KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **"Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit Dan Kuat Arus Pada Proses Hard *Anodizing Aluminium* 6061 Terhadap Kekerasan Dan *Fracture Toughness*"**, 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 ayah Syamsul Huda A. dan ibu Anik yang telah memberi segalanya yang terbaik untuk penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidy, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Purnami, ST.,MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawiajaya Malang.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Endi Sutikno.,MT. selaku Pembimbing I, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang konstruktif sehingga sangat penting dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Khairul Anam., ST.,MSc. selaku Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
7. Bapak Fikrul Akbar Alamsyah ST. selaku dosen pembimbing akademis saya yang tidak pernah lelah memberikan bimbingan, nasehat dan motivasinya selama saya menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawiajaya Malang.
8. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
9. Keluarga Besar Laboratorium Pengujian Bahan, bapak Suhastomo, serta rekan-rekan asisten Reza, Fitri, Adyatma, Sulis, Ivan, Jhenta, Rivky, Frans, Satriyo, Oye, Sony, serta Yogi atas segala bantuan, dukungan dan semangat yang diberikan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

10. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya BLACK MAMBA (angkatan 2009), Seluruh jajaran pengurus HMM FT-UB periode 2012-2013, dan *Ghost* HMM yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu karena telah secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh keluargaku yaitu mbak Via dan adek Laili yang telah banyak membantu dan memberi dorongan dalam segala hal.
12. Teman-teman seperjuanganku yaitu Chandra susilo, Hilmi, Blonde, Pocan, Ahong, Trendy, Mbah hafidh, Andit, yang selalu hadir untuk membantu dan menghiburku.
13. 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, Januari 2014

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR LAMPIRAN ix

RINGKASAN x

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan Penelitian 2

1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1 Penelitian Sebelumnya 4

2.2 Aluminium 4

2.2.1 Penggolongan Paduan Aluminium 5

2.2.2 Aluminium Paduan 6

2.3 Titanium 7

2.4 Pengertian *Anodizing* 8

2.4.1 Macam *Anodizing* 9

2.4.2 Mekanisme *Anodizing* 11

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.5 Elektrolisis 13

2.6 Elektroda 14

2.7 Elektrolit 15

2.7.1 Elektrolit Asam 16

2.7.2 Elektrolit Basa 18

2.7.3 Elektrolit Garam 18

2.8 Reaksi Redoks 18

2.9 Molaritas 19

2.10 Kuat Arus 19

2.11 Hukum Faraday 20

2.12 Uji *Scanning Electron Microscopy (SEM)* 21

2.13 Kekerasan 22

2.14 *Fracture toughness* 23

2.13 Hipotesa 24

BAB III METODE PENELITIAN 25

3.1 Metode Penelitian 25

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 25

3.3 Variabel Penelitian 25

3.3.1 Variabel Bebas 25

3.3.2 Variabel Terikat 25

3.3.3 Variabel Terkontrol 26

3.4 Skema Instalasi Pada Penelitian 26

3.5 Alat dan Bahan Penelitian 26

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.5.1 Peralatan Penelitian 26
3.5.2 Bahan Penelitian 31
3.5.3 Bentuk dan Spesimen yang Digunakan 33
3.6 Prosedur Penelitian 33
3.7 Nilai *Fracture Toughness* Lapisan Oksida 35
3.8 Diagram Alir Penelitian 36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38
4.1 Data Hasil Pengujian 38
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan 38
4.1.2 Gambar Hasil SEM 39
4.1.3 Data Hasil Pengukuran Panjang (*c*) 42
4.1.4 Contoh Perhitungan *Fracture Toughness* 43
4.2 Pembahasan 44
4.2.1 Pengaruh Kuat Arus Dan Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap Kekerasan 44
4.2.2 Pengaruh Kuat Arus Dan Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap *Fracture Toughness* Lapisan Oksida 46
BAB V PENUTUP 49
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran 49
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisik Aluminium	5
Tabel 2.2	Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa	5
Tabel 2.3	Sifat Umum Ti	8
Tabel 2.4	Klasifikasi Larutan	16
Tabel 3.1	Komposisi Aluminium 6061	32
Tabel 3.2	Komposisi Katoda Titanium	32
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Aluminium 6061	38
Tabel 4.2	Data Hasil Pengukuran Panjang (C) Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing*	43

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Fasa Paduan Al-Mg_2si	7
Gambar 2.2	Skema Proses *Anodizing*	12
Gambar 2.3	Skema Cara Kerja Elektolisis O_4	14
Gambar 2.4	Contoh Anoda	15
Gambar 2.5	Contoh Katoda	15
Gambar 2.6	*Scanning Electrone Microscope*	22
Gambar 2.7	Mekanisme Pengujian *Vickers*	23
Gambar 2.8	Indentasi *Vickers*	24
Gambar 3.1	Skema Instalasi Penelitian	26
Gambar 3.2	Termometer Raksa	27
Gambar 3.3	*Heater*	27
Gambar 3.4	Gelas Ukur	27
Gambar 3.5	*power supply/ rectifier*	28
Gambar 3.6	*Centrifugal Sand Paper Machine*	28
Gambar 3.7	Gelas	28
Gambar 3.8	Kawat	29
Gambar 3.9	Masker	29
Gambar 3.10	Sarung Tangan	29
Gambar 3.11	*Centrifugal Sand Paper Machine*	30
Gambar 3.12	*Micro Vickers Hardness Tester*	30
Gambar 3.13	Timbangan Digital	31
Gambar 3.14	Bentuk dan spesimen Titanium	33
Gambar 3.15	Bentuk dan spesimen Aluminium	33
Gambar 3.16	Diagram Alir Penelitian *Anodizing*	36
Gambar 3.17	Diagram Alir Penelitian Nilai *Fracture Toughness* lapisan oksida	37
Gambar 4.1	Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 1A 1M Perbesaran 1500x	39
Gambar 4.2	Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 1A 1M Perbesaran 10000x	40

Gambar 4.3 Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 2A 3M Perbesaran 1500x 41
Gambar 4.4 Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 2A 3M Perbesaran 10000x 42
Gambar 4.5 Hubungan Antara Konsentrasi Larutan Elektrolit Dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing.* 44
Gambar 4.6 6 Hubungan Antara Konsentrasi larutan elektrolit Dan Kuat arus Terhadap Panjang c Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing* 46
Gambar 4.7 Hubungan Antara Konsentrasi larutan elektrolit Dan Kuat arus Terhadap Nilai KIC Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing* 47

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Sertifikat Aluminium 6061
Lampiran 2	Hasil Uji SRF Titanium *Alloy*

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Mohamad Zanuarsah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit Dan Kuat Arus Pada Proses Hard Anodizing Aluminium 6061 Terhadap Kekerasan Dan Fracture Toughness Lapisan Oksida*, **Dosen Pembimbing: Endi Sutikno dan Khairul Anam**

Aluminium mempunyai kekuatan yang rendah sehingga jarang digunakan dalam aplikasi yang tahan pada deformasi dan *fracture*. Untuk memperbaiki sifat aluminium adalah dengan proses *hard anodizing*. *Anodizing* adalah merupakan proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit sebesar 1 M, 2M , 3M dan kuat arus sebesar 1 dan 2 Ampere. Larutan elektrolit yang digunakan yaitu asam fosfat (H_3PO_4), temperatur elektrolit dijaga konstan 8-10^{0}C dan tegangan yang digunakan adalah 20 Volt.

Dari hasil pengujian dan pengolahan data menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi larutan elektrolit diberikan, semakin tinggi pula kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida. Pada kuat arus yang diberikan, kuat arus 2A nilai kekerasan dan *fracture touhgness* lapisan oksida lebih tinggi dibandingkan dengan kuat arus 1A. Pada pengujian ini, kekerasan dan fracture toughness tertinggi terjadi pada konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus 3 M 2 A.

Kata kunci : *hard anodizing*, aluminium, Konsentrasi Larutan Elektrolit , kekerasan, *fracture toughness* lapisan oksida

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi saat ini berkembang dengan sangat pesat. Hal ini terjadi sejalan dengan semakin meningkatnya keinginan dan kebutuhan manusia yang menuntut peningkatan baik dalam hal kualitas maupun kuantitas. Dalam industri saat ini banyak yang menggunakan logam sebagai bahan baku utama dan bahan operasional, khususnya aluminium. Aluminium sering digunakan sebagai bahan baku di perindustrian, seperti industri manufaktur, industri otomotif, industri konstruksi dan masih banyak lainnya. Aluminium mempunyai kekuatan yang rendah sehingga jarang digunakan dalam aplikasi yang tahan pada deformasi dan *fracture.* Untuk memperbaiki sifat aluminium bisa menggunakan *Anodizing.*

Anodizing adalah suatu proses elektro kimia yang digunakan untuk melapisi permukaan logam dengan lapisan oksida yang stabil (Gazzapo, 1994). Pada a*nodizing* komponen yang terpenting adalah elektroda dan larutan elektrolit. Ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada proses anodizing sangat dipengaruhi oleh konsentrasi larutan elektrolit, besarnya arus listrik yang digunakan, suhu larutan elektrolit, dan waktu perendaman elektroda di dalam larutan elektrolit.

Hingga saat ini penerapan *anodizing* masih banyak dilakukan pada logam aluminium. Aluminium merupakan logam paling ringan diantara logam - logam yang sering digunakan. Karena sifatnya yang ringan, maka aluminium banyak digunakan dalam pembuatan kapal terbang, rangka khusus untuk kapal laut modern, kendaraan-kendaraan dan bangunan - bangunan industri (Rahayu S, 2008). Disamping itu aluminium juga memiliki konduktivitas elektrik dan panas yang baik, dan tahan terhadap oksidasi atmosfer. Berkaitan dengan ketahanan terhadap oksidasi atmosfer, aluminium menghasilkan lapisan oksida (Al_2O_3) yang sangat tipis dan terbentuk secara alami pada permukaannya. Tetapi, lapisan oksida yang alami ini terlalu tipis untuk menahan gesekan-gesekan mekanik, jadi lapisan oksida harus lebih tebal dan lebih keras sehingga sifat-sifat fisik dan kimia lapisan dapat meningkat. Lapisan oksida ini dapat dipertebal dan ditingkatkan kualitasnya. Dengan mempertebal lapisan oksidanya bisa pula meningkatkan ketahanan dari sifat mekanik, seperti kekerasan dan *fracture toughness*. Karena alasan ini lah proses *anodizing* dilakukan pada aluminium.

Pada penelitian kali ini akan mengamati pengaruh konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus (Ampere pada proses *hard anodizing* alumunium 6061 dengan titanium

sebagai katoda) terhadap kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida. Penggunaan titanium titanium sebagai katoda bertujuan untuk mendapatkan sifat kekerasan dan *fracture toughness* yang tinggi pada alumunium yang mana sebagai anoda. Sehingga dengan variasi kedua parameter tersebut akan didapatkan perbandingan nilai kekerasan dan *fracture toughness* aluminium hasil *anodizing* yang berbeda. Sehingga akan diketahui variasi parameter yang tepat untuk mendapatkan hasil variasi untuk meningkatkan kekerasan dan *fracture toughness* . Karena dalam proses *anodizing* konsentrasi larutan dan kuat arus dapat berpengaruh pada proses *anodizing* maka penelitian ini perlu dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus pada proses *hard anodizing* alumunium 6061 sebagai anoda dan titanium sebagai katoda terhadap kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida ?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dari penelitian tidak meluas dan terfokus, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan sebagai anoda adalah alumunium 6061.
2. Katoda yang digunakan adalah titanium.
3. Larutan elektrolit yang digunakan adalah asam phospat (H_3PO_4)
4. Arus yang digunakan adalah arus searah (DC).
5. Jarak anoda dan katoda 5 cm.
6. Waktu *anodizing* 90 menit
7. Temperatur elektrolit 8 - 10 °C

1.4 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus pada proses *hard anodizing* alumunium 6061 terhadap kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida .

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan wawasan kepada penulis secara khusus maupun pembaca secara umum tentang *hard anodizing*.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat untuk bidang industri di dalam usaha meningkatkan kualitas *anodizing* pada alumunium.
3. Dapat digunakan sebagai referensi tambahan penelitian selanjutnya mengenai proses *anodizing* pada alumunium.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dari penelitian yang dilakukan oleh Zhao, *et al*. (2008) menyebutkan bahwa rapat arus memberikan dampak yang besar pada ketebalan film oksida yang dapat mengakibatkan semakin meningkatnya kekerasan permukaan. Sementara itu Wang, *et al*. (2009) menyebutkan bahwa penambahan konsentrasi asam sulfat dari 1%-20% menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam sulfat maka akan memengaruhi keseragaman ketebalan film oksida dan kekerasan pada aluminium 6061 hasil *hard anodizing*

Davit Setyobudi (2013). Melakukan penelitian yang berjudul " Pengaruh Variasi Tegangan Dan Arus Pada *Hard Anodizing* Aluminium 6061 Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Permukaan Untuk Katoda Titanium Dan Konsentrasi Larutan H_3PO_4 3 Mol"**.** Dari penelitian ini diketahui bahwa peningkatan tegangan dan arus listrik yang digunakan akan meningkatkan ketebalan lapisan oksida.

