhadap kekerasan 50

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan rapat arus 64

Lampiran 2 Hasil pengujian komposisi di UPTD laboratorium perindustrian Tegal 66

Lampiran 3 Surat jin Penelitian..... 67

Lampiran 4 Surat keterangan pengujian mikro *vickers* di Unnes 68

Lampiran 5 Hasil pengujian kekerasan permukaan di Unnes 69

Lampiran 6 Perhitungan kekerasan mikro *vickers* 71

Lampiran 7 Foto-foto kegiatan..... 83

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Suatu material akan mengalami degradasi akibat berinteraksi dengan material lain maupun lingkungan. Degradasi ini akan menyebabkan material mengalami kerusakan sebelum masa pakainya mencapai titik optimum. Maka dari itu beberapa komponen mesin ataupun otomotif saat ini dituntut untuk memiliki tingkat kekerasan yang baik, namun material yang memiliki tingkat kekerasan yang tinggi biasanya berat, maka diperlukan material yang memiliki tingkat kekerasan yang tinggi namun ringan. Salah satu material yang ringan adalah aluminium dan paduanya. Aluminium merupakan material logam yang banyak dikembangkan dan diaplikasikan pada berbagai macam produk industri seperti halnya komponen otomotif, pesawat terbang bahkan satelit. Rooy (1990) menyebutkan bahwa hal ini sangat dimungkinkan mengingat karakteristik logam aluminium yang memiliki massa jenis cukup ringan (2,70 gr/cm^3), kurang lebih sepertiga massa jenis baja, tembaga, maupun kuningan.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Pengembangan aluminium tidak terbatas hanya pada material aluminium, akan tetapi juga pada perlakuan akhir aluminium. Perlakuan akhir dilakukan guna mendapatkan sifat permukaan akhir dengan berbagai karakteristik seperti halnya sifat kekerasan agar mempunyai umur pakai yang lebih lama. Untuk dapat mendukung berbagai kebutuhan industri dan teknologi yang menggunakan aluminium sebagai material utama, dibutuhkan

berbagai pengembangan, dan inovasi dalam teknologi pemanfaatan aluminium, untuk memperoleh nilai guna yang lebih tinggi dari logam aluminium. Salah satu metode inovatif yang digunakan dalam konversi permukaan aluminium adalah dengan proses elektrokimia yaitu anodisasi.

Anodisasi memiliki beberapa parameter yang mempengaruhi terhadap hasil. Sidharta (2014) meyebutkan hasil *anodizing* terbaik didapatkan dengan menggunakan elektrolit 15% vol H_2SO_4 + 6 wt $H_2C_2O_4$ dengan waktu proses selama 7 menit yang menghasilkan perubahan kekerasan material dari 115 VHN menjadi 190 VHN. Setyobudi, Sutikno, dan Soenoko menjabarkan bahwa semakin besar tegangan dan arus listrik maka kekerasan permukaan aluminium 6061 akan semakin meningkat dibuktikan dengan meningkatnya nilai kekerasan sebelum *anodizing* adalah 113,07 VHN dengan perlakuan arus listrik 2 A dan tegangan 30 V nilai kekerasanya menjadi 160,43 VHN. Febriyanti (2011) menyebutkan bahwa dengan kenaikan temperatur anodisasi keras dari 5 ^{0}C hingga 28 ^{0}C, cenderung akan menurunkan menurunkan kekerasan lapisan anodis dengan cukup tajam. Talat (1994) menyebutkan pada umumnya paduan aluminium seri 5xxx dan 6xxx menghasilkan sifat lapisan dekoratif dan protektif yang baik. Paduan aluminium seri 7xxx memberikan lapisan yang terang dengan performansi yang baik pula. Proses anodisasi mengkonversi lapisan aluminium menjadi lapisan oksida aluminium, dimana aluminium ditempatkan sebagai anoda dalam suatu media elektrolit (Stevenson, 1990). Proses pelapisan ini menggunakan elektrolit H_2SO_4 yang dipadukan dengan rapat arus waktu yang tepat, sehingga dengan perpaduan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

yang optimal mampu menghasilkan lapisan oksida yang baik. Lapisan oksida yang dihasilkan akan memberikan karakteristik permukaan yang dapat direkayasa seperti kekerasan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, adapun permasalahan yang dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Rapat arus anodisasi.
2. Waktu anodisasi.
3. Temperatur anodisasi.
4. Tegangan anodisasi.
5. Jenis dan konsentrasi elektrolit untuk anodisasi.
6. Jenis aluminium.

C. Pembatasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian yang akan dilakukan maka dibuat beberapa batasan sebagai berikut:

1. Variabel bebas yang digunakan ada dua yang pertama rapat arus dengan variasi 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, dan yang kedua waktu dengan variasi 10, 20, 30, 40, dan 50 menit.
2. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah konsentrasi elektrolit asam sulfat 15 wt%, temperatur 27 ^{0}C, dan Anoda aluminium 6061.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

3. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekerasan pada permukaan lapisan oksida aluminium.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah maka permasalahan yang dapat dikaji sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh rapat arus anodisasi terhadap kekerasan pada permukaan lapisan oksida aluminium?
2. Bagaimana pengaruh waktu anodisasi terhadap kekerasan pada permukaan lapisan oksida aluminium?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukanya penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh rapat arus anodisasi terhadap kekerasan pada permukaan lapisan oksida aluminium.
2. Untuk mengetahui pengaruh waktu anodisasi terhadap kekerasan pada permukaan lapisan oksida aluminium.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

   Menambah wawasan tentang parameter anodisasi terhadap kekerasan permukaan lapisan oksida aluminium.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi peneliti, diperoleh parameter optimal pada proses anodisasi untuk nilai kekerasan permukaan pelapisan logam aluminium sesuai dengan kasus penelitian.

b. Bagi peneliti selanjutnya, sebagai acuan dalam mengembangkan metode anodisasi pada pelapisan aluminium.

c. Bagi industri, sebagai rekomendasi dalam upaya meningkatkan industri pelapisan khususnya anodisasi.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi baik dan hantaran listrik baik dan sifat-sifat yang baik lainya sebagai logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefesien pemuaian rendah dsb (Surdia, 1999: 129).

