

**PENGARUH KONSENTRASI ELEKTROLIT DAN WAKTU ANODISASI TERHADAP KETAHANAN AUS, KEKERASAN SERTA KETEBALAN LAPISAN OKSIDA PADUAN ALUMINIUM PADA MATERIAL PISTON**

**Bambang Wahyu Sidharta<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 7 April 2014, revisi masuk : 15 Juli 2014, diterima: 24 Juli 2014

**ABSTRACT**

*Aluminum alloys used in the manufacture of automotive parts, such as piston, wherein the component is fast moving parts, which would have to meet certain physical and mechanical properties such as wear resistance and hardness. To improve the physical and mechanical properties such as wear resistance and hardness in aluminum alloy, then the anodizing process was chosen, because this process will increase the hardness and wear resistance of the metal. The increasing of hardness and wear of the aluminum alloy is due to the aluminum oxide layer formed on the anodizing process. The purpose of this study was to determine the effect of electrolyte concentration and time of anodizing process against hardness and wear resistance, as well as the thickness of the oxide film on aluminum alloy as the piston material. The process of anodizing of aluminum alloys performed at different electrolyte concentrations, i.e. 15, 20 and 25% vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sulfuric acid) with the addition of 6% wt. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (oxalic acid) at each concentration of sulfuric acid. The length of the anodizing time for each electrolyte concentration of 3, 5 and 7 minutes, while the electric voltage used is 24 volts. From this research, the best results obtained by anodizing using electrolyte 15% vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 6% wt. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> for 7-minute process that increase the material hardness from 115 to 190 VHN; and the best specific wear (W<sub>s</sub>) 7.15 x 10<sup>-5</sup> mm<sup>2</sup>/kg and the thickest oxide layer 83.81 μm.*

**Keywords:** aluminum alloy, anodizing, the wear rate, anodizing time

**INTISARI**

Paduan aluminium digunakan dalam pembuatan komponen otomotif, diantaranya piston, dimana komponen ini merupakan komponen yang bergerak, yang tentunya harus memenuhi sifat fisis dan mekanis tertentu seperti ketahanan aus dan kekerasan. Untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis seperti ketahanan aus dan kekerasan pada paduan aluminium, maka dilakukan proses *anodizing*. Proses ini akan meningkatkan kekerasan paduan aluminium sehingga ketahanan aus dari logam ini juga akan meningkat. Peningkatan kekerasan serta keausan pada paduan aluminium ini terjadi karena adanya lapisan oksida aluminium yang terbentuk pada proses *anodizing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi elektrolit dan waktu proses *anodizing* terhadap kekerasan, keausan serta ketebalan lapisan oksida pada paduan aluminium sebagai material piston. Proses *anodizing* paduan aluminium dilakukan pada konsentrasi elektrolit yang berbeda, yaitu 15, 20 dan 25% vol. asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan penambahan 6% wt. asam oksalat H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pada setiap konsentrasi asam sulfat. Lamanya proses *anodizing* untuk setiap konsentrasi elektrolit sebesar 3, 5 dan 7 menit, sedangkan tegangan listrik (voltase) yang digunakan adalah 24 volt. Dari penelitian ini didapatkan hasil yang cukup signifikan, dimana hasil *anodizing* yang terbaik didapatkan dengan menggunakan elektrolit 15% vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 6% wt. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan waktu proses selama 7 menit yang menghasilkan perubahan kekerasan material dari 115 VHN menjadi 190 VHN; nilai keausan spesifik (W<sub>s</sub>) terbaik sebesar 7,15 x 10<sup>-5</sup> mm<sup>2</sup>/kg serta ketebalan lapisan oksida tertinggi 83,81 μm.

**Kata kunci :** paduan aluminium, *anodizing*, laju keausan, waktu *anodizing*

---

<sup>1</sup> [bwahvusidharta@vahoo.co.id](mailto:bwahvusidharta@vahoo.co.id)

## PENDAHULUAN

Salah satu perbaikan dan penyempurnaan pada suatu produk adalah dengan proses *anodizing*. Dengan ini proses *anodizing* akan diperoleh suatu material seperti material baru yang mempunyai sifat yang lebih baik, misal: meningkatnya ketahanan aus, meningkatnya ketahanan panas, meningkatnya kekerasan, meningkatnya ketahanan korosi. Disamping memperbaiki sifat material suatu produk, proses *anodizing* ini juga memperindah tampilan suatu produk.

Logam aluminium sudah digunakan pada komponen-komponen otomotif, diantaranya piston, dimana komponen ini merupakan komponen yang bergerak, yang tentunya harus memenuhi sifat fisis dan mekanis tertentu seperti ketahanan aus, ketahanan panas dan kekerasan. Logam aluminium dipilih karena mempunyai sifat yang baik antara lain: ringan, kekuatan tinggi dan ulet, mudah difabrikasi, mampu bentuk serta ketahanan korosi yang baik. Sehingga dari sifat-sifat tersebut aluminium mempunyai variasi sifat mekanik dan fisis yang baik, tapi masih perlu ditingkatkan.

Tujuan piston dalam sebuah silinder mesin adalah: Pertama, mengubah volume dari isi silinder, perubahan volume ini diakibatkan karena piston bergerak dari satu ujung silinder ke ujung silinder yang lain. Piston menerima tekanan dari fluida dan tekanan tersebut bila dikalikan luas penampang silinder, menjadi gaya (*linear*). Kedua, membuka atau menutup saluran gas yang ada di dinding silinder. Ketiga, Kombinasi dari kedua hal di atas.



Gambar 1. Piston 4-langkah

Dengan fungsi tersebut, maka piston harus terpasang dengan rapat dalam silinder. Untuk itu perlu satu atau beberapa *ring* (cincin) dipasang pada piston agar lebih rapat dengan silinder untuk mengurangi atau meniadakan kebocoran. Pada silinder dengan temperatur kerja menengah ke atas, bahan ring terbuat dari logam, disebut dengan ring piston (*piston ring*). Sedangkan pada silinder dengan temperatur kerja rendah, umumnya bahan ring terbuat dari karet, disebut dengan ring sil (*seal ring*).