2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam terpenting dari logam *non ferro*. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia Tata, 1999). Aluminium berasal dari bijih aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrolisa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Keutamaan logam aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifat yang unik dan menarik yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik (De Garmo, 1998).

Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat fisik yang ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisik Aluminium (T. Surdia 1999 : 134)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm^3) (20^{0}C)	2,6989	2,71
Titik cair (^{0}C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g.^{0}C) (100^{0}C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ ^{0}C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (M / ^{0}C) (20-100^{0}C)	$23,86 \times 10^6$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis kristal, Konstanta kisi	*Fcc*, α = 4,013 kX	*Fcc*, α = 4,04 Kx

2.2.1 Penggolongan Paduan Aluminium

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh negara didunia.Saat ini klasifikasi yang digunakan adalah *Standart Aluminium Association* di Amerika (AA) yang berdasar pada Alcoa (*Aluminium Company of America*) (Surdia Tata, 1999). Pada penamaan aluminium AA standar Asosiasi, Digit pertama menunjukkan paduan yang ada pada aluminium. Angka kedua menunjukkan modifikasi paduan paduan yang sudah ada. Yang ketiga dan keempat angka memiliki arti yang berbeda , tergantung pada yang pertama : Untuk seri 1xxx , 3 dan 4 digit menunjukkan 0.xx % aluminium lebih tinggi dari 99,00 % . misalnya Al99.80 → AA 1080. Untuk seri lainnya (2xxx - 8xxx) 3 dan 4 digit mengidentifikasi paduan tertentu tanpa makna fisik. Mereka hanya berfungsi untuk membedakan antara berbagai paduan. Paduan aluminium digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

1. **Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)**

   Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat.

Tabel 2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa (Tata Surdia 1999 : 135)

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99.5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99.0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silicon (Mg2Si)

7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

2.2.2 Aluminium Paduan

Logam aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain :

1. Paduan Al-Cu (seri 2xx.x)

   Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlakuan panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan. Kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65% Cu dengan temperatur berkisar 550°C. Kelarutan u akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1%

2. Paduan Al-Cu-Mg (seri 3xx.x)

   Paduan ini mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dan merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang tinggi. Biasa disebut dengan *duralumin*. Dalam penggunaannya biasa dipakai konstruksi pesawat terbang dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara kekuatan dan berat yang cukup besar.

3. Paduan Al-Si (seri 4xx.x)

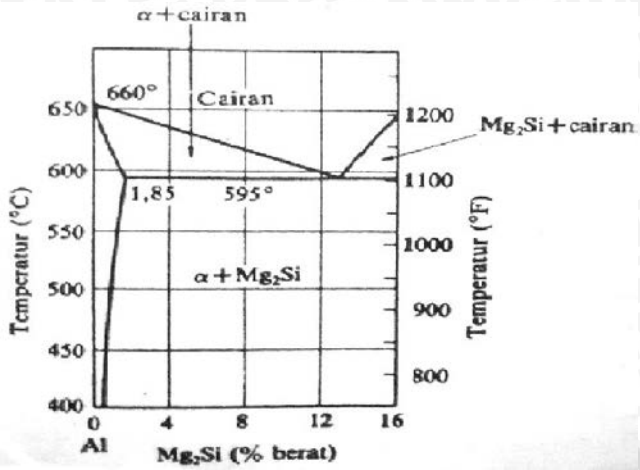
   Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan panas. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

4. Paduan Al-Mg (seri 5xx.x)

   Biasanya disebut *hidronalium*, jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat dilaku-panas, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya yang baik.

5. Paduan Al-Mg-Si (seri 6xx.x)

   Jenis ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Paduan Al-Mg_2Si
Sumber : Tata Surdia (2005:139)

6. Paduan Al-Zn (seri 7xx.x)

Jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi di antara paduan lainnya. Dapat dilaku-panas dan daya tahan korosinya lebih baik apabila ditambah dengan unsur paduan. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan kontruksi pesawat udara. Titik lebur dari aluminium paduan Al-Zn 476-657°.

2.3 Titanium (Ti)

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Titanium merupakan logam transisi yang ringan, kuat, berkilau, tahan korosi termasuk tahan terhadap air laut dan klorin dengan warna putih metalik keperakan. Titanium digunakan dalam *alloy* kuat dan ringan (terutama dengan besi dan Al) dan merupakan senyawa terbanyaknya, Ti dioksida, digunakan dalam pigmen putih. Titanium tidak larut dalam larutan asam kuat, tidak reaktif di udara karena memiliki lapisan oksida dan nitrida sebagai pelindung. Ti dihargai lebih mahal daripada emas karena sifat-sifat logamnya. Ada dua bentuk alotropi dan lima isotop alami dari unsur ini; Ti-46 sampai Ti-50 dengan Ti-48 yang paling banyak terdapat di alam (73,8%).

Keungggulan dari logam titanium ini adalah sama kuat dengan baja tapi hanya 60% dari berat baja. Kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi daripada paduan Al. Tahan suhu tinggi. Ketika temperatur pemakaian melebihi 150°C maka dibutuhkan Ti karena Al akan kehilangan kekuatannya seacara nyata. Dengan rasio berat kekuatan yang lebih rendah daripada Al, maka komponen-komponen yang terbuat

dari Ti membutuhkan ruang yang lebih sedikit dibanding Al. Sedangkan tabel 2.2 berikut menunjukkan sifat Ti :

Tabel 2.3 Sifat Umum Ti (Kenang Miko Febritito, 2013)

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor Atom	Titanium, Ti, 22
Deret Kimia	Logam Transisi
Massa Atom	47,867 g/mol
Ciri-Ciri Fisik	
Fase	Solid
Massa Jenis	4.506 g/cm³
Titik Lebur	1941 K (1668 °C, 3034 °F)
Titik Didih	3560 K (3287 °C, 5949 °F)

2.4 Pengertian *Anodizing*

Anodizing adalah merupakan proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. Proses anodizing penting secara komersial untuk lapisan pelindung pada produk alumunium, tetapi juga memiliki aplikasi untuk tantalum dan titanium, terutama untuk integritas kondensor elektrolit yang tinggi. Proses a*nodizing* juga dapat digunakan untuk memperindah tampilan logam (Faraday, 1834).

Pada dasarnya bahwa prinsip proses *anodizing* adalah elekrolisis. 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, 1986).

Pada prinsipnya proses *anodizing* pada aluminium menghasilkan lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) yang terbentuk menjadi lebih tebal pada permukaan aluminium ketika arus listrik dan *voltage* tertentu dialirkan pada larutan elektrolit. Dengan lapisan oksida yang semakin tebal akan terbentuk lapisan yang lebih tahan korosi,tahan aus dan meningkatkan kekerasan. Untuk proses lebih lanjut lapisan ini dapat diberi pewarnaan sehingga dapat memberikan penampilan yang lebih menarik.

2.4.1 Macam *Anodizing*

Reaksi dasar dari proses a*nodizing* adalah merubah permukaan alumunium menjadi alumunium oksida dengan menekan bagian logam sebagai anoda di dalam sel elektrolisis. Proses a*nodizing* terbagi menjadi tiga yaitu *Chromic Acid Anodize, Sulfuric Acid Anodize, Hard Anodize.*(Boyer, 1986)

- *Chromic Acid Anodize*

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 a*nodizing* 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 acid 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/dm2 (1,4 – 4,3 A/ft2)

Keuntungan dari proses *chromic anodize* antara lain CrO_3 lebih sedikit agresif dibandingkan dengan aluminium dan H_2SO_4, pada proses ini membentuk 0,7 mη dengan pengulangan tang tetap. Warna yang dihasilkan proses *chromic acid anodize* dapat berubah jika ditambahkan komposisi paduan yang berbeda sertaperlakuan panas yang berbeda.

- *Sulfuric Acid Anodize*

Prinsip dasar operasi ini sama dengan proses asam kromik. Konsentrasi asam sulfur (1,84 sp gr) dalam larutan a*nodizing* adalah 12 sampai 20% berat larutan mengandung 36 liter (9,5 gal) H_2SO_4 per 380 liter atau (100 gal) dari larutan dapat menjadi lapisan anodik ketika di-*seal* pada didihan larutan dikromat. Larutan a*nodizing* asam sulfur jangan digunakan kecuali:

1. Konsentrasi klorida (sebagai natrium klorida) kurang dari0,02%
2. Konsentrasi alumunium kurang dari 20 gr/lt (2,7 ons/gal)

Parameter untuk proses *sulfuric acid anodize* adalah:

1. Konsentrasi elektrolit 15 % H_2SO_4
2. Temperatur 21 ± 1 ^oC (70 ± 2 oF)
3. *Time in Bath* 30 – 60 menit
4. Tegangan 15 – 22 Volt, tergantung dari paduannya.
5. Rapat arus yang digunakan 1 – 2 A/dm2 (9,3 – 18,6 A/ft2)

- *Hard Anodizing*

Perbedaan pertama antara proses asam sulfur dan *hard anodizing* adalah temperatur operasi dan kerapatan arus. Lapisan yang dihasilkan oleh *hard anodizing* lebih tebal dari pada *anoodizing* konvensional dengan waktu yang sama. Proses *hard anodizing* menggunakan tangki asam sulfur a*nodizing* berisi 10 sampai 15% berat asam, dengan atau tanpa tambahan. Temperatur operasi dari 0 sampai 10°C (32 sampai 50°F) dan kerapatan arus antara 2 dan 3,6 A/dm2 (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. Berdasarkan sumber arus listrik yang digunakan *anodizing* dibagi menjadi dua tipe, yaitu DC *anodizing* dan AC *anodizing* (Sato, 1997:30)

1. AC *anodizing*

   Arus bolak-balik digunakan pada proses *anodizing* tipe ini. Pelapisan dengan *anodizing* tipe ini bertujuan untuk memeperoleh hasil pelapisan dan juga kekerasan yang rendah.Aplikasi *anodizing* tipe ini adalah pada pembuatan *aluminium foil.*

2. DC *anodizing*

   DC *anodizing* adalah *anodizing* yang dilakukan menggunakan arus searah, Karena kutub positif selalu berada pada benda kerja maka proses *anodizing* tipe ini memerlukan waktu yang lebih singkat apabila dibandingkan dengan tipe AC *anodizing* dalam proses pembentukan lapisan oksida. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

a. *Continous anodizing*

Continous anodizing adalah jenis *anodizing* yang paling sering dilakukan. Pada *continous anodizing* besar arus yang dialirkan selama prose *anodizing* dijaga konstan.

b. *Pulse Anodizing*

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

2.4.2 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, 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 alumunium (Al) sedangkan yang berperan sebagai katoda adalah titanium (Ti) dan yang melapisi adalah alumunium (Al). Reaksi elektrolisis *Anodizing* Al adalah sebagai berikut:

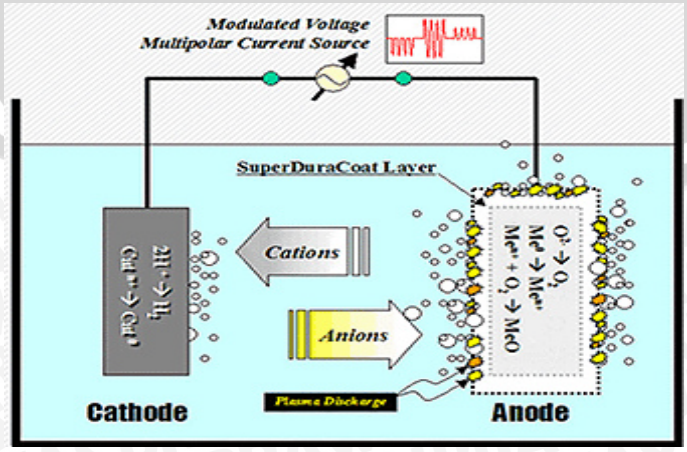
$$H_3PO_4 \rightarrow 3H^+ + PO_4^{3-}$$

$$\text{Katoda (Ti)} \quad : Ti^{2+} + 2\,e^- \rightarrow Ti$$

$$\text{Anoda (Al)} \quad : Al \rightarrow Al^{2+} + 2e^-$$

$$\text{Al (anoda)} \rightarrow \text{Ti (katoda)}$$

Jika di gambarkan proses *anodizing* di tampil pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Skema Proses *Anodizing*

Sumber: Sindoliyems, 2009

Keterangan :

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

Sebelum melakukan proses *anodizing,* dilakukan terlebih dahulu proses *pre-treatment.* Proses ini merupakan langkah awal sebelum proses *anodizing*. Tujuan dari *pre-treatment* ini adalah agar aluminium hasil *anodizing* menjadi baik. Proses *pre-treatment* antara lain, adalah:

1. Degresing

Degreasing adalah langkah awal yang dilakukan dalam proses *anodizing*. *Degreasing* dilakukan untuk menghilangkan minyak atau lemak yang terdapat pada permukaan aluminium sebelum di *anodizing*. *Degreasing* dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat dengan temperatur 60°C sampai 80°C dan dilakukan selama 5 menit.