Selain dari sifat-sifat yang sudah disebutkan di atas. Logam aluminium tahan terhadap korosi udara, karena reaksi antara logam aluminium dengan oksigen menghasilkan oksidanya, Al_2O_3 yang merupakan lapisan nonpori dan membungkus permukaan logam tersebut sehingga tidak terjadi reaksi lanjut (Sugiyarto, 2010: 154). Lapisan ini juga bersifat lebih keras dari logam induknya. Pembentukan lapisan ini dapat dihasilkan secara alami dan proses rekayasa elektrokimia, yaitu dengan proses anodisasi. Proses ini dapat meningkatkan pembentukan lapisan oksida lebih besar dibanding dengan proses alami.

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai Negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

sempurna adalah standar *Aluminium Association* di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari ALCOA (*aluminium company of America*). Standar AA menggunakan 4 angka, angka pertama menyatakan sistim paduan dengan unsur-unsur yang ditambahkan yaitu: 1xxx = al murni; 2xxx = Al-Cu; 3xxx = Al-Mn; 4xxx = Al-Si; 5xxx = Al-Mn; 6xxx = Al-Mg-Si; 7xxx = Al-Zn.

Angka kedua menyatakan kemurnianya dalam paduan yang dimodifikasi dan Al murni sedangkan angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda ALCOA terdahulu (Surdia, 1999: 135).

2. Paduan Al-Mg-Si

Aluminium dengan paduan utama yaitu magnesium dan silikon, diantaranya yaitu 6061 dan 6063. Dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentukya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya, dan sangat baik untuk mampu bentuk pada ekstrusi dan tahan korosi, dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan (surdia, 1999: 138).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Berikut adalah komposisi dari aluminium 6061.

Tabel 2.1 Komposisi kimia aluminium 6061

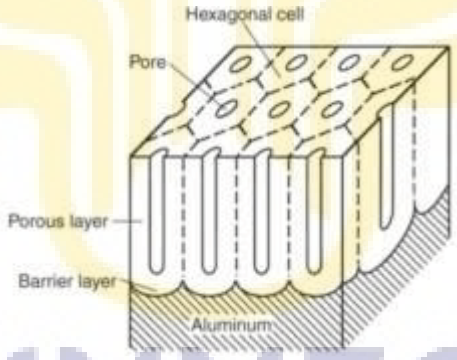
Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Bi	Pb	Ti	Other elements		Al
											each	total	
6061	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	…	…	0,15	0,05	0,15	remainder

(sumber: ASTM, 2004)

3. Lapisan Oksida Aluminium

Anodisasi adalah salah satu proses elektrokimia untuk memproduksi lapisan oksida tipis hingga berukuran mikrometer pada permukaan logam sehingga menjadi lebih dekoratif dan tahan korosi. Lapisan oksida tipis merupakan morfologi pori-pori berbentuk heksagonal yang tegak lurus terhadap permukaan logam yang terbentuk (Takahashi, 1990). Morfologi tersebut dapat diperoleh dengan modifikasi pemilihan parameter proses anodisasi yang cocok, seperti temperatur, tegangan, dan rapat arus.

Takahashi (1990) menyebutkan pada lapisan oksida terbagi menjadi dua struktur, *yaitu porous layer* dan *barrier layer*.



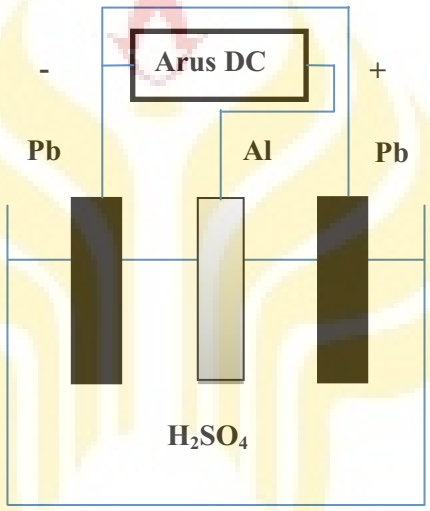
Gambar 2.1 Struktur lapisan oksida aluminium (Takahashi, 1990).

4. Prinsip Anodisasi

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Anodisasi aluminium merupakan metode elektrokimia yang prosesnya adalah memberikan arus dari luar kepada elektrodanya yang keduanya berada dalam suatu media berupa larutan elektrolit asam dengan maksud adalah agar aluminium berada pada daerah aktif sehingga dapat mengalami oksidasi. Anodisasi aluminium menempatkan logam aluminium sebagai anoda sehingga nantinya logam ini yang akan

teroksidasi, sementara itu pada katodanya ditempatkan material elektroda yang inert. Contohnya adalah karbon (grafit), titanium (Ti) atau timbal (Pb). anodisasi diberikan aliran arus dari luar yaitu sumber arus DC dimana katoda disambungkan kepada kutub negatif dan anoda disambung kepada kutub positif. Penggambaran dari rangkaian sel anodisasi diperlihatkan oleh gambar.