Piston pada mesin juga dikenal dengan istilah torak. Torak berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima tekanan atau gaya hasil pembakaran dalam ruang bakar. Piston terhubung ke poros engkol (*crankshaft*) melalui setang piston (*connecting rod*). Di bawah ini adalah gambar dari piston untuk mesin 4 langkah :

Proses *anodizing* merupakan salah satu proses perlakuan permukaan yang dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat dari suatu logam induk (*substrate*) diantaranya adalah ketahanan terhadap keausan, meningkatkan kekerasan serta bertujuan untuk memperindah penampilan (*decorative*) dari *substrate* itu sendiri, dimana biaya yang diperlukan pada proses *anodizing* ini relatif murah. Dalam penelitian ini proses *anodizing* dilakukan pada logam aluminium yang digunakan sebagai bahan pembuatan komponen otomotif, khususnya piston mesin sepeda motor 4-langkah. Proses ini dipilih karena kebutuhan atau permintaan dan berdasarkan literatur yang ada anodisasi ini mampu meningkatkan ketahanan aus serta ketahanan panas. Dalam aplikasinya material piston tersebut membutuhkan sifat yang tahan terhadap keausan dan ketahanan panas karena beroperasi dengan tingkat gesekan yang tinggi yang pasti rentan terhadap keausan, disamping kebutuhan akan suatu penampilan yang menarik agar pembeli tertarik.

Dalam percobaan *anodizing* aluminium ini yang menggunakan Pb sebagai katodanya, dengan larutan elektrolit campuran: asam sulfat  $H_2SO_4$  dan asam oksalat  $H_2C_2O_4$  dengan perbandingan berat 6%. Dengan mengubah konsen-

trasi larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> serta waktu *anodizing* kita dapat mengetahui pengaruh variabel-variabel tersebut dalam membentuk lapisan oksida pada permukaan substrat. Pada percobaan ini tegangan yang digunakan adalah 24volt, dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 15, 20 dan 25 % volume dan dengan waktu selama 3, 5 dan 7 menit.

## METODE

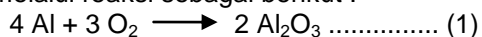
Batasan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut : Satu, spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah piston sepeda motor 4-langkah yang bukan produk OEM (*Original Equipment Manufacturer*) atau dengan perkataan lain merupakan piston produk imitasi. Produk OEM dibeli untuk digunakan sebagai pembanding.

Dua, konsentrasi campuran elektrolit asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan asam oksalat H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, antara 15, 20 dan 25 % volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> serta satu macam konsentrasi asam oksalat, yaitu 6 % wt H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, dengan waktu proses anodisasi 3, 5 dan 7 menit.

Tiga, pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kekerasan, uji keausan dan pengukuran ketebalan lapisan oksida.

Aluminium memperlihatkan ketahanannya terhadap korosi dengan sangat baik dan penggunaannya sebagai salah satu logam komersial utama untuk membentuk lapisan oksida penghalang yang terikat kuat pada permukaannya. Apabila lapisan tersebut rusak, maka akan terbentuk kembali secara langsung di lingkungan manapun. Pada permukaan aluminium yang terabrasi dan terekspos oleh udara, ketebalan lapisan oksida hanya sekitar 1 nm, namun demikian, lapisan tersebut masih sangat efektif melindungi aluminium dari korosi.

Logam aluminium mempunyai nilai elektropositif yang cukup tinggi, sehingga ia akan dapat mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan oksida yang tipis pada permukaannya melalui reaksi sebagai berikut :



Pada umumnya, komponen otomotif dalam hal ini piston yang dibuat di negeri ini menggunakan bahan baku dari

paduan aluminium ADC12 (*Aluminium Die Casting* dengan kadar Si maksimum 12%), yaitu suatu paduan antara Al-Si-Cu-Mg-Zn serta unsur lainnya seperti terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi kimia paduan aluminium ADC12 (JIS H5302)

Si	Cu	Mg Max.	Zn Max.	Mn Max.	Fe Max.	Ni Max.
9,6 s/d 12,0	1,5 s/d 3,5	0,3	1	0,5	0,9	0,5

Lapisan oksida ini memiliki ketebalan antara 0,1 – 0,4 x 10<sup>-6</sup> inci sampai dengan 0,25 – 1 x 10<sup>-2</sup> mikron. Lapisan ini akan tetap stabil pada kondisi pH antara 4,5 sampai 7 sebagaimana ditunjukkan pada diagram Pourbaix (Gambar 2). Lapisan oksida tersebut juga meningkatkan sifat ketahanan korosi dari aluminium karena lapisan ini berfungsi sebagai lapisan protektif yang menghalangi oksigen bereaksi lebih lanjut dengan aluminium.

Lapisan oksida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dihasilkan dari proses kimia dan elektrokimia, sehingga dengan proses tersebut akan dihasilkan lapisan oksida dengan ketebalan mencapai 500 kalinya. Anodisasi merupakan proses konversi lapisan permukaan aluminium menjadi lapisan aluminium oksida yang memiliki porositas (berpori). Sifat lapisan itu sendiri adalah *inert*, persenyawaan yang stabil dan sebagai lapisan sifat tersebut akan mempengaruhi kestabilan permukaan aluminium. Lapisan aluminium oksida ini sendiri memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan logam induknya, nilai kekerasan ini berhubungan dengan ketahanan terhadap abrasi yang sangat dibutuhkan pada komponen dengan kinerja yang tinggi.

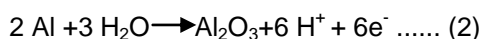
Karena sebagian besar pabrikan piston yang ada di Indonesia merupakan relokasi pabrik komponen otomotif yang ada di Jepang, maka mereka banyak menggunakan bahan baku yang berasal dari Jepang (dengan sebagian kecil pasokan dari dalam negeri) dimana standar yang digunakan berdasarkan JIS (*Japan Industrial Standard*) H5302. Adapun padanan spesifikasi paduan

aluminium JIS H5302 dengan standar-standar lainnya (berdasarkan standar *North American Die Casting Association*) adalah paduan aluminium 383.