2. Etching

Etching dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan lapisan oksida murni yang terdapat pada aluminium. Lapisan oksida murni aluminium akan hancur karena direndam dalam larutan basa kuat yang dalam hal ini digunakan larutan NaOH. Proses ini dilakukan pada temperatur 30°C sampai 50°C dan proses perendamannya dilakukan selama 5 menit.

3. Desmuting

Desmutting adalah proses pembersihan bercak-bercak hitam akibat reaksi dari paduan aluminium dengan NaOH yang dilakukan pada proses *etching*. *Desmutting* dilakukan dengan cara merendam spesimen ke dalam larutan asam nitrat pada temperatur 25°C - 40°C selama 5 menit.

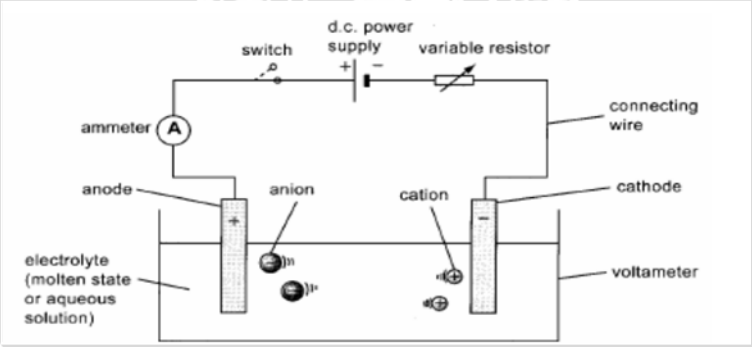
4. Rinsing

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

2.5 Elektrolisis

Elektrolisis yaitu peristiwa penguraian atas suatu larutan elektrolit yang telah dialiri oleh arus listrik searah. Sedangkan sel dimana terjadinya reaksi tersebut disebut sel elektrolisis. Sel elektrolisis terdiri dari larutan yang dapat menghantarkan listrik yang disebut elektrolit, dan dua buah elektroda yang berfungsi sebagai katoda.

Reaksi-reaksi elektrolisis bergantung pada potensial elektroda, konsentrasi, dan over potensial yang terdapat dalam sel elektrolisis. Pada sel elektrolisis katoda bermuatan negatif, sedangkan anoda bermuatan positif. Kemudian kation direduksi dikatoda, sedangkan anion dioksidasi dianoda. Elektrolisis mempunyai banyak kegunaan, di antaranya yaitu dapat memperoleh unsur-unsur logam, halogen, gas hidrogen dan gas oksigen, kemudian dapat menghitung konsentrasi ion logam dalam suatu larutan, digunakan dalam pemurnian suatu logam, serta salah satu proses elektrolisis yang populer adalah penyepuhan.



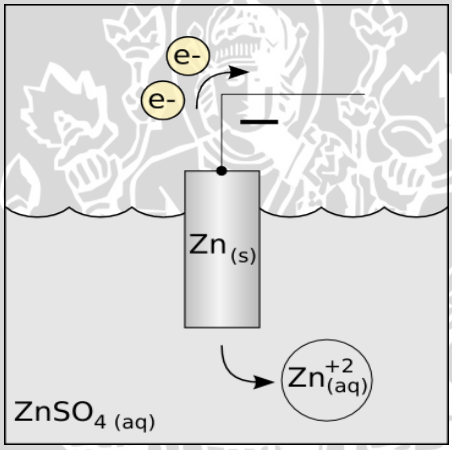
Cara kerja sel elektrolisis adalah seperti yang terdapat pada gambar 2.4 :

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

2.6 Elektroda

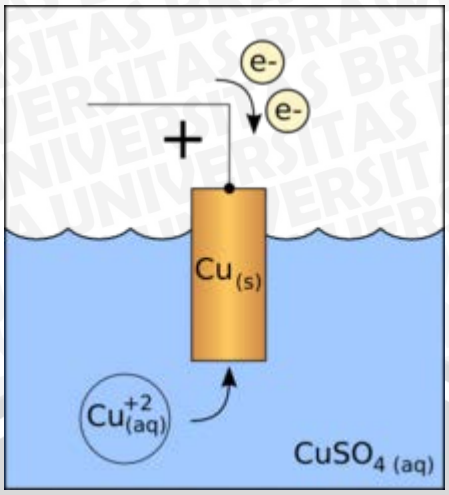
Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda, kata-kata yang juga diciptakan oleh Faraday. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan ke sel elektrokimia tersebut.

Anoda adalah elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda mengalami oksidasi. Contoh salah satu anoda adalah seperti gambar 2.5 .



Gambar 2.4 Contoh anoda
Sumber: wikipedia, 2012

Kebalikan dari anoda, katoda adalah kutub elektroda dalam sel elektrokimia, kutub ini bermuatan positif (sehingga arus listrik akan mengalir keluar darinya, atau gerakan elektron akan masuk ke kutub ini). Contoh salah satu katoda seperti gambar 2.6



Gambar 2.5 Contoh katoda
Sumber: wikipedia, 2012

2.7 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Hal ini disebabkan karena zat terlarut akan terurai sempurna (derajat ionisasi = 1) menjadi ion-ion sehingga dalam larutan tersebut banyak mengandung ion-ion. Larutan elektrolit lemah adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan lemah. Hal ini disebabkan karena zat terlarut akan terurai sebagian (derajat ionisasi << 1) menjadi ion-ion sehingga dalam larutan tersebut sedikit mengandung ion. Tabel 2.4 menggambarkan klasifikasi larutan.

Tabel 2.4 Klasifikasi Larutan (S Silberberg, Martin, 2000)

Rumus Asam	Nama Asam	Reaksi Ionisasi	Valensi Asam	Sisa Asam
HF	asam fluorida	$HF \rightarrow H^+ + F^-$	1	F^-
HCl	asam klorida	$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$	1	Cl^-
HBr	asam bromida	$HBr \rightarrow H^+ + Br$	1	Br^-
HCN	asam sianida	$HCN \rightarrow H^+ + CN^-$	1	CN^-
H_2S	asam sulfida	$H_2S \rightarrow 2\,H^+ + S^{2-}$	2	S^{2-}
HNO_3	asam nitrat	$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$	1	NO_3^-
H_2SO_4	asam sulfat	$H_2SO_4 \rightarrow 2\,H^+ + SO_4^{2-}$	2	SO_4^{2-}
H_2SO_3	asam sulfit	$H_2SO_3 \rightarrow 2\,H^+ + SO_3^{2-}$	2	SO_3^{2-}
H_3PO_4	asam fosfat	$H_3PO_4 \rightarrow 3\,H^+ + PO_4^{3-}$	3	PO_4^{3-}
H_3PO_3	asam fosfit	$H_3PO_3 \rightarrow 3\,H^+ + PO_3^{3-}$	3	PO_3^{3-}
CH_3COOH	asam asetat	$CH_3COOH \rightarrow H^+ + CH_3COO^-$	1	CH_3COO^-
$H_2C_2O_4$	asam oksalat	$H_2C_2O_4 \rightarrow 2\,H^+ + C_2O_4^{2-}$	2	$C_2O_4^{2-}$
C_6H_5COOH	asam benzoat	$C_6H_5COOH \rightarrow H^+ + C_6H_5COO^-$	1	$C_6H_5COO^-$

2.7.1 Elektrolit Asam

Elektrolit asam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (H^+). Elektrolit-elektrolit asam tersebut bila dilarutkan dalam pelarut (biasanya adalah air) maka akan terurai menjadi ion H^+, contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4) dan asam klorida (HCl). Berdasarkan kandungan ion H^+, elektrolit asam dapat dibagi tiga, yaitu asam monoprotik, asam diprotik, dan asam tripotik, seperti berikut penjelasannya:

1. Asam Monoprotik

   Asam ini merupakan asam dengan molekul yang dapat menyumbangkan satu proton ke sebuah molekul air. Contoh asam monoprotik adalah HCℓ yang larut dalam air dengan reaksi sebagai berikut :

$$HCl + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

   Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya. Oleh karena alasan inilah, asam klorida merupakan reagan pengasam yang baik.

2. Asam Diprotik

   Asam diprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang dua proton ke dalam molekul air. Contoh asam diprotik adalah asam sulfat.

   Asam sulfat memiliki sifat yang sangat korosif (merusak logam). Sering juga digunakan untuk membersihkan bekas-bekas kotoran ataupun lemak pada

permukaan logam. Asam sulfat mengalami disosiasi dalam air melalui dua tahap :

$$H_2SO_4 + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + HSO_4^-$$

$$HSO_4^- + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + SO_4^-$$

Asam oksalat termasuk jenis asam dari senyawa organik yang dapat melepasakan ion H^+ dalam larutannya.

Pada proses *anodizing*, asam oksalat juga sering dipakai sebagai katalis atau biasa dipakai sebagai larutan penyangga yang bisa memepertahankan ion H^+ dari larutan asam utama tidak mudah menguap ke udara sehingga secara alamiah derajat keasaman juga bisa dipertahankan dan akan mempercepat reaksi pada *hard anodizing* dengan suhu yang relatif lebih tinggi .

3. Asam Triprotik

Asam triprotik adalah asam dengan molekul yang dapat menyumbang tiga proton ke sebuah molekul air. Salah satu contoh asam tripotik adalah asam fosfat. Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan salah satu asam yang dapat digunakan dalam proses *anodizing*.

Molekul dari asam fosfat ini terdiri dari tiga atom hidrogen, satu atom fosfor dan empat atom oksigen.

Asam fosfat merupakan asam yang mengalami disosiasi dalam air dalam tiga tahap :

$$H_3PO_4 + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + H_2PO_4^-$$

$$H_2PO_4^- + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + HPO_4^-$$

$$HPO_4^- + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + PO_4^-$$

2.7.2 Elektrolit Basa

Elektrolit basa adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (OH^-). Contoh dari elektrolit basa adalah NaOH (*caustic soda*) apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion Na^+ dan ion OH^-.

2.7.3 Elektrolit Garam

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

2.8 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan dua konsep reaksi yang berlangsung secara bersamaan yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi oksidasi adalah reaksi yang berhubungan dengan peningkatan bilangan oksidasi dan reaksi reduksi adalah bilangan yang berhubungan dengan penurunan bilangan oksidasi (N.V Parthasaradhy, 1989:25).

Ada sumber lain mengatakan bahwa reaksi redoks adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia.

Reaksi Reduksi.

- Terjadi pengurangan (turunnya) bilangan oksidasi.
- Reaksi pengurangan oksigen.
- Pada sel elektrokimia, reduksi terjadi pada sel katoda.
- Terjadi peristiwa penangkapan elektron.
- Zat yang mengalami proses reduksi disebut oksidator.

Reaksi Oksidasi

- Terjadi penambahan bilangan oksidasi.
- Reaksi suatu zat dengan oksigen.
- Pada sel elektrokimia, oksidasi terjadi pada sel anoda.
- Terjadi peristiwa pelepasan elektron.

2.9 Molaritas

Molaritas adalah Jumlah mol gram dari zat terlarut dalam satu liter larutan. Molaritas dilambangkan dengan notasi M dan satuannya adalah mol/liter (James E. Brady,2000)

$$M = n / V \qquad (2\text{-}1)$$

Jika diketahui zat yang akan dicari molaritasnya ada dalam satuan gram dan volumenya dalam mililiter, maka molaritasnya dapat dihitung dengan rumus:

$$M = n \times (1.000 / mL) \qquad (2\text{-}2)$$

atau

$$M = (g / Mr) \times (1.000 / mL) \qquad (2\text{-}3)$$

Keterangan :

M = molaritas (mol/liter)

n = mol zat terlarut (mol)

V = volume larutan (liter)

g = massa zat terlarut (gram)

Mr = massa molekul relatif zat terlarut

2.10 Kuat Arus

Arus listrik adalah pergerakan muatan-muatan listrik mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Sebenarnya yang bergerak adalah elektron-elektron dalam sebuah penghantar namun timbul asumsi bahwa arus listrik adalah pergerakan muatan listrik dari positif (+) ke negatif (-). Intinya adalah arus listrik akan timbul jika ada beda potensial dari kedua kutub. Jika antara dua titik, diberi tegangan atau dibuat beda potensial maka akan mengalirlah arus listrik dari yang memiliki potensial lebih positif ke arah yang lebih negatif. Jadi intinya adalah arus listrik akan timbul jika ada beda potensial dari kedua kutub. (Metalast, 2000:2)

Satuan arus listrik adalah Ampere, yang diartikan sebagai banyaknya muatan (Q) yang mengalir tiap satuan waktu (t).