Gambar 2.2 Rangkaian anodisasi aluminium

Stevenson (1990) menyebutkan tujuan dilakukanya proses anodisasi adalah:

a. Meningkatkan ketahanan korosi

Dari proses anodisasi, lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam tahan terhadap korosi dan mampu menahan serangan atmosfer serta air garam. Lapisan oksida melindungi logam yang ada di bawahnya dengan bertindak sebagai penghalang dari serangan lingkungan yang korosif.

b. Aplikasi dekoratif

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Pada permukaan logam, lapisan oksida yang terbentuk memiliki tampilan yang mengkilau. Selain itu, lapisan ini dapat juga diberi warna dengan metode yang berbeda yakni *sealing*. Pewarnaan organik akan diserap pada lapisan pori untuk menghasilkan warna tertentu dan pigmen mineral yang mengendap di dalam pori akan menghasilkan warna yang stabil pula.

c. Meningkatkan ketahanan aus

Proses *hard anodizing* dapat menghasilkan lapisan setebal 25-100 mikron. Lapisan tersebut, dengan kekerasan inheren aluminium oksida yang sedemikian cukup tebal dapat digunakan untuk aplikasi di bawah ketahanan abrasi. Dimana lapisan oksida memiliki nilai kekerasan yang tinggi dan berada di bawah intan.

d. Isolator listrik

Lapisan oksida memiliki resistivitas yang tinggi khususnya lapisan oksida yang porinya tertutup.

Berdasarkan spesifikasi dari MIL-A-8625F, dibagi beberapa tipe anodisasi berkaitan dengan larutan yang dipakainya, antara lain:

a. Tipe I: menggunakan larutan asam kromat, akan menghasilkan lapisan oksida yang relatif tipis, fleksibel serta ketahanan korosi yang baik. Konsentrasi dari asam kromat memiliki rentang sekitar 2% hingga 15%. Spesifikasi larutan elektrolit yang digunakan pada tipe ini adalah:

- konsentrasi klorida kurang lebih 0.02%
- konsentrasi sulfur kurang lebih 10%
- jumlah total kromat yang terdapat dalam larutan kurang lebih 10%

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

b. Tipe II: menggunakan larutan asam sulfat, dimana akan menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal dan lebih baik terhadap tipe I. Konsentrasi larutan yang umumnya dipakai yaitu 8 hingga 35%. Pada konsentrasi rendah sekitar 1 %, tegangan pada wadah menjadi berlebih, sehingga tidak ada lapisan oksida yang terbentuk sehingga pada permukaan aluminium terdapat daerah gelap kehitaman.

c. Tipe III: menggunakan larutan asam sulfat namun pada temperatur rendah sekitar -5 hingga 5^0C dengan konsentrasi larutan asam sekitar 15 hingga 35%. Lapisan oksida yang dihasilkan relatif lebih tebal dan lebih baik dibandingkan tipe I dan II sehingga memiliki ketahanan korosi yang lebih baik serta ketahanan aus yang lebih baik pula.

5. Mekanisme dan Proses Pembentukan Lapisan Oksida

Dalam proses anodisasi, *barrier layer* merupakan lapisan yang pertama kali terbentuk dilanjutkan dengan lapisan *porous*. Pertumbuhan oksida terjadi pada persinggungan logam-oksida dengan oksida-elektrolit. Pertumbuhan ini terjadi karena gerakan ion-ion yang terjadi karena adanya pengaruh medan listrik. Pada persinggungan logam oksida, pertumbuhan terjadi karena adanya gerakan kedalam dari anion yang mengandung oksigen (OH^- dan O^{2-}). Sedangkan pertumbuhan pada persinggungan oksida-elektrolit karena adanya gerakan keluar dari kation AL^{3+}. Reaksi pembentukan lapisan oksida pada aluminium sesuai dengan persamaan berikut:

$$2\ AL^{3+} + 3\ H_2O \longrightarrow Al_2O_3 + 6\ H^+ + 6e^-$$

Ketebalan *barrier layer* tergantung dari komposisi larutan elektrolit dan kondisi operasinya. *Barrier layer* merupakan lapisan *nonporous*, sedangkan *outer layer* merupakan lapisan mikro pori dan terbentuk pada struktur columnar. Saat *barrier layer* terbentuk, lapisan ini mulai bertransformasi menjadi struktur kristalin pada bagian luar *barrier* jika larutan elektrolit memiliki cukup kekuatan untuk melarutkan lapisan tersebut (Talat, 1994).

Dalam pembentukan lapisan oksida melalui proses anodisasi tersebut terdapat beberapa reaksi kimia yang terjadi. Pada anoda (aluminium) akan teroksidasi melalui reaksi sesuai persamaan berikut:

$$2\ AL^{3+} + 3\ H_2O \longrightarrow AL_2O_3 + 6H^+ + 6e^-$$

$$2\ AL^{3+} + 6\ OH^- \longrightarrow AL_2O_3 + 3\ H_2O + 6e^-$$

$$2\ AL^{3+} + 3\ O^{2-} \longrightarrow AL_2O_3 + 6e^-$$

Pada persinggungan oksida-elektrolit akan terjadi elektrolisis air dengan reaksi sesuai persamaan berikut:

$$H_2O \longrightarrow OH^- + H^+$$

Sementara pada katoda akan terjadi reduksi hidrogen dengan reaksi sesuai persamaan berikut:

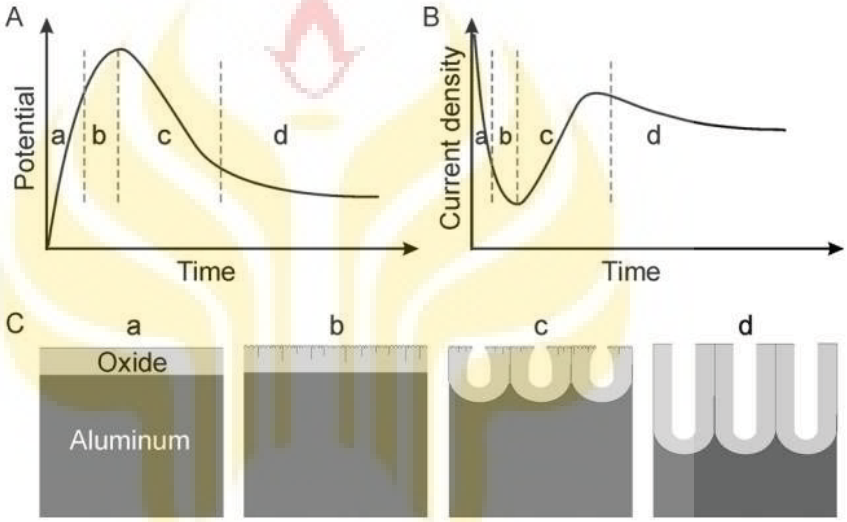
$$2\ H^+ + 2e- \longrightarrow H_2$$

Sehingga reaksi elektrokimia secara keseluruhan sesuai dengan persamaan berikut:

$$2\ AL^{3+} + 3\ H_2O \longrightarrow Al_2O_3 + 6\ H^+ + 6e^-$$

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Lapisan oksida akan tumbuh melalui konduksi ion-ion dan reaksi antara Al dan anion yang mengandung oksigen di bawah pengaruh medan listrik. Tahapan pembentukan lapisan tersebut adalah : (a) pembentukan lapisan *barrier* (*oxide growth*), (b) inisasi pori pada posisi acak pada persinggungan oksida/elektrolit (*pore initation*), (c) pertumbuhan pori (*pore development*), dan (d) tercapainya kondisi stabil (*steady state*).



Gambar 2.3 Skema tahapan pembentukan lapisan *porous* (Sulka, 2008)

6. Faktor yang Mempengaruhi Anodisasi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan oksida aluminium. Faktor-faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah jenis dan paduan aluminium, jenis dan konsentrasi elektrolit, tegangan dan rapat arus, waktu, dan temperatur anodisasi. Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi sifat pada struktur lapisan oksida seperti kekerasan maupun ketebalan lapisan oksida.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Tabel 2.2 Parameter proses anodisasi

prosedur	Komposisi Kimia	Temperatur		Voltase	Rapat Arus		Tampilan dan karakteristik
		^0C	^0F	Vdc	A/dm^2	A/ft^2	
Asam sulfat	5-25 wt% asam sulfat 0,1-5 wt% aluminium sulfat	15-25	60-75	15-20	0,8-3	7,5-28	Transparan

(sumber: Takahashi, 1990)

Tabel 2.3 Proses anodisasi konvesional

Pencelupan	Jumlah, wt%	Temp.		Durasi, menit	V	Rapat arus		Tebal lapisan		Tampilan	Hasil lain
		^0C	^0F			A/dm^2	A/ft^2	µm	mil		
Asam sulfat	10	18	65	15-30	14-18	1-2	10-20	5-17	0,2-0,7	transparan	Keras

(sumber: Stevenson, 1990)

a. Jenis dan paduan aluminium

Penampilan dan performa lapisan anodik hasil anodisasi berhubungan erat dengan tipe paduan dan sifat metalurginya. Ukuran, bentuk, dan distribusi senyawa intermetalik mempengaruhi sifat lapisan anodik hasil anodisasi. Komposisi paduan begitu penting untuk memperoleh tampilan menarik seperti *bright anodizing*.

Lapisan anodik 99,99% aluminium akan terlihat terang dan transparan. Sedangkan pada paduan AA-1050, lapisan anodik sedikit kelabu dibandingkan dengan yang lebih murni.

Talat (1994) menyebutkan pada umumnya paduan aluminium seri 5xxx dan 6xxx menghasilkan sifat dekoratif dan protektif yang baik. Paduan aluminium seri 7xxx memberikan lapisan terang dengan performa yang baik pula. Dan seri 2xxx menghasilkan lapisan yang berwarna dan berkualitas.

b. Jenis dan konsentrasi elektrolit

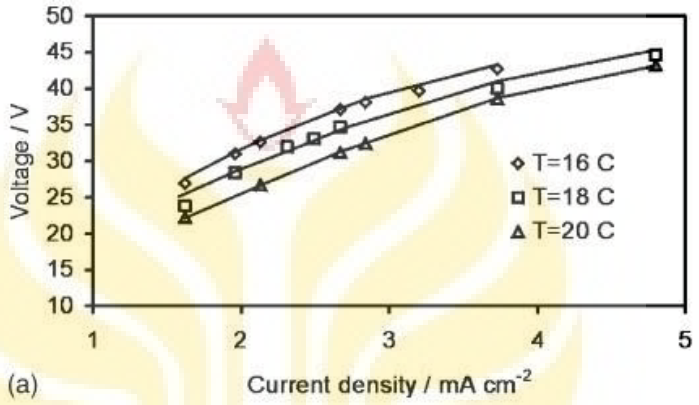
Jenis elektrolit sangat berpengaruh terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan oksida yang dihasilkan. Stevenson (1990) menyebutkan ada tiga tipe dalam proses anodisasi yaitu chrom proses, asam sulfat proses, dan proses anodisasi keras.

Konsentrasi larutan adalah hal yang harus ditentukan setelah pemilihan jenis elektrolit itu sendiri. Hal ini sangat berhubungan dengan sifat dari larutan yang akan digunakan untuk proses anodisasi. Apabila menggunakan jenis larutan yang bersifat reaktif, maka tidak perlu konsentrasi yang tinggi. Karena semakin tinggi konsentrasi larutan yang digunakan maka ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan akan menurun (Sulistijono, 2006). Hal ini sebabkan konsentrasi yang terlalu tinggi, maka lapisan oksida semakin menebal dan tingkat *weight loss* pun meningkat sehingga *base metal* dapat semakin terkikis lalu habis. Apabila hal ini terus terjadi lama kelamaan material tidak tersisa dan hanya lapisan oksida saja, yang berarti lapisan tersebut tidak bertindak sebagai pelapis logam melainkan berubah menjadi material dasarnya.