Paduan aluminium 383 atau ADC12 akan memperbaiki ketahanan terhadap retak panas (*hot cracking*) yaitu kekuatan pada temperatur tinggi, hal ini sesuai dengan karakteristik komponen piston yang bekerja pada temperatur tinggi. Selain itu, untuk mencegah korosi lingkungan pada paduan aluminium ini, dapat dicapai dengan pengecatan, anodisasi, *chromating* dan *iridite coatings*.

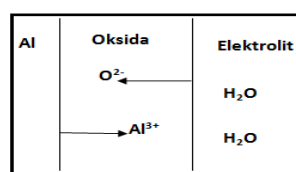
Anodisasi aluminium adalah metode elektrokimia untuk mengubah aluminium menjadi oksida aluminium ( $Al_2O_3$ ) pada permukaan yang akan dilapisi. Hal ini dapat dicapai dengan membuat benda kerja sebagai anoda yang kemudian dicelupkan dalam sel elektrolit yang sesuai. Walaupun sebagian logam dapat dianodisasi, termasuk aluminium, titanium dan magnesium, tetapi hanya aluminium yang banyak digunakan dalam industri anodisasi (ASM Handbook vol.2, 1980).

Mekanisme dari proses anodisasi merupakan pembentukan lapisan oksida, yang membuat proses ini mirip dengan proses mekanisme korosi pada logam. Dapat dilihat pada diagram Pourbaix aluminium bahwa pada pH dan potensial tertentu dari logam aluminium mampu teroksidasi menjadi bentuk ion sehingga logam ini dapat berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Reaksi pembentukan lapisan oksida pada aluminium adalah :



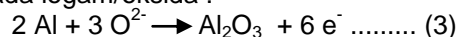
Logam aluminium pada sel anodisasi diposisikan sebagai anoda sehingga pada akhirnya logam inilah yang akan teroksidasi. Katoda yang digunakan adalah elektroda *inert*. Katoda dan anoda dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang bersifat asam maupun basa, hal ini dimaksudkan agar pH aluminium berada pada daerah yang rentan terhadap proses oksidasi. Agar terjadi aliran arus pada sel percobaan, maka katoda dan anoda dihubungkan

pada sumber arus searah (DC) yaitu *rectifier*, dimana aluminium dihubungkan dengan kutub positif dan katoda berupa elektroda *inert* dihubungkan pada kutub negatif. Pada saat *rectifier* diaktifkan, maka arus akan mengalir dari kutub positif dan hal ini akan menyebabkan terjadinya pelepasan elektron pada aluminium, yang menyebabkan aluminium teroksidasi dan berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Ilustrasi terjadinya lapisan oksida dapat dilihat pada Gambar 3.

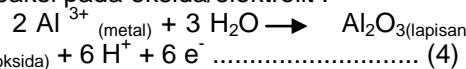


Gambar 3 Ilustrasi transpor ion ke lapisan oksida

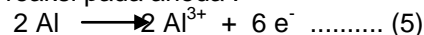
Reaksi yang terjadi pada anoda : Reaksi pada logam/oksida :



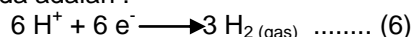
Reaksi pada oksida/elektrolit :



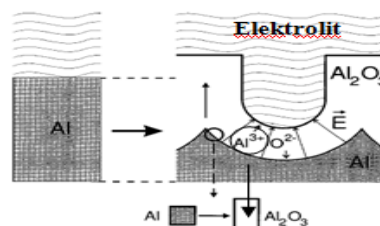
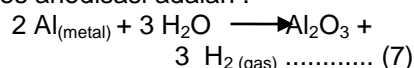
Total reaksi pada anoda :



Sedangkan reaksi yang terjadi pada katoda adalah :



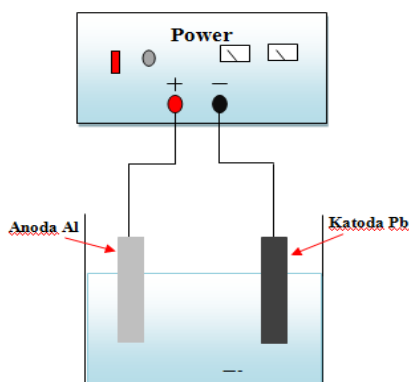
Sehingga total reaksi yang terjadi pada proses anodisasi adalah :



Gambar 4 Skema pembentukan lapisan oksida pada permukaan aluminium (<http://ecs.skku.ac.kr/research/nanowire/>)

Berdasarkan spesifikasi dari MIL-A-8625, anodisasi dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan larutan yang dipakai, yaitu :

Tipe I . Menggunakan asam kromat  $\text{CrO}_3$  sebagai elektrolit, akan menghasilkan lapisan oksida yang relatif tipis, fleksibel serta ketahanan terhadap korosi yang baik. Konsentrasi dari asam kromat yang digunakan berkisar antara 2% hingga 15%.



Gambar 5 Rangkaian sel anodisasi

Tipe II. Menggunakan asam sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebagai elektrolit, akan menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal dan relatif lebih baik dibandingkan dengan tipe I. Konsentrasi larutan yang digunakan antara 8 – 35% berat.

Tipe III. Tipe ini juga menggunakan asam sulfat sebagai elektrolitnya, hanya saja temperaturnya lebih rendah antara  $-5$  hingga  $+10^\circ\text{C}$ , dengan konsentrasi larutan yang digunakan antara 15 – 35% berat. Tipe ini juga dikenal sebagai *hard anodizing*. Lapisan oksida yang dihasilkan relatif lebih tebal dan lebih baik dibandingkan dengan tipe I dan tipe II, sehingga ketahanan korosi dan ketahanan ausnya juga lebih baik.