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (2\text{-}4)$$

Keterangan :

I	: arus yang mengalir	(*Ampere*)
Q	: banyaknya muatan listrik	(*Coulomb*)
t	: waktu	(detik)

Sementara berdasarkan hukum Ohm, arus listrik memiliki hubungan matematis dengan tegangan dan hambatan (Tripler : 2001).

$$V = \mathrm{I} \times \mathrm{R} \qquad (2\text{-}5)$$

Keterangan :

V	:	beda potensial (tegangan listrik)	(*Voltage*)
I	:	arus listrik yang mengalir	(*Ampere*)
R	:	hambatan	(*Ohm*)

2.11 Hukum Faraday

Besarnya listrik yang mengalir yang dinyatakan dengan Coulomb adalah sama dengan arus listrik dikalikan dengan waktu. Dalam pemakaian secara umum atau dalam pemakaian pelapisan satuannya adalah ampere-jam (*Ampere-hour*) yang besarnya 3600 coulomb, yaitu sama dengan listrik yang mengalir ketika arus listrik sebesar 1 ampere mengalir selama 1 jam.

Michael Faraday pada tahun 1833 menetapkan hubungan antara kelistrikan dan ilmu kimia pada semua reaksi elektrokimia. Dua hukum Faraday ini adalah :

1. Hukum Faraday I

Massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus/arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.

Rumus: $m = e \cdot I \cdot t / 96.500$ (2-6)

$q = I \cdot t$ (2-7)

Keterangan :

m = massa zat yang dalam gram

e = berat ekivalen = Ar/ Valens i= Mr/Valensi

I = kuat arus listrik (amper)

t = waktu (detik)

q = muatan listrik (coulomb)

2. Hukum Faraday II

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

Rumus: $m_1 : m_2 = e_1 : e_2$ (2-8)

Keterangan :

m = massa zat (gram)

e = beret ekivalen = Ar/Valensi = Mr/Valensi

Hukum I membuktikan terdapat hubungan antara reaksi kimia dan jumlah total listrik yang melalui elektrolit. Menurut Faraday, bahwa 96.496 coulomb arus listrik membebaskan satu satuan berat ekivalen ion positif dan negatif. Oleh sebab itu 96.496

coulomb atau kira-kira 96.500 coulomb yang disebut 1 Faraday sebanding dengan berat 1 elektrokimia. Untuk menentukan logam yang terdeposisi dengan arus dan waktudapat ditentukan :

Faraday = ampere detik/ 96.500 = (ampere jam x 3600) / 96.500 (2-9)

Untuk menentukan tebal pelapisan yang terjadi perlu diketahui berat jenis dari logam yang terlapis pada katoda. Efisiensi katoda yaitu arus yang digunakan untuk pengendapan logam pada katoda dibandingkan dengan total arus masuk. Arus yang tidak dipakai untuk pengendapan digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas atau pengendapan logam-logam lain sebagai impuritas yang tak diinginkan. Efisiensi anoda yaitu perbandingan antara jumlah logam yang terlarut dalam elektrolit dibanding dengan jumlah teoritis yang dapat larut menurut Hukum Faraday.

2.12 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).

Uji SEM pada pengujian kali ini digunakan untuk mengetahui retakan yang timbul akibat indentasi vickers pada *Hard Anodizing* Al.

Gambar 2.6 *Scanning Electron Microscope*
Sumber: Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin UB

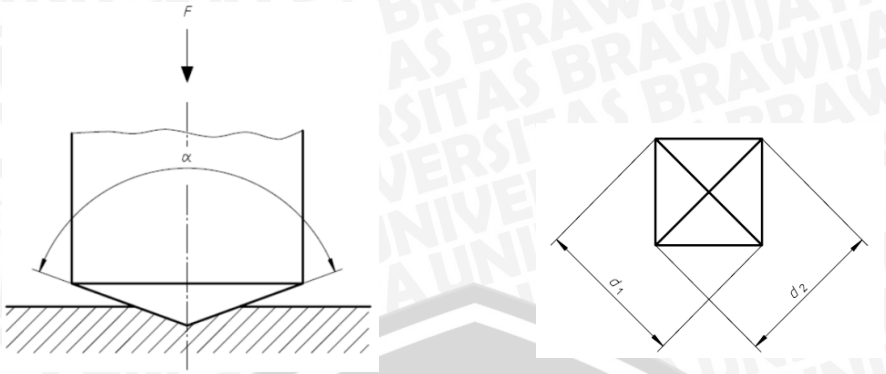
2.13 Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaanya akan mangalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Kekerasan didefinisikan sebagai resistensi terhadap penetrasi oleh indentor.

Vickers (HV / VHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk pyramid seperti ditunjukan pada gambar 2.7.

Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor (diagonalnya) (A) yang dikalikan dengan sin (136°/2).



Gambar 2.7 Mekanisme Pengujian *Vickers*
Sumber: ISO 6507 , 1997

Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode *vickers* dapat dilihat pada persamaan – persamaan di bawah ini :

$$\mathrm{HV} = \frac{\mathrm{F}}{A} \times Sin\frac{136^0}{2} \qquad (2\text{-}10)$$

$$\mathrm{HV} = \frac{\mathrm{F} \times Sin\frac{136^0}{2}}{\frac{\mathrm{d}^2}{2}} \qquad (2\text{-}11)$$

$$\mathrm{HV} = 1{,}854\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{d}^2} \qquad (2\text{-}12)$$

Keterangan :

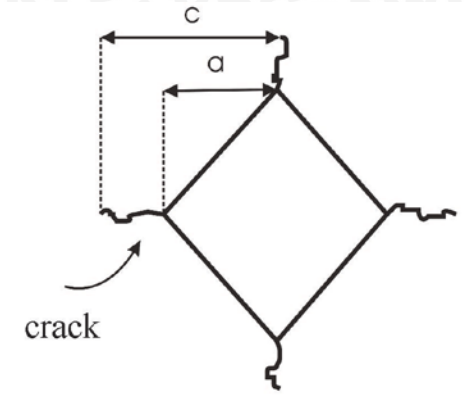
HV = Angka kekerasan *Vickers*

F = Beban (kgf)

d = Diagonal (mm)

2.14 *Fracture toughness*

Fracture toughness adalah sifat material yang menunjukkan kemampuannya untuk menghambat laju perambatan ujung retak. Ketika tegangan mencapai nilai kritis tertentu, pertumbuhan retak dimulai dan kemudian memberikan faktor kritis *stress* intensitas (K_{IC}). Ini disebut juga ketangguhan patah. Pengujian *microhardness* adalah alat yang berguna untuk analisis mikrostruktur permukaan. Informasi seperti identifikasi fasa dan data *Fracture toughness* dapat ditentukan. Knoop dan Vickers adalah pengukuran yang paling umum digunakan (H.S. Güder,dkk) . *Fracture toughness* (K_Ic) dari suatu material adalah ukuran energi yang diperlukan untuk rambat retak.



Gambar 2.8 indentasi *Vickers*
Sumber: Enrique Rocha-Rangel,2011

$K_{IC} = A \frac{F}{c^{3/2}}$ (Sergejev and Antonov) (2-13)

Keterangan :

K_{IC} = *Fracture toughness* (MPa·$m^{1/2}$)

F = *Test load in Vickers hardener* (N)

c = *Average length of the cracks obtained in the tips of the Vickers marks* (m)

a = *Half average length of the diagonal of the Vickers marks* (m)

A = konstanta

Pada fraktur, energi diserap dalam materi dan pada ujung retak merambat dengan deformasi elastis, deformasi plastik, generasi cacat, perubahan fasa, dan generasi permukaan baru.

2.15 Hipotesa

Semakin tinggi larutan konsentrasi elektrolit dan kuat arus akan mengakibatkan lapisan material yang semakin tebal maka kekerasan material juga akan meningkat sehingga *fracture toughness* lapisan oksida juga akan semakin meningkat.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental yang dimana dengan secara langsung meneliti pada objek yang bertujuan untuk mengetahui variasi konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus pada proses *hard anodizing* terhadap kekerasan dan *fracture toughness*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitan dilakukan pada (1 – 31 Oktober 2013). Tempat yang dilakukan untuk penelitian yaitu Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol. Adapun penjelasan lebih lanjut tentang ketiga variabel akan di jelaskan di bawah.

3.3.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai variabel yang terikat, yang besarnya di tentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan yang mana ditujukan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari objek penelitian.Variabel bebas dari penelitian ini adalah variasi arus pada proses anodizing yaitu 1A dan 2A. Variasi Molaritas larutan elektrolit 1 mol, 2 mol, dan 3 mol.

3.3.2. Variabel Terikat

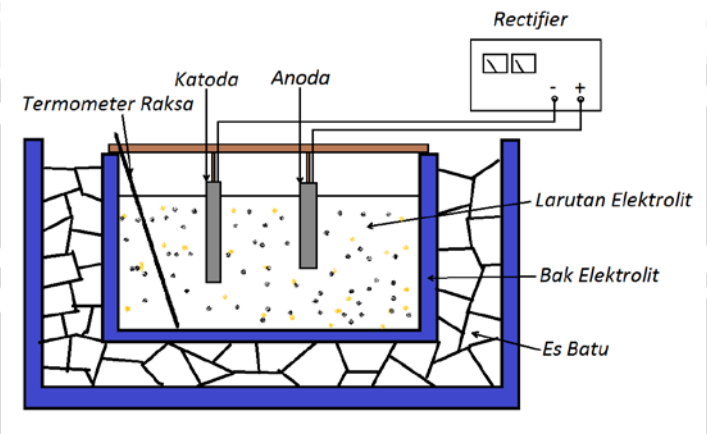
Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekerasan dan *fracture toughness* yang terjadi setelah proses *anodizing* pada aluminium 6061.

3.3.3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah temperatur operasi proses anodizing pada suhu 8-10˚C, jarak dari anoda dan katoda adalah 5 cm, dan tegangan 20 Volt.

3.4 Skema Instalasi Pada Penelitian

Skema instalasi pada penelitian *anodizing* digambarkan pada gambar berikut



Gambar 3.1 : Skema Instalasi Penelitian

Gambar di atas merupakan gambar instalasi percobaan *Continous Hard Anodizing*. Alat uji ini menggunakan sumber arus jenis DC yang didapatkan dari *power supply* dengan kapasitas arus mencapai 2 ampere dan beda potensial 0-30 Volt.

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan apa saja yang digunakan pada penelitian akan dijelaskan sebagai berikut :

3.5.1 Peralatan Penelitian

1. Termometer Raksa

   Termometer raksa sebagaimana digambarkan pada gambar 3.2 digunakan untuk mengukur suhu selama proses *pretreatment* dan *anodizing*

Gambar 3.2: Termometer raksa

Spesifikasi :

- Tingkat ketelitian : 1°
- Temperatur maksimal : $100^{o}C$

2. *Heater*

Heater sebagaimana digambarkan pada gambar 3.3 digunakan untuk memanaskan larutan pada proses *pretreatment.*

Gambar 3.3: Heater

Spesifikasi :

- Tegangan 220 V-50 Hz
- Daya 600 W

3. Gelas Ukur

Gelas ukur sebagaimana digambarkan pada gambar 3.4 digunakan untuk mengukur volume larutan.

Gambar 3.4: Gelas ukur

Spesifikasi :

- Merk Pyrex

- Kapasitas 250 ml

4. *Power Supply*

   Power supply sebagaimana digambarkan pada gambar 3.5 digunakan sebagai sumber listrik

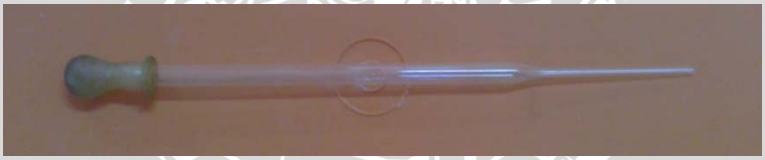
Gambar 3.5 *Power supply*

Spesifikasi :

- Arus DC 1,5 A
- Tegangan listrik 0-28

5. Pipet

   Pipet sebagaimana digambarkan pada gambar 3.6 digunakan untuk mengambil larutan



Gambar 3.6 Pipet

Spesifikasi :

- Kapasitas 10 ml

6. Gelas

   Gelas sebagaimana digambarkan pada gambar 3.7 digunakan sebagai tempat larutan pada proses *pretreatment*

Gambar 3.7: Gelas

Spesifikasi :

- Bahan kaca
- Kapasitas 200 ml

7. Kawat

   Kawat sebagaimana digambarkan pada gambar 3.8 digunakan untuk menggantung spesimen pada proses *anodizing*

Gambar 3.8: Kawat

   Spesifikasi :

   - Panjang 2 m; Diameter 2mm

8. Masker

   Masker sebagaimana digambarkan pada gambar 3.9 digunakan untuk melindungi sistem pernafasan dari bahan kimia

Gambar 3.9: Masker

9. Sarung Tangan

   Sarung tangan sebagaimana digambarkan pada gambar 3.10 digunakan untuk melindungi tangan dari bahan kimia

Gambar 3.10: Sarung tangan

   Spesifikasi :

- Bahan latex

10. *Centrifugal Sand Paper Machine*

Alat ini digunakan untuk membersihkan permukaan material logam dari karat dan kotoran lain yang tidak diperlukan serta dapat digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen seperti sebagaimana yang digambarkan pada gambar 3.11.

Gambar 3.11 *Centrifugal Sand Paper Machine*

Spesifikasi:

- Merk : Saphir
- Buatan : Jerman
- Diameter : 15 cm
- Putaran : 120 rpm

11. *Micro Hardness Vickers Tester*

Digunakan untuk mengetahui porous yang terbentuk pada spesimen hasil *anodizing.* Sebagaimana yang digambarkan pada gambar 3.12.