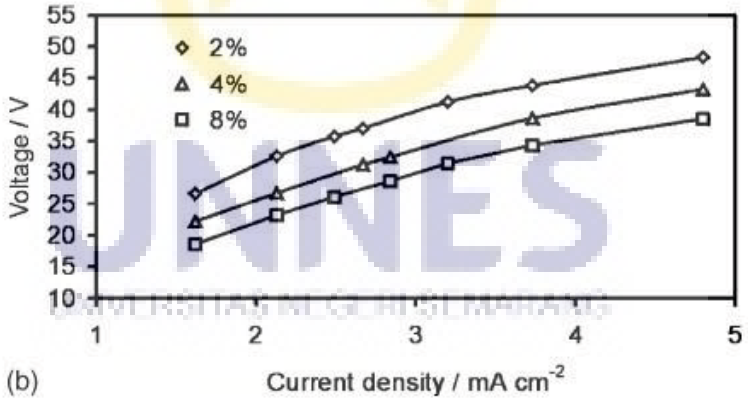
c. Tegangan dan rapat arus

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Tegangan dan rapat arus merupakan dua faktor yang berbanding linear pada aplikasinya. Rehim, dkk (2002) menyebutkan peningkatan tegangan maka rapat arus juga akan meningkat dan sebaliknya. Sehingga pada penelitian sederhana biasanya digunakan salah satu faktor saja yang menjadi variabel, sedangkan faktor lainya dianggap sebanding.



Gambar 2.4 Tegangan dan rapat arus dihitung sebagai fungsi temperatur (Vrublevsky et el., 2003)



Gambar 2.5 Tegangan dan rapat arus dihitung sebagai fungsi konsentrasi elektrolit (Vrublevsky et el., 2003)

Setyobudi menyebutkan semakin besar nilai tegangan dan arus listrik maka kekerasan permukaan aluminium akan semakin meningkat.

d. Waktu Anodisasi

Penambahan waktu pada proses anodisasi menjadikan pembentukan lapisan oksida meningkat. Masuda dan Fukuda (1995) mendeskripsikan bahwa waktu merupakan salah satu faktor yang cukup penting dalam anodisasi terutama dalam pembentukan pori yang teratur.

Tabel 2.4 Kondisi operasi untuk anodisasi otomotif

Jenis larutan	komposisi	Operasi temperatur		Siklus waktu, menit
		^0C	^0F	
Anodisasi	H_2SO_4	21-25	70-75	5-60

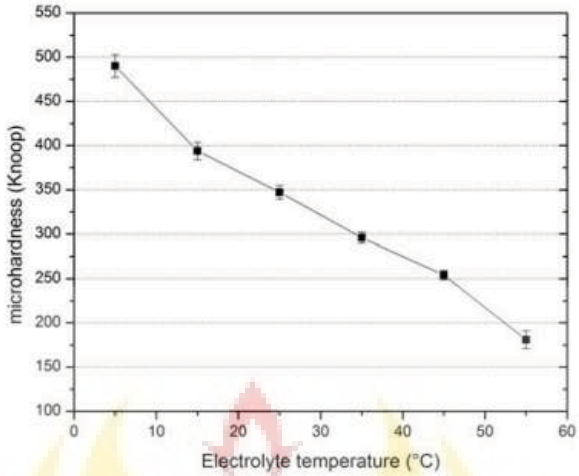
(Sumber: Stevenson, 1990)

Santhiarsa (2009) menyebutkan pada penelitianya dimulai dari 10 menit. Sidharta (2014) menyatakan bahwa dengan mengggunakan anodisasi dengan parameter waktu dan konsentrasi elektrolit akan meningkatkan meningkatkan nilai kekerasan dibandingkan *raw material*.

e. Temperatur anodisasi

Temperatur anodisasi akan berpengaruh terhadap kualitas dan kekerasan lapisan oksida. Penurunan temperatur akan menyebabkan peningkatan kekerasan. Aerts et al., (2007) melaporkan bahwa peningkatan temperatur menyebabkan penurunan nilai kekerasan pada lapisan oksida.

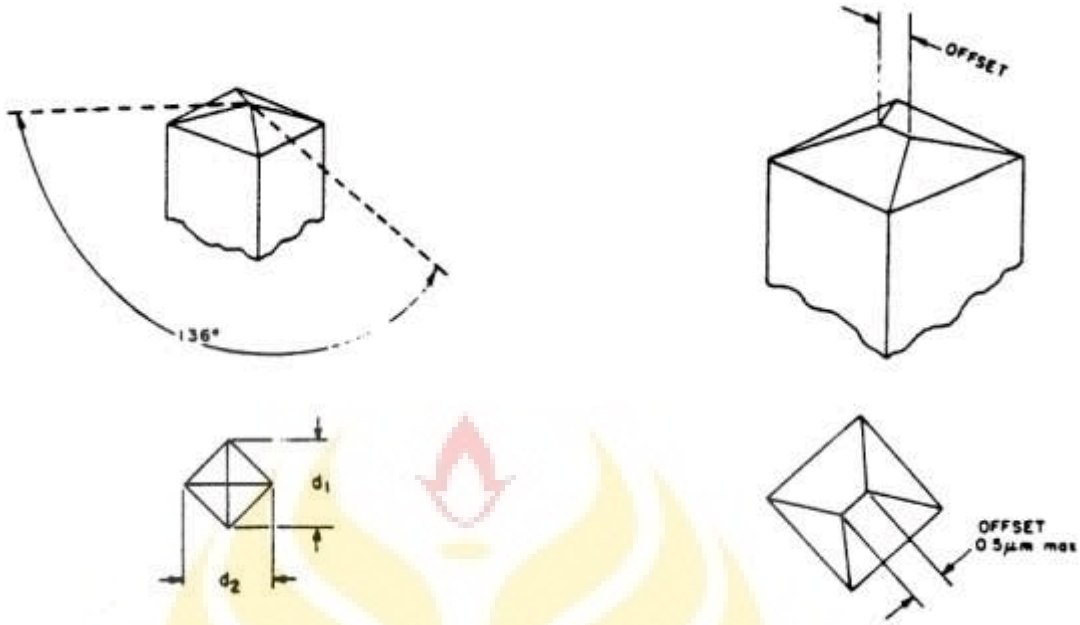
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.6 Grafik pengaruh temperatur terhadap kekerasan mikro lapisan oksida (Aerts et al., 2007)