Selain ketiga tipe anodisasi di atas, juga ada anodisasi yang menggunakan elektrolit campuran yaitu antara asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan asam oksalat ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), yang banyak digunakan untuk mendapatkan hasil lapisan oksida yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan asam sulfat sebagai elektrolit (LeBlanc, R). Metode ini menggunakan asam sulfat 15 – 20% serta penambahan asam oksalat lebih kurang 10% sebagai elektrolitnya. Temperatur operasi yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan tipe II, yaitu antara  $20 - 25^\circ\text{C}$ . Metode ini juga

menggunakan tegangan listrik yang lebih besar yaitu antara 20 – 25 volt (Aluminium Handbook 2, 2003 dan <http://surtec.com.pdf>), sedangkan rapat arus yang dipakai antara  $1-2 \text{ A/dm}^2$ .

Proses anodisasi mempunyai tujuan, antara lain (Aluminium Handbook 2, 2003 dan ASM Handbook vol. 13, 1987) : Satu, meningkatkan ketahanan korosi dari proses anodisasi, lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam lebih tahan terhadap serangan korosi dalam lingkungan air garam serta atmosfer. Lapisan oksida yang terbentuk akan melindungi logam dibawahnya dengan bertindak sebagai penghalang (barrier) dari serangan lingkungan yang lebih korosif.

Dua, meningkatkan sifat adhesive lapisan tipis oksida yang dihasilkan dari anodisasi menggunakan asam fosfat dan kromat dapat meningkatkan kekuatan ikatan dan ketangguhan, biasanya digunakan pada industri penerbangan.

Tiga, meningkatkan ketahanan aus (*wear resistant*)/durability proses *hard anodizing* dapat menghasilkan lapisan oksida dengan ketebalan 25 – 100 mikron. Lapisan tersebut, dengan kekerasan inheren aluminium oksida yang cukup tebal dapat digunakan untuk aplikasi di bawah kondisi ketahanan abrasi. Lapisan oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ini memiliki kekerasan yang tinggi (sebanding dengan *sapphire*) atau paling keras setelah intan.

Empat, isolator listrik lapisan oksida memiliki resistivitas yang tinggi khususnya lapisan oksida yang porinya tertutup.

Lima, dapat melekat pada *plating* berikutnya pori dari lapisan anodik oksida dapat mendukung proses *electroplating*, biasanya asam yang digunakan sebagai elektrolit pada proses ini adalah asam fosfat.

Enam, aplikasi dekorasi/tampilan pada permukaan logam, lapisan oksida yang terbentuk memiliki tampilan yang mengkilap, dimana pada aluminium tampilan oksida yang alami sangat diinginkan. Selain itu, lapisan oksida yang terbentuk dapat diberi warna dengan cara atau metode lain. Pewarnaan orga-

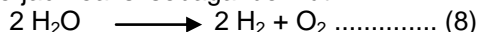
nik akan diserap pada lapisan pori untuk menghasilkan warna tertentu, dan pigmen yang mengendap di dalam pori akan menghasilkan warna yang stabil.

Tujuh, ketahanan panas/*heat resistance* oksida aluminium tahan temperatur tinggi. Ketahanan panas dari komponen yang dianodisasi hanya terbatas pada temperatur lebur dari aluminiumnya sendiri atau kekuatan mekanik pada temperatur tinggi.

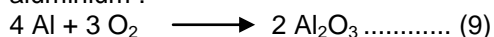
*Delapan, toxicity* aluminium yang dianodisasi secara umum dikenal sebagai material yang aman untuk aplikasi medis dan juga untuk makanan serta minuman.

Lapisan oksida hasil proses anodisasi mempunyai struktur yang berbeda dengan lapisan oksida yang terbentuk secara alami, dimana lapisannya memiliki struktur pilar hexagonal berpori yang memiliki karakteristik yang unik sehingga meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium.

Ketika komponen yang akan dianodisasi dicelupkan ke dalam elektrolit asam sulfat dengan arus DC, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Oksigen yang dihasilkan di luar komponen yang dianodisasi akan bereaksi dengan permukaan aluminium yang reaktif membentuk oksida aluminium :



Pada awal ketika arus dialirkan ke elektrolit, maka akan terbentuk *non-porous dielectric undercoating* yang tipis, dikenal sebagai lapisan dasar (*barrier layer*). Lapisan ini akan tumbuh secara proporsional dengan tegangan yang diberikan hingga mencapai ketebalan sekitar 0,02  $\mu\text{m}$ . Lapisan ini mempunyai resistansi elektrik yang sangat ekstrim. Pada tegangan anodisasi 12 – 20 volt, dengan tegangan yang konstan maka rapat arus secara teoritis akan turun secara cepat, dan pertumbuhan lapisan akan terhenti. Dengan adanya pemanasan karena energi listrik dan kemampuan elektrolit yang digunakan untuk menyerap lapisan, maka akan menyerang titik paling lemah dari kisi

kristal dan pori-pori akan tercipta membentuk struktur *honeycomb* dari oksida aluminium (Alwitt, R.S. 2009).

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang dianodisasi tergantung dari jenis larutan yang digunakan sebagai elektrolit, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan mempunyai struktur yang porous atau berpori berstruktur hexagonal, dengan pori di tengahnya.

Pada permukaan lapisan oksida yang terbentuk dalam proses anodisasi, terdapat jutaan sel per  $\text{cm}^2$ , dimana ukurannya merupakan fungsi dari tegangan proses tersebut (Lowenheim, F.A., 1978). Ukuran pori dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis elektrolit, temperatur serta hubungan antara tegangan dan arus yang dipakai. Struktur dari lapisan oksida yang terbentuk pada *anodizing* yang menggunakan asam fosfat, asam sulfat, asam kromat dan asam oksalat sebagai elektrolitnya, hanya berbeda pada ukuran pori dan selnya.