Gambar 3.12 *Micro Vickers Hardness Tester*

Spesifikasi:

- Merk : *Digital Micro Vickers Hardness Tester* TH712
- Pembesaran : 100 ×dan400 ×

- *Testing Field* : 1HV—2967HV
- Max.ketinggian : 70 mm
- Max.lebar : 95 mm
- Dimensi : 425 x 245 x 490 mm
- Beban Pengujian : 0,098N; 0,245N; 0,49N; 0,98N; 1,96N; 2,46N; 4,9N ; 9,8N

12. Timbangan

Digunakan untuk menentukan prosentase bahan-bahan *anodizing* serta menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah uji kekerasan. Timbangan dapat dilihat pada gambar 3.13.

Gambar 3.13 Timbangan Digital

Spesifikasi:

- Ketelitian : 0,0001 g

3.5.2 Bahan Penelitian

Bahan –bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. *Aluminium alloy* 6061
   - Komposisi *aluminium alloy* 6061 seperti yang dijelaskan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi alumunium 6061 (PT. Sutindo)

Unsur	Jumlah (%)

Magnesium	1.01
Silikon	0.88
Besi	0.22
Tembaga	0.21
Seng	0.08
Titanium	0.08
Mangan	1.01
Kromium	0.05
Aluminium	Balance

2. *Titanium Alloy*

- Komposisi *titanium alloy* seperti yang dijelaskan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Komposisi titanium (Pengujian EDAX Laboratorium MIPA UM)

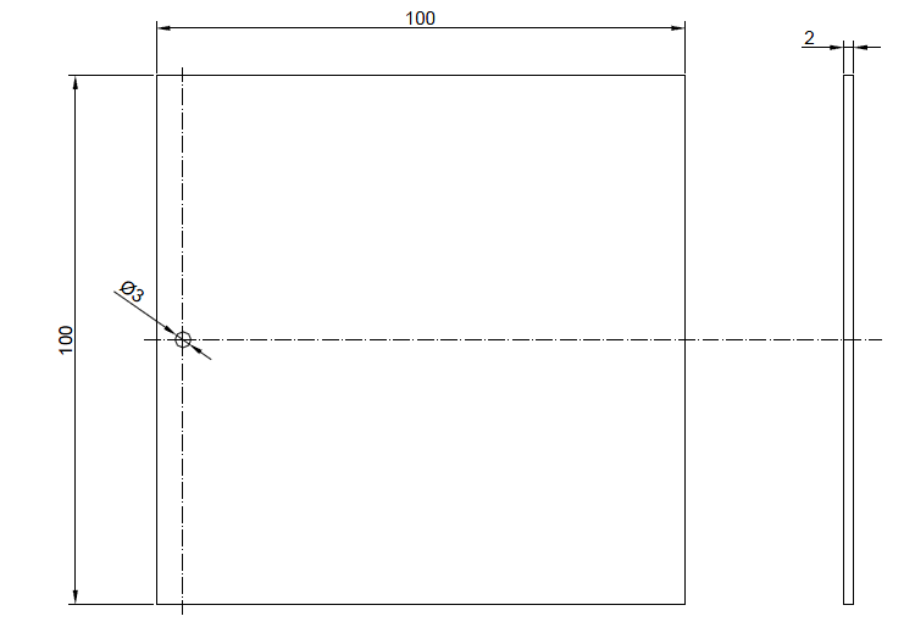
Unsur	Kandungan (%)
Titanium	92,2
Besi	0,54
Nikel	0,29
Seng	0,14
Tm	0,90
Ca	2,43
P	2,6
Yb	0,9
Re	0,3

3. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4)
4. Larutan Asam Fosfat (H_3PO_4)
5. Caustic Soda (NaOH)
6. Asam Oksalat ($C_2H_2O_4$)
7. Larutan Asam Nitrat (HNO_3)
8. Aquades
9. Es Batu
10. Kain Lap

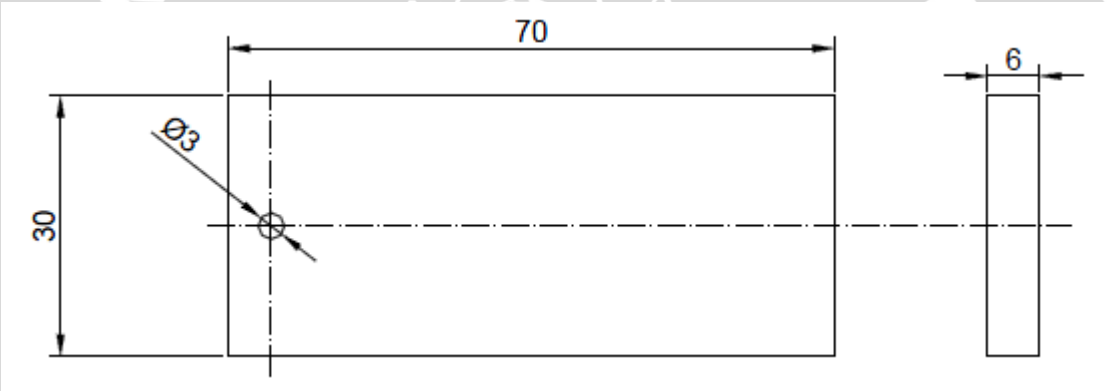
3.5.3 Bentuk dan Spesimen yang Digunakan

Bentuk dan spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

Satuan : mm



Gambar 3.14: Bentuk dan spesimen Titanium



Gambar 3.15: Bentuk dan spesimen Aluminium

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini meliputi :

1. Studi literatur
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
3. Memotong spesimen (alumunium dan titanium) sesuai dengan ukuran
4. Haluskan permukaan alumunium yang akan di*anodizing* dengan menggunakan *Sand Papper Machine*.
5. Proses *anodizing* ada tiga tahapan, yaitu meliputi :
   - Perlakuan awal (*pre-treatment*), yaitu :
     1) *Degreasing*

- Membuat larutan H_2SO_4 dengan volume 15% dan 85 % sisanya untuk volume aquades
- Larutan H_2SO_4 dipanaskan sampai temperatur 60-80^oC
- Aluminium direndam selama 5 menit
- Aluminium diangkat dan dibersihkan dengan direndam dalam air murni

2) *Etching*

- Membuat larutan NaOH (*caustic soda*) dengan volume 5% dan 95 % sisanya volume aquades
- Larutan NaOH dipanaskan sampai temperatur 30-50^oC
- Aluminium hasil *degreasing* direndam selama 5 menit
- Aluminium diangkat dan dibersihkan dengan direndam dalam air murni

3) *Desmutting*

- Membuat larutan HNO_3 (asam nitrat) dengan volume 10% dan 90 % sisanya volume aquades
- Larutan HNO_3 dipanaskan sampai temperatur 25-40^oC
- Aluminium hasil *etching* direndam 5 menit
- Aluminium diangkat dan dibersihkan dalam air murni

➢ Proses *anodizing*,

Aluminium hasil *pre-treatment* dihubungkan pada anoda (kutub positif) pada *power supply* kemudian direndam dalam bak plastik (bak elektrolisis) dengan dimensi 40x20x15 cm yang berisi larutan campuran asam fosfat dengan konsentrasi yang direncanakan sebanyak 1000 ml pada temperatur 8 - 10^oC, dan pada sisi katoda (kutub negatif) pada *power supply* dihubungkan ke lempengan titanium dengan dimensi 10x10 cm dengan tebal 2 mm, setelah itu pengaturan tegangan 20 Volt dan arus yang yang telah direncanakan pada *power supply*. Kemudian *power supply* dinyalakan dan waktu 90 menit.

➢ Perlakuan akhir

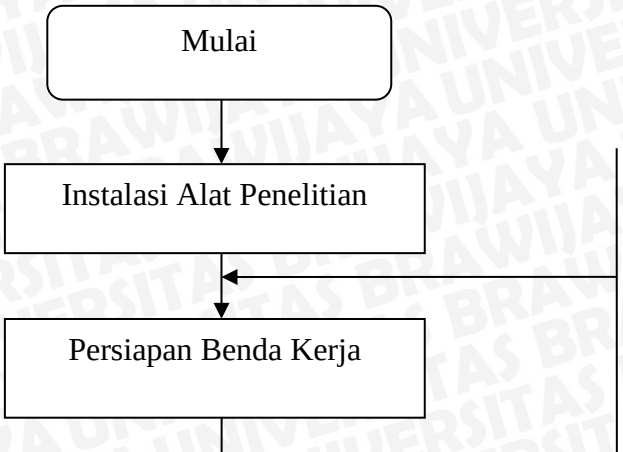
Aluminium hasil proses *anodizing* dibersihkan atau direndam dengan air murni dan dikeringkan dengan kain lap kering.

6. Pengujian kekerasan permukaan spesimen hasil proses *anodizing* dengan menggunakan menggunakan *Micro Hardness Vickers.*
7. Menganalisa hasil data dari pengujian.

3.7 Nilai *Fracture Toughness* Lapisan Oksida

1. Studi literatur
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
3. Mengindentasi permukaan spesimen hasil proses *anodizing* dengan menggunakan *Micro Hardness Vickers.*
4. Mencari panjang *crack* akibat dari indentasi
5. Menganalisa hasil data dari pengujian.

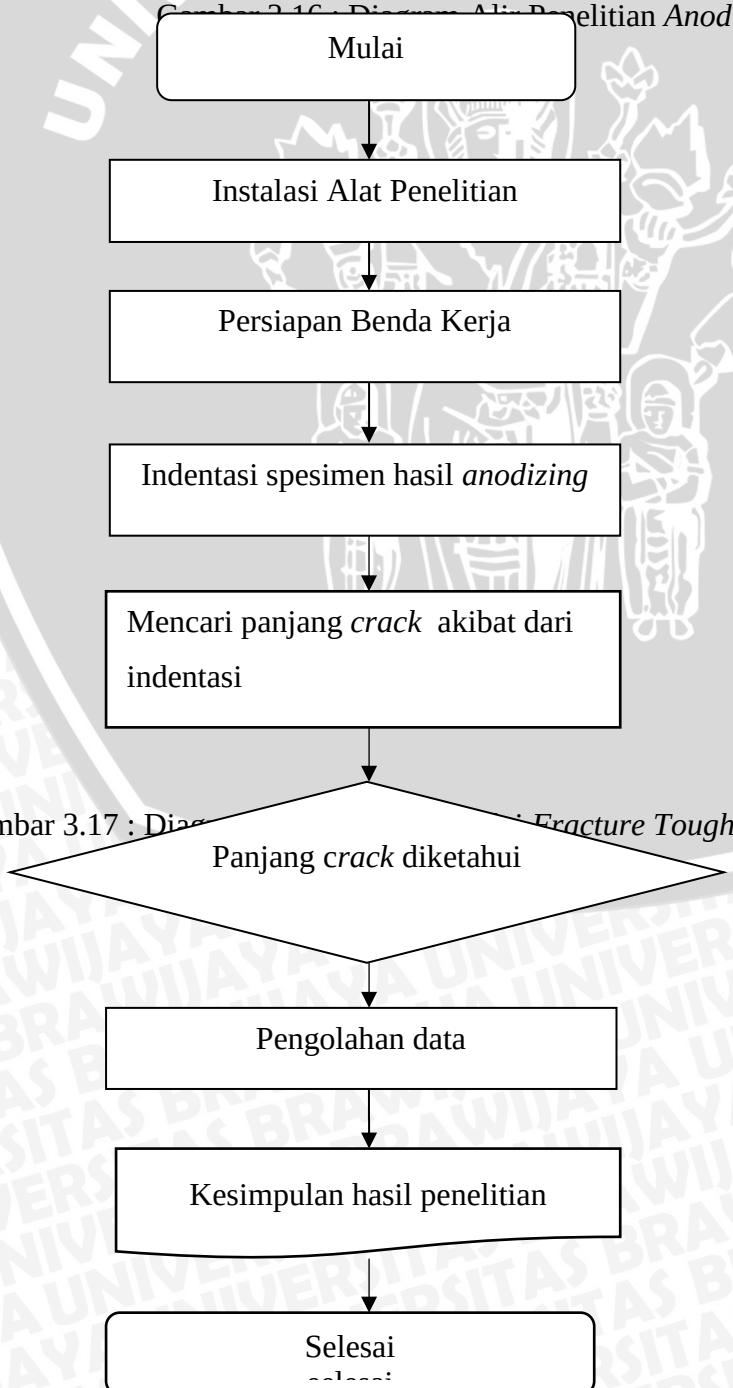
3.8 Diagram Alir Penelitian



tidak

ya

Gambar 3.16 : Diagram Alir Penelitian *Anodizing*



Gambar 3.17 : Diag *Fracture Toughness* Lapisan Oksida

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Metode yang digunakan untuk mengukur nilai kekerasan yaitu dengan menggunakan *Micro Hardness Vickers* aluminium 6061 sebelum *anodizing*. *Micro Hardness Vickers* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

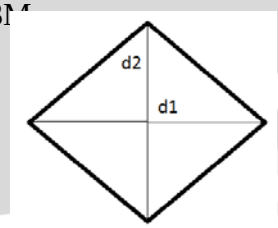
- Besar gaya indentasi F = 9,8 N
- Nilai kekerasan 100,45 VHN.