7. Kekerasan Mikro *Vickers*

Kekerasan adalah "kriteria untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang disebabkan objek lain" (Surdia, 1999:186). Pengujian kekerasan bisa dilakukan dengan beberapa cara salah satunya dengan uji kekerasan mikro *vickers*. Pengujian mikro *vickers* menggunakan indentor 1-1000 g (ASTM, 2004), menghasilkan jejak indentasi yang sangat kecil (dalam ukuran mikro). Mekanisme pengujian kekerasan mikro adalah dengan melakukan indentasi ke permukaan logam pada nilai beban tertentu dan pada waktu tertentu pula. Indentor yang digunakan adalah intan yang berbentuk belah ketupat pada hasil indentasinya.



Gambar 2.7 Indentor mikro *vickers*
(ASTM, 2004)

Hasil pengujian kemudian dapat diketahui dengan mengukur rata-rata jarak diagonal hasil penjajakan melalui mikroskop optik yang telah terintegrasi pada alat uji kekerasan tersebut. Semakin besar rata-rata jarak diagonal (diameter) yang diperoleh, maka semakin rendah nilai kekerasanya. Hasil kekerasan kemudian dapat diperoleh dari konversi rata-rata jarak pada permukaan hasil indentasi dengan rumus pada persamaan berikut:

$$\text{VHN} = \frac{1854{,}4\,P}{d^2}$$

Keterangan:

P = beban indentasi (g)

d = diagonal rata-rata bekas indentasi (µm)

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Santhiarsa (2009) dengan judul Pengaruh Kuat Arus dan Waktu *hard Anodizing* pada Aluminium Terhadap Kekerasan dan Ketebalan. Pada penelitian ini menggunakan variasi arus 1, 2, dan 3 A dan variasi waktu 10, 20, dan 30 menit menunjukkan bahwa arus listrik dan waktu pencelupan pada proses *hard anodizing* berpengaruh terhadap kekerasan dan ketebalan lapisan, dimana pada arus listrik 3 A dan waktu pencelupan 30 menit didapat hasil yang paling keras sebesar 121.00 gr/µm.

Sidharta (2014) dengan judul Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, Kekerasan Serta Ketebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium pada Material Piston. Pada penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi elektrolit 15, 20, dan 25% volume asam sulfat H_2SO_4 dan variasi waktu 3, 5, dan 7 menit menyatakan konsentrasi asam sulfat dengan 15% merupakan konsentrasi yang terbaik dibandingkan dengan dua konsentrasi lainya, sedangkan waktu proses anodisasi yang terbaik adalah 7 menit dibanding dengan waktu anodisasi lainya. Bila dibandingkan dengan *raw material*, maka: pertama, akan terjadi kekerasan material meningkat dari 115 VHN menjadi 190 VHN. Kedua, nilai keausan spesifik (W_s) dari material sebelum anodisasi (3.04×10^{-4} mm^2/kg) menurun menjadi 7.15×10^{-5} mm^2/kg. Ketebalan lapisan oksida yang tertingi adalah 83,81 µm.

Febriyanti (2011) dengan judul Optimasi Proses Pelapisan Anodisasi Keras pada Paduan Aluminium. Pada penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi larutan elektrolit asam sulfat 10-20% berat dengan atau tanpa

adiktif, variasi rapat arus sebesar 2-3,6 A/dm^2. Menyatakan bahwa penambahan asam oksalat menyebabkan ketebalan lapisan anodis meningkat. Penambahan waktu anodisasi menyebabkan ketebalan lapisan anodis meningkat. Kenaikan temperatur anodisasi menyebabkan penurunan ketebalan lapisan anodis. Kekerasan lapisan anodisasi tertinggi sebesar 515 HV didapat dari penelitian anodisasi keras dengan temperatur 5^0 C, asam oksalat 1% wt dan waktu 30 menit.

Nugroho (2015) dengan judul Pengaruh Rapat Arus *Anodizing* Terhadap Nilai Kekerasan Pada Plat Aluminium Paduan AA Seri 2024-T3. Pada penelitian ini menggunakan variasi rapat arus sebesar 1,5, 3, dan 4,5 A/dm^2. Menyatakan bahwa nilai kekerasan plat aluminium paduan AA 2024-T3 dipengaruhi rapat arus dan waktu dengan nilai yang bervariasi. Rapat arus *anodizing* semakin besar maka waktu optimal *anodizing* cenderung semakin meningkat. Semakin lama waktu *anodizing* maka akan dihasilkan lapisan aluminium oksida yang semakin besar dengan nilai kekerasan yang semakin meningkat.

Sidharta, Soekrisno, dan Iswanto (2012) dengan judul Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus dan Kekerasan Pada Lapisan Oksida Paduan Aluminium ADC12. Pada penelitian ini menggunakan variasai konsentrasi asam sulfat sebesar 15%, 20%, dan 25% dengan penambahan 6% asam oksalat dan variasi waktu sebesar 3, 5, dan 7 menit. Menyatakan bahwa proses anodisasi menggunakan elektrolit campuran asam sulfat dan asam oksalat, maka konsentrasi yang sesuai agar mencapai

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

nilai kekerasan dan keausan yang optimal adalah 15% asam sulfat + 6% asam oksalat.