Secara umum lapisan oksida hasil dari proses anodisasi memiliki karakteristik sebagai berikut : Satu, keras, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) memiliki kekerasan sebanding dengan *sapphire*. Dua, insulatif dan tahan terhadap beban. Tiga, transparan. Empat, tidak ada serpihan (*flake*) pada permukaannya

Lapisan oksida yang terbentuk dari proses ini akan meningkatkan ketahanan abrasif, kemampuan insulator elektrik logam, serta kemampuan untuk menyerap zat pewarna (*dye stuff*) untuk menghasilkan variasi tampilan warna pada permukaan hasil anodisasi. Aluminium serta paduan-paduannya mempunyai sifat tahan terhadap korosi atmosferik karena adanya lapisan oksida protektif yang dengan cepat terbentuk ketika logam aluminium terekspos dengan udara.

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang dianodisasi tergantung dari jenis larutan yang digunakan sebagai elektrolit, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan

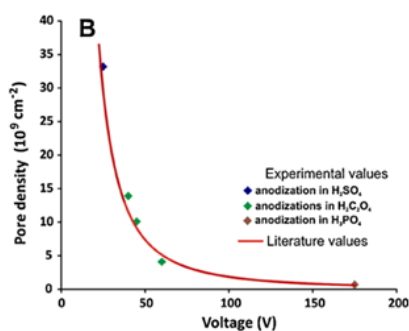
lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan mempunyai struktur yang porous atau berpori berstruktur hexagonal, dengan pori di tengahnya.

Lapisan dasar merupakan lapisan yang tipis dan padat, yang berfungsi sebagai lapisan pori dan logam dasar (*base metal*). Lapisan tersebut memiliki sifat yang melindungi dari korosi lebih lanjut dan tahan terhadap arus listrik. Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dan pelarutan lapisan oksida. Pada awalnya lapisan pori yang terbentuk mempunyai bentuk silinder yang memanjang namun karena lapisan ini kemudian bersinggungan dengan oksida-oksida lainnya yang berada disisi-sisinya, maka lapisan oksida tersebut bertransformasi menjadi bentuk saluran heksagonal yang memanjang (Sheasby dan Pinner, 2001).

Ketebalan lapisan film hasil proses anodisasi akan bertambah sejalan dengan waktu yang digunakan. Akan tetapi, laju pertambahan ketebalan lapisan oksida karena proses anodisasi juga tergantung dari beberapa faktor seperti konsentrasi, temperatur, tegangan dan rapat arus serta jenis paduan logam.

Pertama, Konsentrasi Elektrolit pada umumnya, larutan elektrolit yang digunakan pada proses anodisasi adalah asam kromat dan asam sulfat. Akan

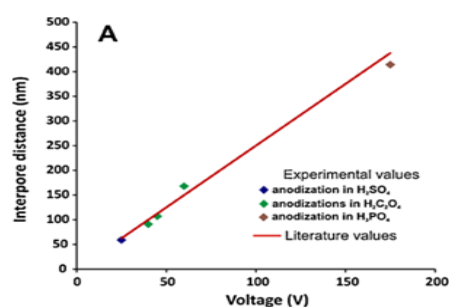
Gambar 6A Pengaruh tegangan pada anodisasi, pengaruh tegangan pada jarak antar pori



Gambar 6 B Pengaruh tegangan pada anodisasi, pengaruh tegangan pada kerapatan pori (<http://www.springerimages.com/Images/Chemistry/>)

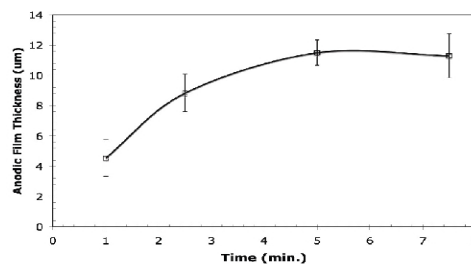
tetapi, selain ke dua asam di atas, asam oksalat dan asam fosfat juga dapat digunakan untuk proses anodisasi. Peningkatan konsentrasi dalam hubungannya dengan karakteristik lapisan, mempengaruhi kehilangan logam (*metal loss*) yang terjadi pada proses anodisasi. Peningkatan konsentrasi yang berlebih akan mengakibatkan terjadinya pelarutan lapisan film, untuk itu diperlukan komposisi konsentrasi larutan elektrolit yang tepat untuk mendapatkan lapisan film yang optimal.

Kedua, Efek tegangan pada proses anodisasi dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan yang dipakai pada proses anodisasi maka jarak antar pori semakin besar (Gambar 6 A), akan tetapi semakin besar tegangan yang digunakan pada proses anodisasi, maka kerapatan pori akan berkurang (Gambar 6 B).



Gambar 6 A Pengaruh tegangan pada anodisasi, pengaruh tegangan pada jarak antar pori.

Ketiga, Efek waktu pada proses anodisasi dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu proses anodisasi yang digunakan, maka semakin tebal lapisan anodik yang terbentuk.

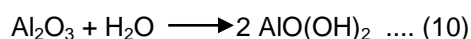


Gambar 7 Pengaruh waktu anodisasi pada ketebalan lapisan anodik (<http://www.pfonline.com/articles/>)

Berdasarkan *European Standard EN 12373-Part 1:2001*, *sealing* didefinisikan sebagai perlakuan pada lapisan oksidasi anodik aluminium, mengurangi porositas dan kapasitas absorpsi dari lapisan dengan menggunakan proses *hydrothermal* setelah proses anodisasi selesai dilakukan (Sheasby dan Pinner, 2001).