Data hasil pengujian kekerasan pada logam aluminium 6061 hasil *hard anodizing* ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.1 Data hasil pengujian kekerasan permukaan aluminium 6061

Data hasil pengujian kekerasan (VHN)			
Arus	**Konsentrasi larutan elektrolit**		
	1M	2M	3M
1A	102,30	104,20	120,80
	102,40	105,10	115,60
	103,50	103,80	113,10
Rata-rata	**102,73**	**104,37**	**116,50**
2A	119,90	120,15	127,00
	118,70	121,60	128,80
	114,50	121,60	124,10
Rata-rata	**117,70**	**121,17**	**126,63**

Kedalaman indentasi pengujian vickers dapat dihitung menggunakan metode perhitungan sebagai berikut dengan contoh spesimen 2A 3M



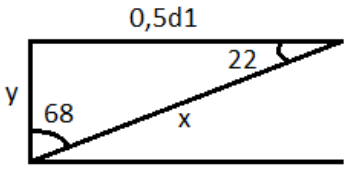
Diketahui: kekerasan = 126,633 VHN

d1= 122 µm

d2= 122 µm

Ditanya: y?

Jawab: - mencari nilai y



$$\tan 22° = \frac{y}{0{,}5d1}$$

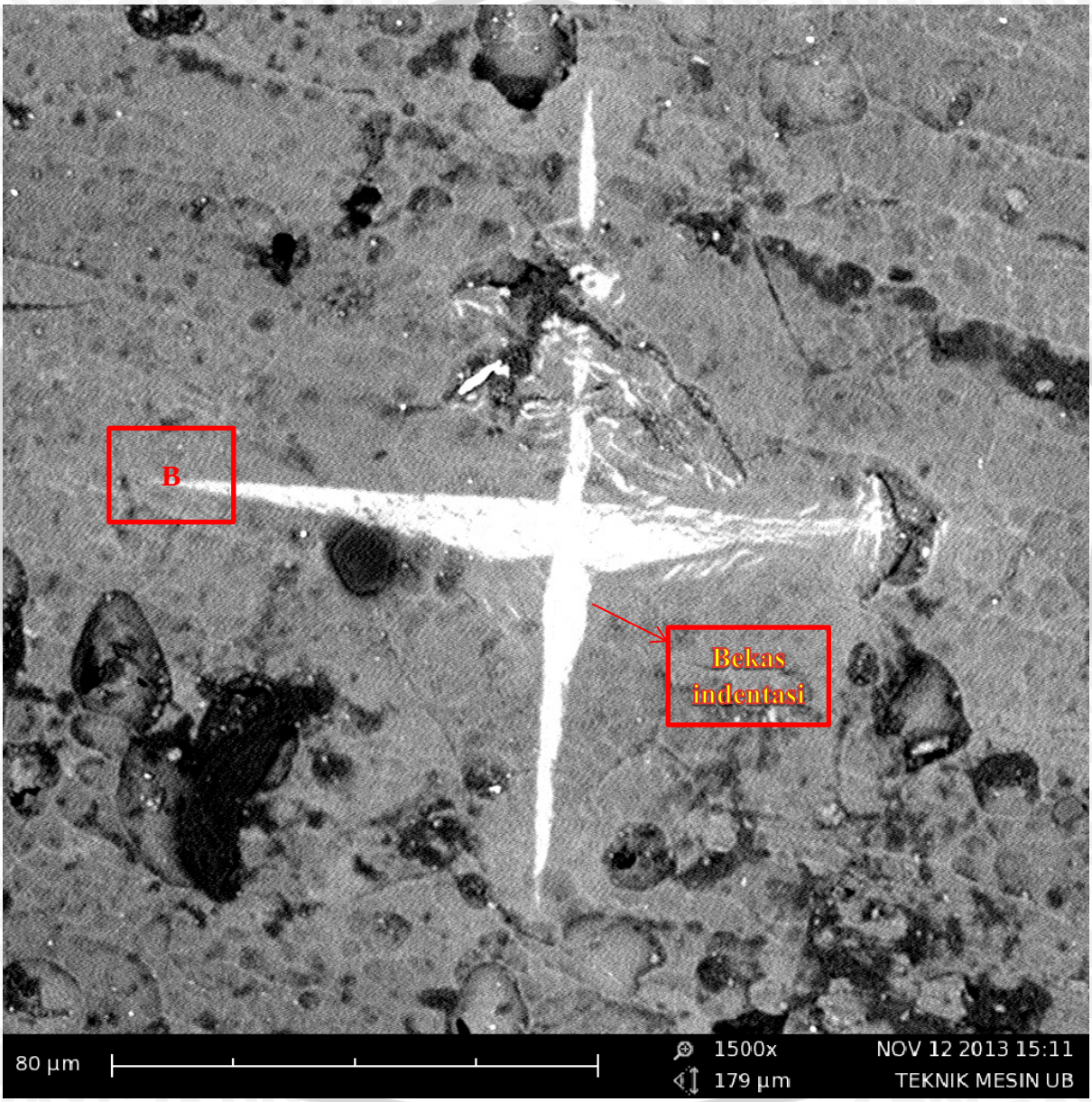
$$0{,}404 = \frac{y}{61\ \mu m}$$

y = 24,64 µm

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa kedalaman indentor pada kondisi 2A 3M dengan nilai kekerasan 126,63 VHN adalah 24,64 µm. Hal ini masih dalam tebal lapisan proses *hard anodizing* (setyobudi,david dkk.) .

4.1.2 Gambar Hasil SEM

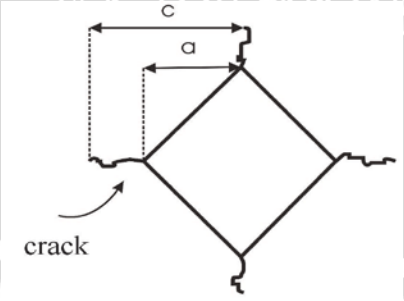
Pada gambar 4.1 menunjukkan retakan hasil dari indentasi pada *hard anodizing* aluminium 6061 dengan variasi 1 M 1 A.



Gambar 4.1 Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 1A 1M Perbesaran 1500x

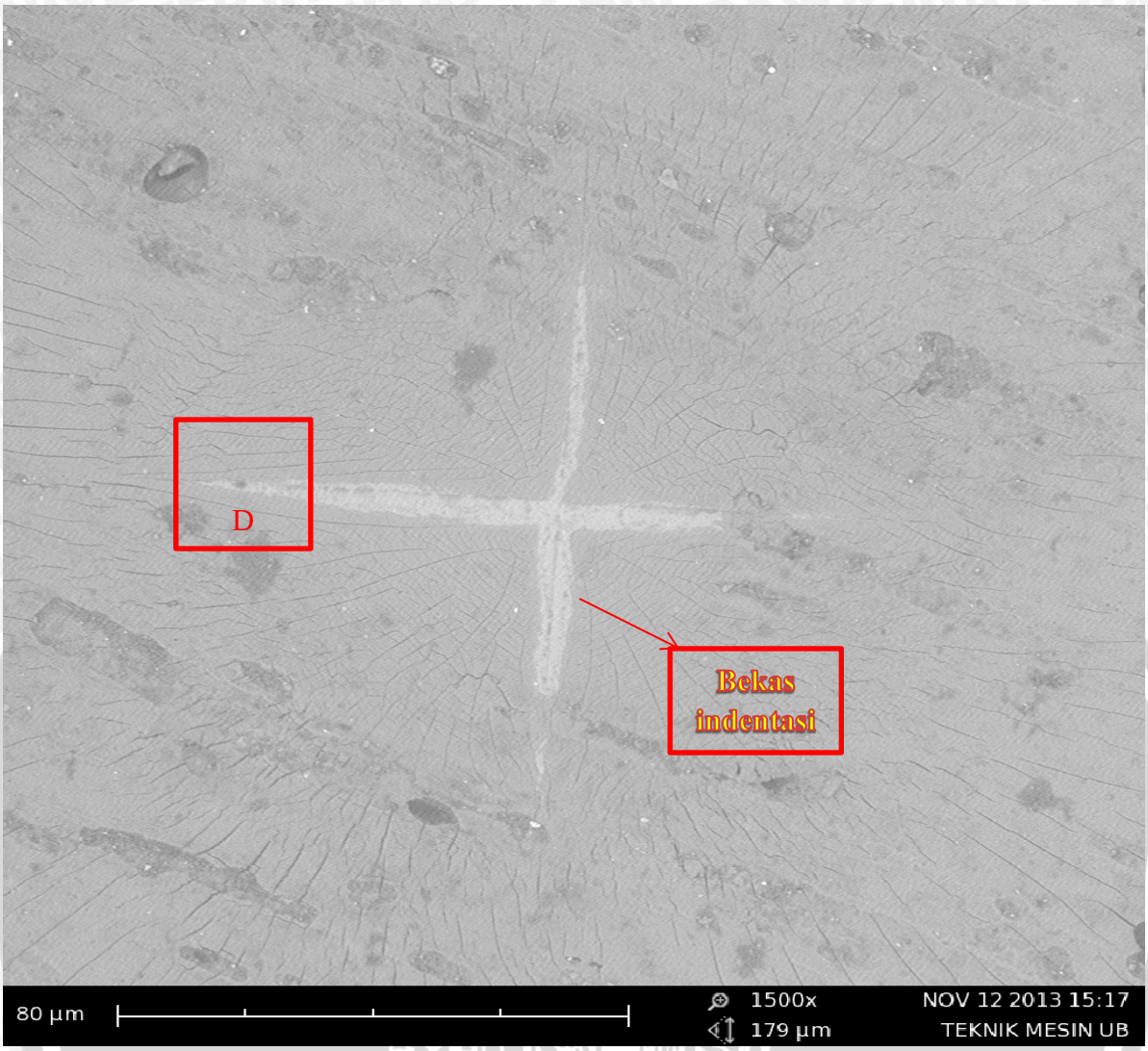
Gambar 4.2 Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 1A 1M Perbesaran 10000x

Dari gambar Dari gambar 4.1 dijelaskan bahwa tiap ujung dari indentasi suatu material terdapat retakan. Tetapi panjang retakannya berbeda di setiap ujung indentasi. Pada perbesaran 10000x menunjukkan retakan pada ujung yang terlihat lebih jelas. Di gambar 4.2 mengambil bagian tersebut karena bagian tersebut retakannya lebih panjang dari bagian yang lain. Pada gambar 4.2 dijelaskan juga bahwa panjang retak dari indentasi pada variasi 1A 1M adalah 3,63 µm. Variasi 1A 1M mempunyai setengah panjang indentasi *a* yaitu 67,31µm. Maka panjang c yang terjadi pada variasi 1A 1M adalah 70,94 µm.



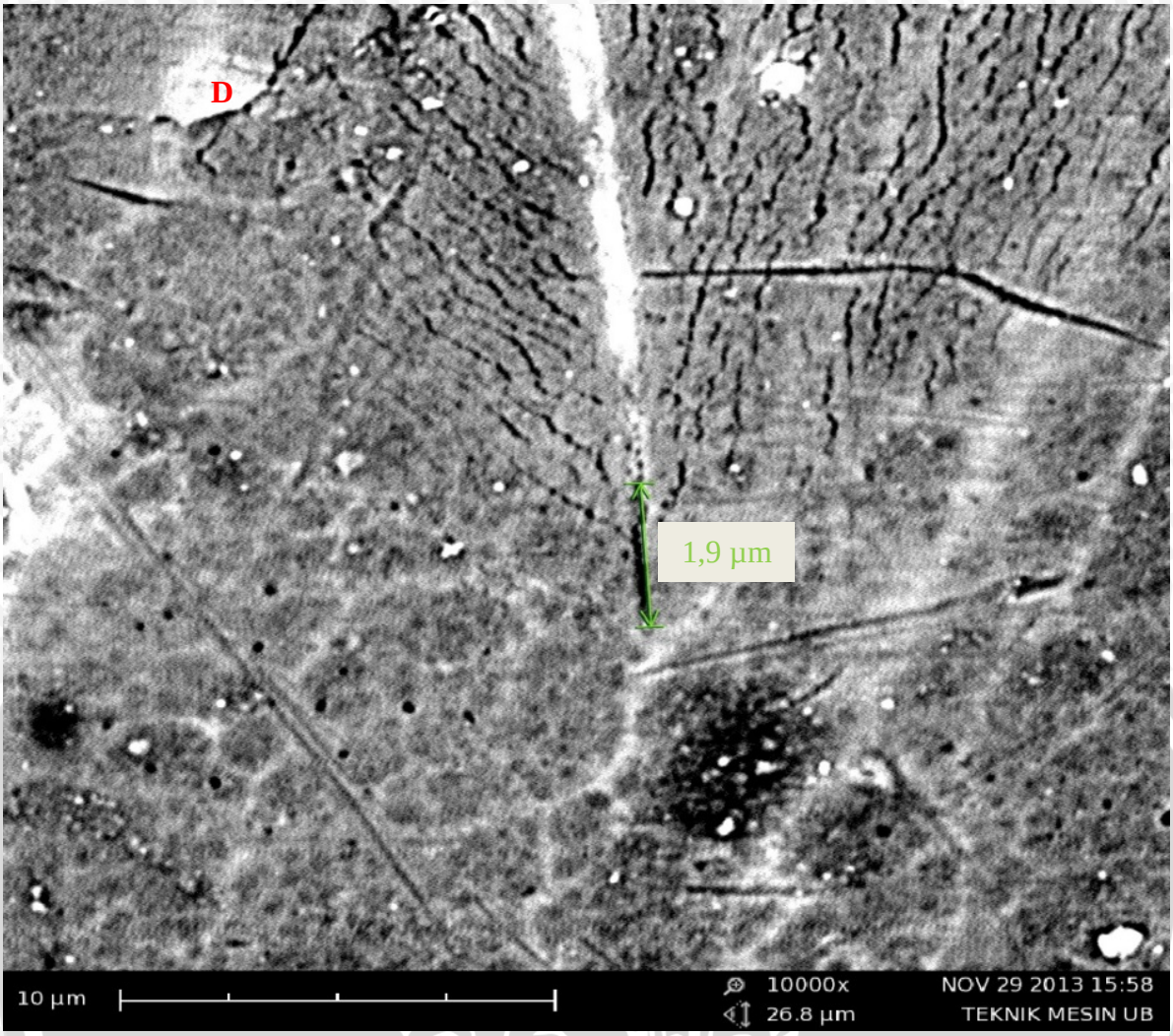
Gambar 2.9 indentasi *Vickers*
Sumber: Enrique Rocha-Rangel,2011