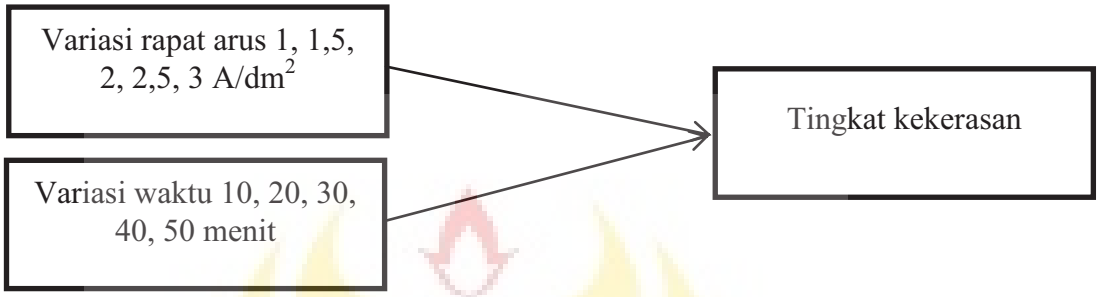
C. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir dapat diartikan sebagai model konseptual mengenai bagaimana teori berhubungan dengan berbagai faktor atau variabel yang telah dikenali (diidentifikasi) sebagai masalah yang penting sekali (Supranto, 2003: 324). Berdasarkan studi di atas, maka ada beberapa variabel yang berikatan yaitu rapat arus dan waktu sebagai variabel bebas dan kekerasan anodisasi pada lapisan aluminium oksida sebagai variabel terikat. Kekerasan pada anodisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rapat arus, jenis dan paduan aluminium, jenis dan konsentrasi elektrolit, tegangan, dan temperatur. Dalam hal ini peneliti berkonsentrasi pada pengaruh rapat arus dan waktu terhadap kekerasan anodisasi pada lapisan aluminium oksida sedangkan jenis dan paduan aluminium, jenis dan konsentrasi elektrolit, tegangan, dan temperatur sebagai variabel kontrol. Rapat arus memiliki pengaruh tinggi terhadap kekerasan yang akan dihasilkan. Namun apabila rapat arus sangat tinggi, lapisan oksida akan terbakar (*burning*), hal ini dikarenakan aliran arus terlokalisir pada area tertentu sehingga mengakibatkan *overheating* pada daerah tersebut (Talat, 1994). Sidharta (2014) menjabarkan dengan peningkatan waktu maka akan meningkatkan nilai kekerasan lapisan oksida.

Dari uraian di atas maka terdapat hubungan antar variabel, yaitu adanya pengaruh rapat arus dan waktu terhadap kekerasan anodisasi pada

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

lapisan oksida aluminium, secara sistematis kerangka berpikir dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Kerangka pikir penelitian

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada pengaruh arus dan waktu anodisasi terhadap kekerasan lapisan oksida aluminium, dapat disimpulkan bahwa:

1. Rapat arus anodisasi berpengaruh terhadap kekerasan permukaan lapisan oksida aluminium. Semakin tinggi rapat arus semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan. Hasil anodisasi pada waktu 10 menit dengan rapat arus 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 3 A/dm^2 yaitu 281 VHN. Pada waktu 20 menit dengan rapat arus 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 2,5 A/dm^2 yaitu 315 VHN. Pada waktu 30 menit dengan rapat arus 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 2,5 A/dm^2 yaitu 385,33 VHN. Pada waktu 40 menit dengan rapat arus masing-masing 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 2,5 A/dm^2 yaitu 390 VHN. Pada waktu 50 menit dengan rapat arus masing-masing 1, 1,5, 2, 2,5, dan 3 A/dm^2, kekerasan tertinggi terdapat pada rapat arus 3 A/dm^2 yaitu 441 VHN. Nilai tertinggi kekerasan permukaan terdapat pada rapat arus 3 A/dm^2 yaitu 441 VHN, sedangkan nilai terendah kekerasan permukaan terdapat pada rapat arus 1 A/dm^2 yaitu 167 VHN.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2. Waktu anodisasi berpengaruh terhadap kekerasan permukaan lapisan oksida aluminium. Semakin lama waktu pencelupan semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan. Hasil anodisasi pada rapat arus 1 A/dm^2 dengan waktu pencelupan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit, kekerasan tertinggi terdapat pada waktu pencelupan 50 menit yaitu 314,67 VHN. Pada rapat arus 1,5 A/dm^2 dengan waktu pencelupan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit kekerasan tertinggi terdapat pada waktu pencelupan 50 menit yaitu 311,33 VHN. Pada rapat arus 2 A/dm^2 dengan waktu pencelupan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit, kekerasan tertinggi terdapat pada waktu pencelupan 40 menit yaitu 360 VHN. Pada rapat arus 2,5 A/dm^2 dengan waktu pencelupan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit, kekerasan tertinggi terdapat pada waktu pencelupan 50 menit yaitu 405 VHN. Pada rapat arus 3 A/dm^2 dengan waktu pencelupan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit, kekerasan tertinggi terdapat pada waktu pencelupan 50 menit yaitu 441 VHN. Nilai tertinggi kekerasan permukaan terdapat pada waktu pencelupan 50 menit yaitu 441 VHN, sedangkan nilai terendah kekerasan permukaan terdapat pada waktu pencelupan 10 menit yaitu 167 VHN.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

B. Saran

1. Jika akan melakukan proses anodisasi, gunakan rapat arus 3 A/dm^2 dan waktu 50 menit untuk mendapatkan tingkat kekerasan optimum.

2. Untuk peneliti selanjutnya, perlu menambahkan rapat arus yang lebih tinggi dari penelitian yang sekarang yaitu >3A/dm^2, dan waktu yang lebih lama yaitu >50 menit untuk mengetahui hasil yang lebih optimum.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR PUSTAKA

Aerts, T, et al. 2007. Influence of The Anodizing Temperature on The Porosity and The Mechanical Properties of The Porous Anodic Oxide Film. *Surface and Coatings Technology*, (online) 201: 7312-7317, (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897207000862), diakses 2 Mei 2016.

ASTM B 211M-03. 2004. *Standard specification for Aluminium-Alloy Bar, Rod, and Wire.* (online), (http://www.picktorrent.com/download/a-s-t-m-2004-standards.html), diakses 2 Mei 2016.