Ada dua jenis proses *sealing* yang berbeda, ditambah kombinasi dari dua jenis proses *sealing* yaitu : Satu, *sealing* dengan air panas (*hot water sealing*). Dua proses *sealing* dingin (*cold sealing process*). Tiga, kombinasi a dan b (*cold and hot water sealing*). Empat, *sealing* dengan air panas (*hot water sealing*)

Selama proses *sealing*, lapisan aluminium oksida akan terhidrasi. Oksida akan berubah menjadi  $\text{AlOOH}$ . Karena perubahan semakin bertambah, maka pori akan tertutup, dimana efek ini yang diharapkan. Selanjutnya lapisan oksida tidak akan mampu mengadsorb *dyes*. Reaksi yang terjadi tidak hanya di pori, juga terjadi pada permukaan lapisan oksida. Temperatur yang digunakan pada proses ini adalah antara  $96 - 98^{\circ}\text{C}$ . Pada komponen tidak akan terjadi akumulasi residu kering pada permukaannya dan dapat segera di kemas setelah komponen kering. Ginsberg dan Wefers meneliti pembentukan kristal berbentuk jarum dengan menggunakan mikroskop elek-tron. Kristal-kristal terlihat seperti serat yang tumbuh secara normal dan terdiri dari  $\gamma\text{-AlOOH}$ . Setelah beberapa lama kristal-kristal akan membentuk lapisan koheren dimana arah pertumbuhan menuju ke dalam permukaan. Pembentukan *boehmite* dalam *sealing* air panas adalah sebagai berikut :



Proses *sealing* dingin (*cold sealing process*), Dalam proses ini larutan mengandung ion-ion nikel dan fluor, dimana ion-ion ini bersama dengan aluminium akan membentuk senyawa yang kompleks. Waktu yang digunakan dalam proses adalah  $0,8-1,2$  menit/ $\mu\text{m}$  dan temperatur yang dipakai antara  $26-30^{\circ}\text{C}$ . Kelebihan dari proses ini adalah

komponen aluminium mempunyai sifat kekerasan serta anti korosif yang baik. Kualitas yang diharapkan dapat dicapai setelah penyimpanan 48 jam.

Kombinasi a dan b (*cold and hot water sealing*), dalam proses *sealing* kombinasi a dan b, langkah pertama adalah "*cold sealing*" terlebih dahulu, dilanjutkan dengan *rinsing* dua kali, dan diakhiri dengan "*hot water sealing*".

Kelebihan dari proses kombinasi ini adalah : 1. Kualitas *sealing* langsung dapat diperiksa setelah proses selesai. 2. Waktu *sealing* yang lebih singkat dibandingkan bila hanya menggunakan proses *hot water sealing*, sebagai contoh adalah 10 menit proses *cold sealing* dan kemudian 10 menit lagi untuk proses *hot water sealing* sehingga terbentuk *seal* yang diinginkan. 3. Mencegah pembentukan retak pada lapisan oksida, dimana hal ini akan terbentuk selama proses *cold sealing* sebagai proses dasar, jika fluktuasi temperatur sangat besar.

## PEMBAHASAN

Pengujian kekerasan bahan bertujuan untuk menentukan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis apabila bahan tersebut diberi beban dari luar. Pengujian kekerasan bahan pada penelitian ini menggunakan metode indentasi mikro Vickers, dimana pada permukaan material diberi beban sebesar 10 gram. Indentor berbentuk piramida intan dengan sudut antara permukaan berlawanan  $136^{\circ}$ .

Nilai kekerasan Vickers dapat dinyatakan dengan rumus (ASM Metals Handbook vol. 8) :

$$\text{VHN} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

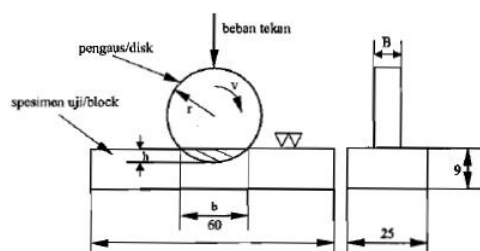
dimana: P=beban terpasang (gram)  
d=diagonal bekas injakan penetrator ( $\mu\text{m}$ )



Gambar 8 Alat uji *micro hardness tester*



Prinsip pengujian keausan dilakukan dengan cara menggesekkan piringan berputar terhadap spesimen. Spesimen untuk uji keausan berbentuk pelat dengan ukuran 30 x 20 x 4 mm. Pengujian keausan dilakukan dengan mesin uji *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine* tipe OAT-U. Pengujian keausan mengacu pada metode Reiken Ogoshi dengan lebar piringan pengaus 3 mm, jari-jari pengaus 14,4 mm, beban tekan pada pengaus 2,21 kg, jarak tempuh selama proses pengausan 100 mm, dengan waktu pengausan 41,4 detik. Lebar keausan pada permukaan spesimen diukur dengan bantuan mikroskop optik.



Gambar 9 Prinsip pengausan *disk on block*

Laju keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan/pengurangan material (massa, volume atau ketebalan) tiap satuan panjang luncuran atau satuan waktu (Malau dan Khasani, 2008). Prinsip pengausan spesimen dengan *disk on block* dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Laju keausan dinyatakan dengan

$$W = \frac{V_i - V_f}{t} = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (11)$$

dimana:  $V_i$ = volume awal spesimen ( $\text{mm}^3$ ),  $V_f$ = volume akhir spesimen setelah pengausan ( $\text{mm}^3$ ),  $t$  = waktu atau lama pengausan (menit),  $V$  = volume gerusan yang hilang ( $\text{mm}^3$ ).

Volume gerusan hilang ( $V$ ) pada spesimen uji (*block*) ditentukan dengan persamaan 12.

$$V = B \left[ r^2 \sin^{-1} \left( \frac{b}{2r} \right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right] \dots\dots(12)$$

dimana  $B$  = tebal disk (mm),  $r$  = radius *disk* (mm) dan  $b$  = lebar keausan yang diperoleh dari pengamatan melalui mikroskop pada bekas gerusan atau alur.



Gambar 10 Alat uji keausan *disk on block*

Keausan dapat juga diungkapkan dengan keausan spesifik. Keausan spesifik dihitung berdasarkan lebar keausan benda uji yang termakan oleh pengaus yang berputar. Keausan spesifik ( $W_s$  dalam  $\text{mm}^2/\text{kg}$ ) dinyatakan dengan

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot l_0} \dots\dots\dots (13)$$

dimana:  $B$ = lebar disk (piringan) pengaus (mm),  $b$ = lebar keausan pada benda uji (mm),  $r$ = radius piringan pengaus (mm),  $P_0$ = beban tekan pada saat pengausan (kg) dan  $l_0$ = jarak tempuh dari proses pengausan (mm).

Tabel 2 Hasil uji komposisi paduan aluminium bahan piston

Si	C	Mg	Zn	Mn	Fe	Ni	Sn
12,	1,	<0,	0,03	0,02	0,7	0,02	<0,
5	3	05	16	38	40	95	05

Tabel 3 Komposisi kimia paduan aluminium ADC12 (JIS H5302)

Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Fe	Ni	Sn
		Ma	Max.	Ma	Ma	Ma	Ma
9,6	1,5	x.		x.	x.	x.	x.
-	-	0,3	1,0	0,5	0,9	0,5	0,2
12,	3,5						

Pengukuran ketebalan lapisan oksida pada permukaan spesimen didapatkan dengan mengukur ketebalan

lapisan yang dilakukan dengan menggunakan alat uji FE\_SEM (*Field Emission Scanning Electron Microscopy*), dengan merk FEI model Inspect F50. Dari pengujian komposisi terhadap material piston didapatkan hasil seperti yang ada pada Tabel 2.

Bila dibandingkan dengan komposisi paduan aluminium ADC12, maka komposisi Si paduan aluminium bahan piston melebihi standar JIS H5302, begitu pula dengan kadar Cu yang berada di bawah standar JIS H5302.

Pengujian kekerasan bahan pada penelitian ini menggunakan metode indentasi mikro Vickers, dimana pada permukaan material diberi beban sebesar 50 gram. Indentor berbentuk piramida intan dengan sudut antara permukaan berlawanan  $136^\circ$ .

Nilai kekerasan Vickers dapat dinyatakan dengan rumus (ASM Metals Handbook vol. 8) :

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2} \dots \dots (14)$$

dimana: P = beban terpasang (gram)  
d = diagonal bekas injakan penetrator ( $\mu m$ )

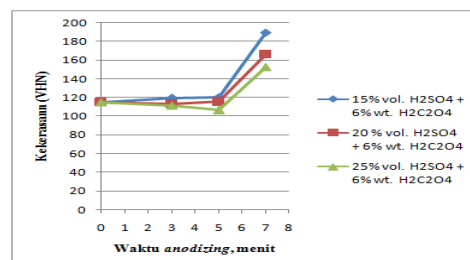
Dari hasil uji kekerasan pada material piston OEM (*Original Equipment Manufacturer*) didapatkan hasil VHN rata-rata sebesar 105,8277, sedangkan hasil uji kekerasan pada material sebelum dilakukan proses anodisasi VHN rata-rata adalah 115,1908.

Dari data-data hasil uji kekerasan didapatkan tabel 6 , yaitu tabel uji kekerasan dari proses anodisasi menggunakan 3 (tiga) jenis elektrolit yang berbeda. Pada Grafik 1 merupakan grafik antara kekerasan VHN dengan waktu *anodizing*.

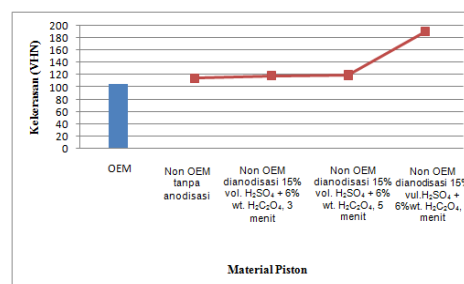
Pada Grafik 1 terlihat bahwa nilai kekerasan material yang terbaik setelah proses *anodizing* adalah pada material yang dianodisasi menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ , dengan waktu proses 7 menit.

Sedangkan grafik 2 merupakan grafik perbandingan kekerasan antara material piston OEM dengan raw material tanpa anodisasi dan material piston

setelah dianodisasi dengan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  selama 7 menit.

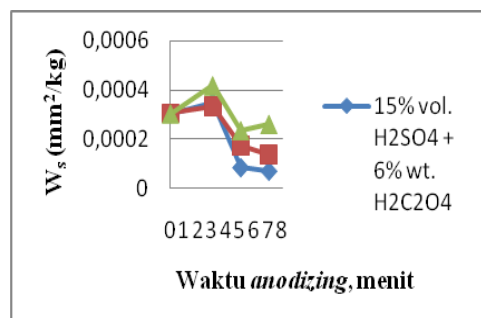


Grafik 1 Hasil uji kekerasan dengan menggunakan tiga jenis elektrolit yang berbeda



Grafik 2 Perbandingan kekerasan material antara piston OEM, piston non OEM tanpa anodisasi dan piston non OEM setelah dianodisasi.

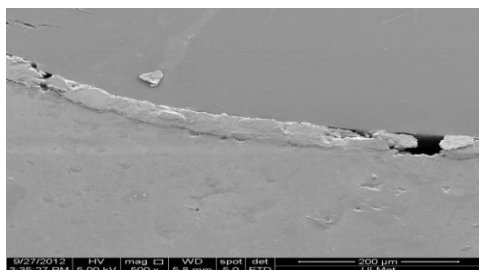
Dengan menggunakan persamaan (13), didapatkan keausan spesifik ( $W_s$ ) untuk material tanpa dan dengan *anodizing* dengan menggunakan elektrolit yang berbeda. Uji keausan spesifik material tanpa proses *anodizing* didapatkan  $W_s$  rata-rata non OEM setelah dianodisasi sebesar 0,003018923  $mm^2/kg$ . Grafik 3 merupakan hasil uji keausan dari spesimen yang telah dianodisasi.



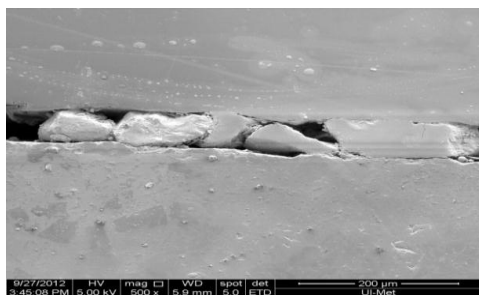
Grafik 3 Hasil uji keausan

Dari Grafik 3 dapat dinyatakan bahwa nilai uji keausan yang terbaik dihasilkan dari proses anodisasi material menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ , dengan waktu proses 7 menit. Material paduan aluminium mengalami penurunan nilai keausan spesifik ( $W_s$ ) dari  $3,04 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$  (sebelum proses anodisasi) menjadi  $7,15 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$  (setelah proses anodisasi selama 7 menit). Dengan berkurangnya nilai keausan spesifik material paduan aluminium ini, menjadikan material lebih tahan aus dibandingkan bila tidak dilakukan proses *anodizing*.

Adapun hasil uji ketebalan lapisan oksida adalah sebagai berikut :



Gambar 11 Ketebalan lapisan oksida hasil *anodizing* menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  dengan waktu 3 menit (FE\_SEM 500x)



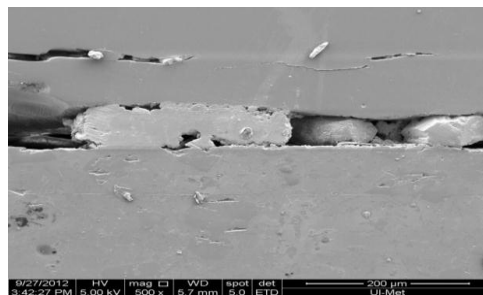
Gambar 12 Ketebalan lapisan oksida hasil *anodizing* menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  dengan waktu 5 menit (FE\_SEM 500x)

Tabel 4 merupakan hasil uji dari ketebalan rata-rata yang menggunakan FE\_SEM untuk *anodizing* dengan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ .

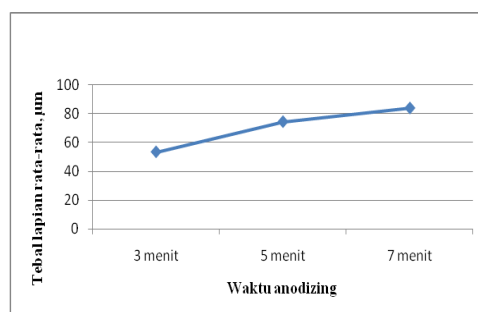
Dari Grafik 4 didapatkan ketebalan lapisan oksida tertinggi pada *anodizing* dengan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ , waktu proses 7 menit, adalah 83,81  $\mu\text{m}$ .

Tabel 4 Hasil uji ketebalan lapisan oksida

Waktu anodisasi (menit)	Tebal lapisan rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
3	53,33
5	74,29
7	83,81



Gambar 13 Ketebalan lapisan oksida hasil *anodizing* menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  dengan waktu 7 menit (FE\_SEM 500x)



Grafik 4 Hasil uji ketebalan

## KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan, hasil penelitian dan data-data yang didapatkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Dari ketiga macam konsentrasi elektrolit yang digunakan pada proses anodisasi yaitu : campuran asam oksalat ( $H_2C_2O_4$ ) 6% wt. dan konsentrasi asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) 15, 20 dan 25% vol., maka asam sulfat 15% merupakan konsentrasi yang terbaik dibandingkan dengan 2 (dua) konsentrasi lainnya, sedangkan waktu proses yang terbaik adalah 7 menit dibanding dengan 2 (dua) waktu anodisasi yang lain. Bila dibandingkan dengan *raw material*, maka : pertama, akan terjadi kekerasan material mening-

kat dari 115 VHN menjadi 190 VHN. Kedua, nilai keausan spesifik ( $W_s$ ) dari material sebelum anodisasi ( $3,04 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$ ) menurun menjadi  $7,15 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Ketiga, ketebalan lapisan oksida yang tertinggi adalah sebesar  $83,81 \text{ }\mu\text{m}$ .

#### SARAN

Dalam menghasilkan produk dari material paduan aluminium yang dianodisasi disarankan untuk menggunakan proses dengan elektrolit 15% vol.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 6% wt.  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  dengan waktu 7 menit.

Untuk mendapatkan nilai kekerasan, keausan spesifik serta ketebalan lapisan yang lebih optimal, disarankan untuk meneliti proses anodizing dengan penggunaan elektrolit yang sama tetapi dengan waktu proses anodizing yang lebih dari 7 menit, atau konsentrasi elektrolit kurang dari 15% vol. asam sulfat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aluminium-Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, 2003, Aluminium Handbook 2, Forming, Casting, Surface Treatment, Recycling and Ecology, Dusseldorf.
- Alwitt, R.S., 2009, Anodizing, <http://electrochem.cwru.edu/encycl/art-a02-anodizing.htm>
- ASM, ASM Handbook vol. 2, 1980, Heat Treating, Cleaning and Finishing, 8<sup>th</sup> edition, ASM International Park, Ohio.
- ASM, ASM Handbook vol. 8, 2000, Mechanical Testing and Evaluation, 9<sup>th</sup> edition, ASM International Park, Ohio.
- ASM, ASM Handbook vol. 13, 1987, Corrosion, 9<sup>th</sup> edition, ASM International Park, Ohio.
- LeBlanc, R, The Effect of Anodizing to Minimize Friction and Wear of Aluminum Surfaces, <http://www.ewp.rpi.edu/pdf>
- Lowenheim, F.A., 1978, Electroplating, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Malau, V., dan Khasani, 2008, Karakterisasi Laju Keausan dan Kekerasan Dari Pack Carburising Pada Baja Karbon AISI 1020, Media Teknik No.3 Tahun XXX Edisi Agustus.
- Sheasby, P.G., and Pinner, R., 2001, The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys, Volume 1 & 2, Sixth Edition, ASM International & Finishing Publications Ltd., UK. <http://ecs.skku.ac.kr/research/nanowire/>