Pada gambar 4.2 menunjukkan retakan hasil dari indentasi pada *hard anodizing* aluminium 6061 dengan variasi 2A 3M.



Gambar 4.3 Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 2A 3M Perbesaran 1500x

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Gambar 4.4 Retakan Akibat Indentasi Pada Variasi 2A 3M Perbesaran 10000x

Dari gambar Dari gambar 4.2 dijelaskan bahwa tiap ujung dari indentasi suatu material terdapat retakan. Tetapi panjang retakannya berbeda di setiap ujung indentasi. Pada perbesaran 10000x menunjukkan retakan pada ujung yang terlihat lebih jelas. Di gambar 4.3 mengambil bagian tersebut karena bagian tersebut retakannya lebih panjang dari bagian yang lain. Pada gambar 4.3 dijelaskan juga bahwa panjang retak dari indentasi pada variasi 2A 3M adalah 1,9 µm. Variasi 1A 1M mempunyai setengah panjang indentasi ***a*** yaitu 61,14µm. Maka panjang c yang terjadi pada variasi 2A 3M adalah 63,04 µm.

4.1.3 Data Hasil Pengukuran Panjang (*c*)

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *scanning elektron microscope*. Data hasil pengukuran panjang pada logam aluminium 6061 hasil *hard anodizing* ditunjukkan pada tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran panjang (*c*) aluminium 6061 hasil *hard anodizing*

Data hasil pengukuran panjang (*c*)			
Arus	**Konsentrasi larutan elektrolit**		
	1M	2M	3M
1 A	0,0709	0,0702	0,0669
2A	0,0673	0,0645	0,0630

4.1.4 Contoh Perhitungan *Fracture Toughness*

Untuk mengetahui nilai *fracture toughness* dapat diketahui dengan rumus

$K_{IC} = A \frac{F}{c^{3/2}}$ (Sergejev and Antonov) (2-9)

dengan ketentuan : K_{IC} = Nilai *fracture toughness* (Mpa$\sqrt{m}$)

F = gaya indentasi (N)

A = konstanta

c = panjang retakan rata-rata dari spesimen (m)

Diketahui data properti aluminum sebelum proses *hard anodizing* dengan ketentuan sebagai berikut :

K_{IC} = 29 (Mpa$\sqrt{m}$)

F = 9,8 N

c = 0,000073665

jadi kita dapat nilai A sebesar 1,87 x 10^{-6}

contoh perhitungan pada proses *hard anodizing* dengan variasi 2A 1M diketahui :

c= 6,73 x 10^{-5} m

F = 9,8 N

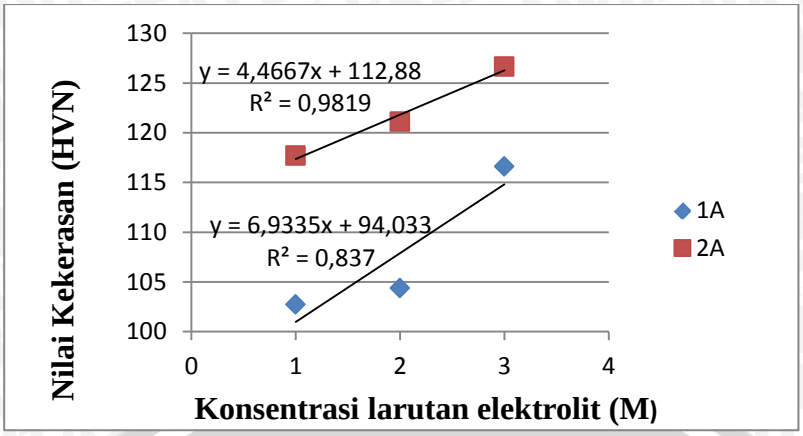
$K_{IC} = 1{,}87 \times 10^{-6} \frac{F}{c^{3/2}}$

K_{IC} = 33,18 (MPa$\sqrt{m}$)

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Kuat Arus Dan Konsentrasi larutan elektrolit Terhadap Kekerasan

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan variasi kuat arus dan konsentrasi larutan elektrolit, maka didapatkan besarnya kekerasan pada aluminium 6061 hasil *hard anodizing* dengan menggunakan *Micro Hardness Vickers* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 .



Gambar 4.5 Hubungan Antara Konsentrasi Larutan Elektrolit Dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing*.

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa variasi konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus dapat mempengaruhi nilai kekerasan aluminium 6061 hasil *hard anodizing*. Kekerasan terendah terjadi saat kuat arus 1 A dan konsentrasi larutan elektrolit 1 M dengan nilai 102,73 HVN sedangkan kekerasan tertinggi terjadi saat kuat arus 2 A dan konsentrasi larutan elektrolit 3 M sebesar 126,63 HVN.

Pada gambar 4.5 juga menunjukkan semakin besar konsentrasi larutan elektrolit maka kekerasan aluminium 6061 akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan maka lapisan aluminium oksida (peluruhan) meningkat, karena pada larutan elektrolit yang tinggi maka semakin meningkat juga konduktivitas arus menyebabkan kenaikan temperatur yang berakibat proses peluruhan. Hal ini akan mengakibatkan energi untuk melepasakan ikatan ion pada titanium akan semakin besar, sehingga ion-ion titanium yang lepas dari ikatannya akan semakin banyak. Dengan semakin banyaknya ion titanium yang lepas dari ikatannya, maka semakin besar pula energi kinetik yang dihasilkan sehingga semakin banyak juga ion titanium yang menumbuk permukaan aluminium dan menyebabkan jarak antar atom akan semakin rapat pada permukaan benda kerja (aluminium) dan juga lapisan oksida semakin tebal. Karena lapisan oksida tebal, maka juga keras, sehingga kekerasannya meningkat seiring meningkat konsentrasi larutan elektrolit larutan elektrolit. Ketika spesimen diuji kekerasan dengan mengggunakan *Vickers*, nilai tingkat kekerasannya lebih tinggi.

Ketika kuat arus ditingkatkan, lapisan oksida pada permukaan spesimen di dalam elektrolit akan terbentuk dengan cepat , akibatnya lapisan yang terbentuk akan memiliki pori yang sedikit, lebih tebal dan keras. Pada rapat arus yang sangat tinggi, terdapat kecondongan untuk terbakar. Hal ini karena pengembangan dari kuat arus yang

terlalu tinggi yang mengakibatkan kekerasan menurun. Pada penelitian ini kuat arus 2A nilai kekerasannya lebih tinggi dari 1 A maka kuat arus yang diberikan masih dalam kuat arus yang optimal dalam anodizing.

Reaksi kimia yang terjadi pada saat proses anodizing berlangsung adalah sebagai berikut :

$H_3PO_4 + H_2O \rightarrow 3H^+ + PO_4^- + H_2O$

$H_2O + 2e \rightarrow O^{2-} + H_{2(gas)}$

Untuk anoda yaitu aluminium, pada awalnya akan terjadi reaksi oksidasi. Reaksi yang terjadi adalah :

$2Al \rightarrow 2Al^{3+} + 6e$

Dari reaksi diatas menghasilkan O^{2-} yang akan dimanfaatkan ion-ion aluminium untuk membentuk lapisan oksida. Reaksi yang terjadi adalah :

$2Al^{3+} + 3O^{2-} \rightarrow Al_2O_{3(oxide\ coating)}$

Untuk titanium pada katoda akan terjadi reaksi reduksi. Reaksi yang terjadi adalah:

$Ti^{2+} + 2e \rightarrow Ti$

Setelah menghasilkan atom-atom titanium ini, selanjutnya akan bereaksi dengan H_2O hasil reaksi ionisasi H_3PO_4 dan membentuk titanium dioksida. Berikut reaksinya:

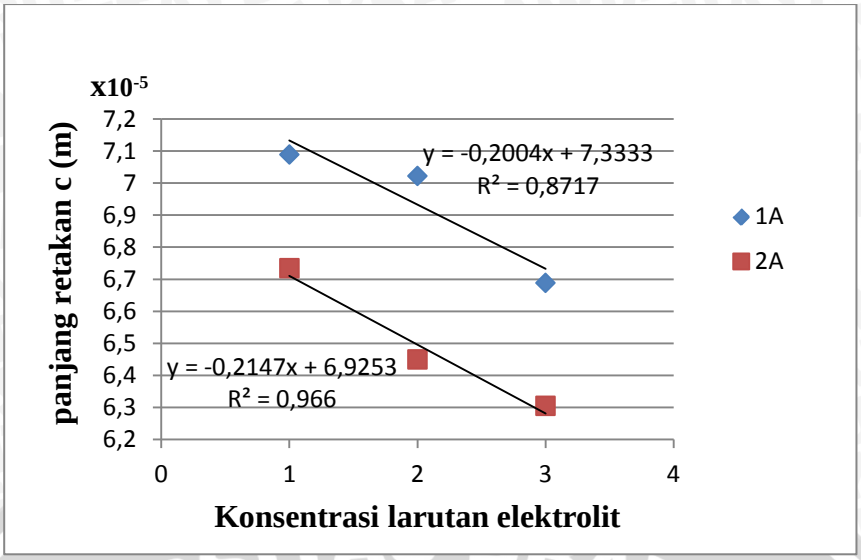
$Ti + 2H_2O \rightarrow TiO_2 + 2H_{2(gas)}$

Titanium dioksida inilah yang akan menempel pada permukaan aluminium dan akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada aluminium.

4.2.2 Pengaruh Kuat Arus Dan Konsentrasi larutan elektrolit Terhadap *Fracture Toughness* Lapisan Oksida

- **Grafik Hubungan Antara Konsentrasi larutan elektrolit dan Panjang *c***

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan variasi kuat arus dan konsentrasi larutan elektrolit, maka didapat panjang *c* pada aluminium 6061 hasil *hard anodizing*. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan elektrolit dan panjang *c* dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut



Gambar 4.6 Hubungan Antara Konsentrasi larutan elektrolit Dan Kuat arus Terhadap Panjang *c* Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing*

Variasi konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus mempengaruhi Panjang *c* aluminium 6061 hasil *hard anodizing*. Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan elektrolit maka panjang *c* aluminium 6061 akan semakin menurun. Pada kuat arus sebesar 2A panjang c lebih rendah daripada kuat arus sebesar 1A. Panjang terendah terjadi saat kuat arus 2 A dan konsentrasi larutan elektrolit 3 M dengan nilai 6,30E-05 m sedangkan panjang tertinggi terjadi saat kuat arus 1 A dan konsentrasi larutan elektrolit 1 M sebesar 7,08E-05 m.

Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya larutan elektrolit lapisan oksida semakin tebal sehingga spesimen menjadi semakin keras. Oleh karena itu panjang retakan *c* semakin menurun ketika konsentrasi larutan elektrolit meningkat. Panjang retakan *c* berbanding terbalik dengan kekerasan sesuai berdasarkan rumus :

$$HV = 1{,}854\,\frac{F}{d^2} \qquad (2\text{-}8)$$

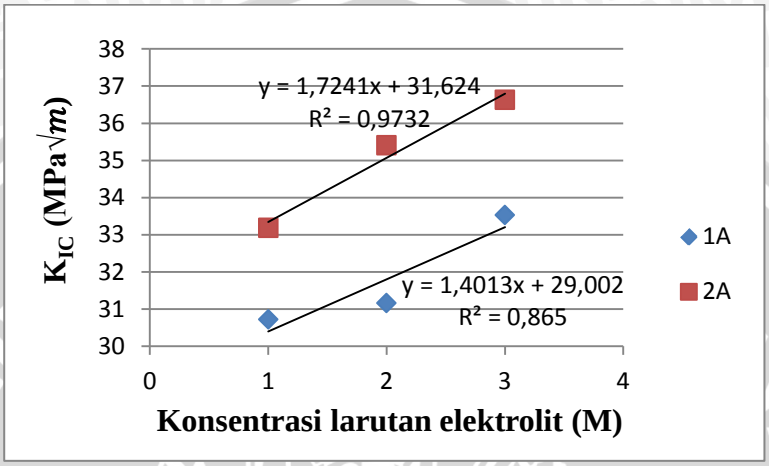
Keterangan :

HV	= Angka kekerasan *Vickers*	
F	= Beban	(kgf)
d	= Diagonal	(mm)

Ketika nilai kekerasan tinggi maka retakan yang dihasilkan oleh indentasi rendah sehingga nilai c menurun.

- **Grafik Hubungan Antara Konsentrasi larutan elektrolit dan *Fracture Toughness* Lapisan Oksida**

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan variasi kuat arus dan konsentrasi larutan elektrolit, maka didapat nilai K_{IC} lapisan oksida pada aluminium 6061 hasil *hard anodizing*. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan elektrolit dan nilai K_{IC} dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Hubungan Antara Konsentrasi larutan elektrolit Dan Kuat arus Terhadap Nilai K_{IC} Aluminium 6061 Hasil *Hard Anodizing*

Variasi konsentrasi larutan elektrolit dan kuat arus mempengaruhi nilai K_{IC} lapisan oksida aluminium 6061 hasil *hard anodizing*. Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan elektrolit maka nilai K_{IC} aluminium 6061 akan semakin meningkat. Pada kuat arus sebesar 2A nilai K_{IC} lapisan oksida lebih tinggi daripada kuat arus sebesar 1A. Nilai terendah terjadi saat kuat arus 1 A dan konsentrasi larutan elektrolit 1 M dengan nilai 30,72 (MPa$\sqrt{m}$)sedangkan nilai tertinggi terjadi saat kuat arus 2 A dan konsentrasi larutan elektrolit 3 M sebesar 36,63 (MPa$\sqrt{m}$).

Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya konsentrasi larutan elektrolit lapisan oksida semakin tebal sehingga spesimen menjadi semakin keras. Nilai K_{IC} lapisan oksida berbanding terbalik dengan panjang c karena semakin rendah panjang c maka semakin tinggi nilai K_{IC} berdasarkan rumus $K_{IC} = A \frac{F}{c^{3/2}}$.

Dengan semakin meningkatnya nilai K_{IC} lapisan oksida menunjukkan batas retak yang merambat juga meningkat, karena K_{IC} adalah sifat material yang menunjukkan kemampuannya untuk menghambat laju perambatan ujung retak. Ketika material menerima tegangan dibawah nilai tegangan kritis maka material tersebut masih

dalam batas aman karena retak tidak akan merambat. Begitu pula sebaliknya, saat material menerima tegangan diatas nilai tegangan kritis maka material merambat lebih cepat.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan konsentrasi larutan elektrolit berbanding lurus dengan nilai kekerasan dan *fracture* toughness lapisan oksida.

Semakin besar konsentrasi larutan elektrolit larutan elektrolit maka nilai kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida meningkat.

1. Kuat arus juga mempengaruhi nilai kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida.
2. Kuat arus 2A mempunyai nilai kekerasan dan *fracture toughness* lapisan oksida lebih tinggi daripada kuat arus 1A.
3. Nilai kekerasan tertinggi yaitu 126,63 HVN pada variasi 2A 3M dan nilai kekerasan terendah yaitu 102,73 HVN pada variasi 1M 1A.
4. Nilai K_{IC} lapisan oksida tertinggi yaitu 36,63 MPa$\sqrt{m}$. pada variasi 2A 3M dan nilai K_{IC} lapisan oksida terendah yaitu 30,72 MPa$\sqrt{m}$ pada variasi 1M 1A.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian untuk menentukan titik optimal larutan elektrolit yang diperlukan agar hasil anodizing baik.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi elektrolit baik jumlah maupun jenisnya.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang *hard anodizing* dengan variasi kuat arus yang berbeda.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

DeGarmo, E. Paul. Dkk. 1998: *Materials And Processes In Manufacturing*

Enrique Rocha-Rangel,2011: *Fracture Toughness Determinations by Means of Indentation Fracture*

Faraday Michael.,1834 : *On Electrical Decomposition*, Philoshopical Transactions of the Royal Society

Gazzapo, Jose L. 1994. *Anodizing of aluminium. European* : European Aluminium Association.

Güdera H.S. dkk, 2011: *Vickers and Knoop Indentation Microhardness Study of SiAlON Ceramic*

Howard, E Boyer 1986: *Selection of Materials for Component Design*

ISO 6507-1. 1997. *Metallic materials Vickers hardness test*

Kenang, Miko Febritito. 2013. *Pengaruh Tegangan Listrik dan Kuat Arus Pada Proses Hard Anodizing Alumunium 6061 Untuk Kosentrasi H3PO4 (2mol) Terhadap Kekasaran dan Porositas Permukaan.* Malang: Universitas Brawijaya

Metalast. 2000. Oxalic Acid Anodizing. Minden : Metalast.

Parthasardhy, N.V ; 1998 : *Practical Electroplating Handbook*, New Jearsy USA:

Prentice-Hall, inc

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

S Silberberg, Martin, 2000: *The Molecular Nature Of Matter And Change*

Sato. 1997. Theories of Anodized Aluminium-100 Q&A. Japan

Sergejev, Fjodor. Dkk. 2006: *Comparative Study On Indentation Fracture Toughness Measurements Of Cemented Carbides*

Setyobudi, Davit. 2013. *Pengaruh Variasi Tegangan Dan Arus Pada Hard Anodizing Aluminium 6061 Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Permukaan Untuk Katoda Titanium Dan Konsentrasi Larutan H_3PO_4 3 Mol***.** Malang: Universitas Brawijaya

Sindoliyems. 2009. *Proses Anodizing*. http://www.flickr.com/photos/27594667@N05/4037820094/ (diakses pada bulan Juni 2013)

Surdia, T. 1999: *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Keempat. Jakarta: PT. Pradnya Paramita

Tripler, P.A. 2001. Fisika Edisi Ketiga. Jakarta : Erlangga

WANG Jian. 2009. *Effect of H_2SO_4 Concentration on the Quality of Hard Anodic Oxidation Film on Aluminum Alloy 6061*. Chengdu: Xihua University.

Wicaksono, Hendro Kukuh. 2007. *Pengaruh Waktu Anodizing Terhadap Ketebalan Lapisan Oksida Pada Proses Anodizing Aluminium 6063.* Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya

Wikipedia. 2012. http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Copper_cathode.png (diakses pada bulan Juni 2013)

Wikipedia. 2012. http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Zinc_anode.png (diakses pada bulan Juni 2013)

ZHAO Jian-hua. 2008. *Technological Optimization of Hard Anodic Oxidation of Aluminum Alloy 6063*. Changzhou: Hohai University.

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 1 Sertifikat Aluminium 6061

M : FAX NO. : Oct. 30 2012 09:58AM P1

KUM-04

INSPECTION CERTIFICATE № 11.9585

EN 10204 - 3.1

Consigner:

Consignee:

Quantity: 29

Net Weight, kg.: 1422

Contract number: V1263-S
PO-KLM-01/170111 part 1

Article number: -

Specification №: V1263
Lot №: 1
Package №: 715210

Description of Goods: Sheet

Grade of Product	Dimensions, inch/mm
-	6.000X1219.2X2438.4

Requirements on the Products:

Material conforms to quality of alloy: 6061 T651

Product conforms to all requirements of:
ASTMB209-07 This product conforms to European Union RoHS Directive 2002/95/EC

Mechanical Properties

The Condition of Tested Standards	Lot Number	Cast Number	Number of Tests	Tensile Strength ksi min	Tensile Strength ksi max	Yield Strength (0,2% offset) ksi min	Yield Strength (0,2% offset) ksi max	Elongation, % min	Elongation, % max	Hardness, HB
Required				-	-	-	-	-	-	-
-	670190	13-6158	5	45.2	48.7	41.0	42.5	12.0	14.0	-

Chemical Composition, %

Element	Silicon Si	Iron Fe	Copper Cu	Manganese Mn	Magnesium Mg	Chromium Cr	Nickel Ni	Zinc Zn	Titanium Ti	Zirconium Zr
Required	0.4-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	-	0.25	0.15	-
Contents	0.68	0.22	0.21	0.08	1.01	0.05	-	0.06	0.08	-

Element	Ti+Zr	Fe	Tin Sn	Bismuth Bi	Plumbum Pb	Mn+Cr	Cd	Other Elements Each	Other Elements Total	Al
Required	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.15	remainder
Contents	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.15	remainder

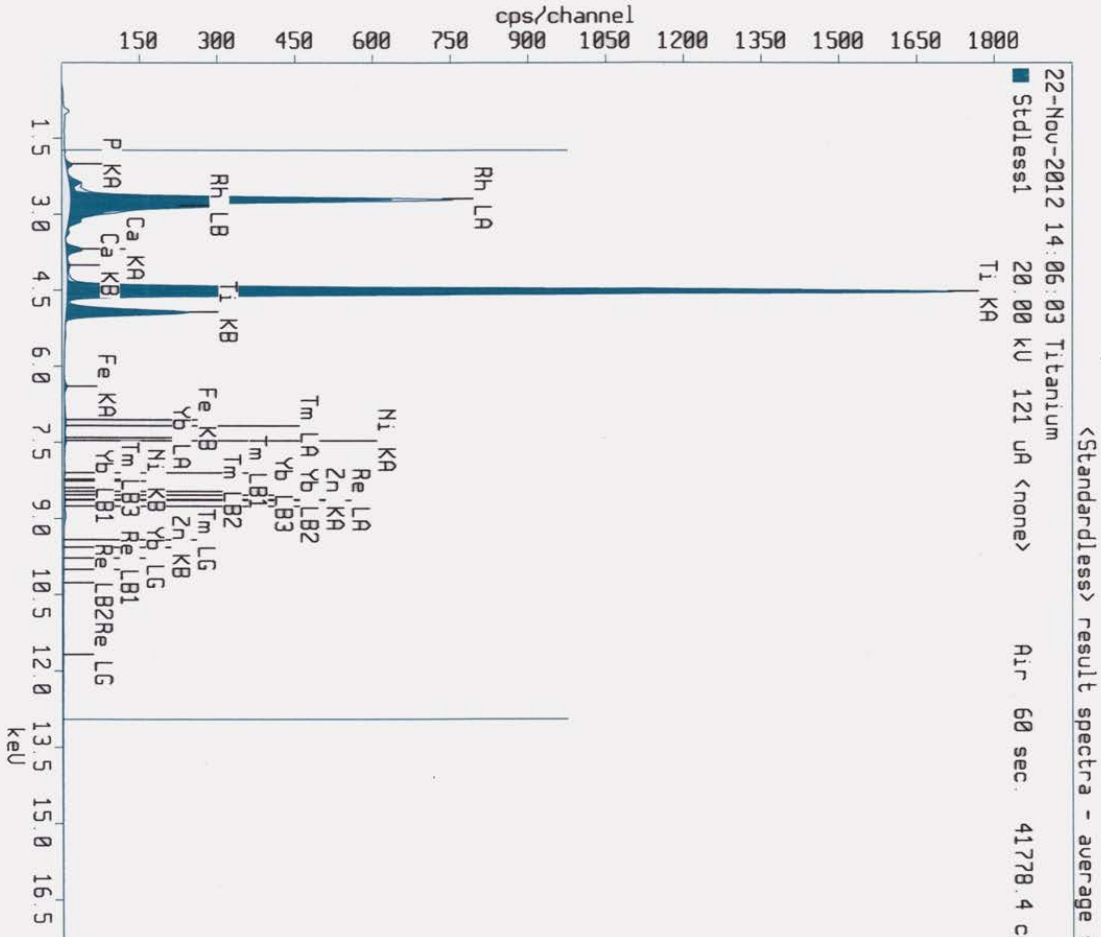
Other Tests

Method	Macro-structure	Micro-structure	USI	Electro-conductivity	SCF	Contents H2 of metals cm3/100gr
Result	-	-	-	-	-	-

Sample results - Averages

Sample ident
Titanium

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	22-Nov-2012 13:53:14
Measurement period - end	22-Nov-2012 14:06:03
Position	1

Compound	P	Ca	Ti	Fe	Ni	Zn	Tm
Conc	2.6 +/- 0.8	2.43 +/- 0.84	92.2 +/- 2.4	0.54 +/- 0.12	0.29 +/- 0.09	0.14 +/- 0.05	0.90 +/- 0.25
Unit	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Yb	Re
Conc	0.9 +/- 0.6	0.3 +/- 0.04
Unit	%	%