ASTM E 384-99. 2004. *Standard Test Method for Microindentation Hardness Of Materials.* (online), (http://www.picktorrent.com/download/a-s-t-m-2004-standards.html), diakses 2 Mei 2016.

Febriyanti, Eka. 2011. Optimasi Proses Pelapisan Anodisasi Keras Pada Paduan Aluminium. *Majalah Metalurgi*, (online) 26 (2), (www.metalurgi.lipi.go.id/wp-content/uploads/2013/05/Vol-26.2.b.pdf), diakses 2 Mei 2016.

Masuda, Hideki, dan Fukuda, Kenji. 1995. Ordered Metal Nanohole Arrays Made By a Two-step Replication of Honeycomb Structures of Anodic Alumina. *Science*, (online) 268: 1466, (http://sci-hub.io/10.1126/science.268.5216.1466), diakses 2 Mei 2016.

MIL-A-8625F: Military Specification Anodic Coating For Aluminum And Aluminum Alloy. 1993. *Departments and Agencies of the Department Of Defense*. (online), (http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-A/download.php?spec=MIL-A-8625F.002377.pdf), diakses 3 Mei 2016.

Nugroho, Fajar. 2015. Pengaruh rapat arus anodizing terhadap nilai kekerasan pada plat aluminium paduan AA seri 2024-T3. *Jurnal Angkasa*, (online) 7 (2): 44, (http://stta.ac.id/data_lp3m/05.FajarNugroho.pdf), diakses 2 Mei 2016.

Rehim, S.S, Hasan, H.H, dan Amin, M.A. 2002. Galvanostatic Anoization of Pure Al in Some Aqueous Acid Solutions Part I: Growth Kinetics, Composition and Morphological Structure of Porous and Barrier-type Anodic Alumina Films. *Journal of Aplplied Electrochemistry*. (online) 32: 1259, (https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021662814303), diakses 2 Mei 2016.

Rooy, Elwin L. 1990. *ASM HANDBOOK Vol 2 Properties and selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials.* Amerika: ASM International Handbook Committee.

Sarwono, Jonathan. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif & Kualitatif.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Santhiarsa, I Gst., Ngr., Nitya. 2009. Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Waktu Proses Hard Anodizing pada Aluminium terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram*, (online) 3 (2): 164-169, (http://www.e-jurnal.com/2014/08/pengaruh-kuat-arus-listrik-dan-waktu.html), diakses 3 Mei 2016.

Setyobudi, Sunoko, Sutikno, Endi dan Soenoko, Rudy. Pengaruh Tegangan dan Rapat Arus pada Hard Anodizing Aluminium 6061 terhadap Ketebalan dan Kekerasan Permukaan Untuk Katoda Titanium dan Konsentrasi Larutan H_3PO_4 3 Mol. (online), (http://megaslides.top/doc/234630/pengaruh-variasi-tegangan-dan-arus-pada-hard-anodizing), diakses 2 Mei 2016.

Sidharta, Wahyu Bambang. 2014. Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, Kekerasan Serta Ketebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium pada Material Piston. *Jurnal teknologi technoscientia*, (online) 7(1): 20-21, (http://technoscientia.akprind.ac.id/full/vol7no1des2014/010-021-bambang-wahyu-sidarta.pdf), diakses 2 Mei 2016.

Sidharta, Wahyu Bambang, Soekrisno, R., dan Iswanto, T., P. 2012. Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Anodidisasi Terhadap Ketahanan Aus dan Kekerasan Pada Lapisan Oksida Paduan Aluminium ADC12. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III*, (online), (http://repository.akprind.ac.id/sites/files/conference-proceedings/2012/sidharta_14381.pdf), diakses 2 Mei 2016.

Stevenson, Milton F., Jr. 1990. *ASM HANDBOOK Vol 5 Surface Engineering.* Amerika: ASM International Handbook Committee.

Sugiyarto, Kristian H dan Suyanti, Retno D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Supranto, J. 2003. *METODE RISET*. Jakarta: PT RINEKA CIPTA.

Sulistijono. 2006. Pengaruh Densitas Arus dan Konsentrasi Asam Sulfat Terhaap Ketebalan an Kualitas Pewarnaan Lapisan Oksida pada Anodizing Aluminium. *Jurnal Teknik Mesin*, (online) 6 (2): 50, (http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Article-9387-Sulistijono-

Pengaruh%20Densitas%20Arus%20Dan%20Konsentrasi%20Asam%20Sulfat%20Terhadap%20Ketebalan%20Dan%20Kualitas%20Pewarnaan%20Lapisan%20Oksida%20Pada%20Anodizing%20Aluminium.pdf), diakses 2 Mei 2016.

Sulka, Grzegorz D. 2008. *Nanostructured Materials in Electrochemistry: Highly Ordered Anodic Porous Alumina Formation By Self-Organized Anodizing*: Wiley.

Surdia, Tata dan Saito Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik* (Edisi ke-4). Jakarta: Pradnya Paramita.

Takahashi, Hideaki. 1990. *ASM HANDBOOK Vol 13A Corrosion: Foundamental, Testing, And Protection.* Amerika: ASM International Handbook Committee.

Talat. 1994. *Talat Lecture 5203: Anodizing Aluminium.*(online), (http://core.materials.ac.uk/repository/eaa/talat/5203.pdf), diakses 2 Mei 2016.

Untung, Ahmad Yulizal. Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Anodizing Terhadap Kekerasan Permukaan Logam Almunium Seri 2xxx. (online), (http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/7747/l.%20Jurnal.pdf?sequence=12&isAllowed=y), diakses 2 Mei 2016.

Vrublevsky, 1. Et al. 2003. Effect of the current density on the volume expansion of the deposited thin films of aluminum during porous oxide formation. *Applied surface science*, (online) 220: 55, (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433203007475), diakses 2 Mei 2016.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG