

**PERBANDINGAN ANNEALING DAN AGING PADA AA6061
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PROSES ANODIZING**

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SAMSUL KHOIRUL ANAM
NIM. 115060200111059

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015

LEMBAR PENGESAHAN

**PERBANDINGAN ANNEALING DAN AGING PADA AA6061 TERHADAP
LAJU KOROSI HASIL PROSES ANODIZING**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SAMSUL KHOIRUL ANAM
NIM. 115060200111059**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 2 Desember 2015

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Sofyan Arief S., ST., M.Eng.
NIP. 19731124 199802 1 001

Dosen Pembimbing II

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

**Mengetahui
Ketua Program Studi**

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. NIP. 19750802 199903 2 002

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, November 2015

Mahasiswa,

Samsul Khoirul Anam

115060200111059



RINGKASAN

Samsul Khoirul Anam, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Nopember 2015, *Perbandingan Annealing dan Aging pada AA6061 Terhadap Laju Korosi Hasil Proses Anodizing*, Dosen Pembimbing : Sofyan Arief Setyabudi dan Slamet Wahyudi.

Aluminium merupakan salah satu logam yang sangat penting peranannya dalam kehidupan. Dalam perkembangannya aluminium banyak digunakan khususnya dalam bidang teknik dan material konstruksi. Salah satu paduan aluminium yang sering digunakan adalah AA6061 yang memiliki kekerasan yang tinggi dibanding jenis aluminium 6xxx yang lain. Namun seperti yang diketahui, semua logam baik *ferro* ataupun *non-ferro* bisa mengalami korosi sehingga mengakibatkan penurunan kualitas logam dan umur pakainya (*lifetime*). Berbagai usaha dilakukan untuk memperoleh material yang memiliki daya tahan terhadap korosi baik dengan cara memperbaiki sifat mekanik suatu material melalui *solution heat treatment* ataupun dengan melakukan pelapisan pada material tersebut. Salah satu contoh usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya tahan korosi dengan melakukan pelapisan adalah dengan melakukan *anodizing*. Komposisi paduan aluminium, proses pendahuluan, *temper* atau *heat treatment* dapat mempengaruhi kualitas lapisan hasil *anodizing*.

Pada penelitian ini difokuskan pada dua macam perlakuan panas yaitu *annealing* dan *aging*. *Annealing* dilakukan pada temperatur 415°C selama 3 jam sedangkan *aging* dilakukan dalam 2 tahapan, tahapan pertama dilakukan pemanasan pada suhu 530°C selama 4 jam dan didinginkan dengan cepat menggunakan air. Tahapan kedua pemanasan dilakukan pada temperatur 180°C selama 7 jam dan didinginkan pada suhu ruang. Evaluasi hasil penelitian dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *potensiostat autolab* (PGSTAT302N).

Perlakuan panas yang diberikan berpengaruh pada konduktivitas listrik material induk sehingga memiliki nilai rapat arus yang berbeda. Material perlakuan *aging* memiliki nilai rapat arus yang lebih tinggi dari pada *annealing*. Dari hasil analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan lapisan hasil *anodizing* dengan perlakuan *aging* memiliki struktur yang lebih *porous* dari pada *annealing* sedangkan hasil analisis polarisasi linier menggunakan *potensiostat autolab* (PGSTAT302N) menunjukkan bahwa perlakuan panas *annealing* yang diberikan pada logam induk *anodizing* memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan panas *aging*. Hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai rapat arus maka daya tahan material hasil *anodizing* semakin menurun.

Kata kunci: *Annealing, Aging, Anodizing, Aluminium Oksida Berpori, Korosi*

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT yang telah memberi petunjuk dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perbandingan *Annealing* dan *Aging* pada AA6061 terhadap Laju Korosi Hasil Proses *Anodizing*”.

Banyak pihak terkait yang membantu terselesaikannya tugas akhir ini. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya .
2. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Kepala Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi, ST., M. Eng. sebagai pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT sebagai pembimbing II yang dengan sabar memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Orang Tuaku terima kasih atas doa dan dukungan baik moril maupun materiil yang selalu teriring selama pendidikan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Etozer Malang 2011 yang selalu memberi sebagai *spirit* dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Semua dosen teknik mesin sebagai sumber ilmu dalam belajar.
8. Sahabat dan teman – temanku Teknik Mesin angkatan 2011 yang telah memberikan semangat dan dukungannya selama ini.
9. Semua pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya

membangun. Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan tanpa terkecuali.

Malang, November 2015



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN | vii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya | 4 |
| 2.2 Aluminium | 5 |
| 2.4.1 Aluminium murni | 6 |
| 2.4.2 Paduan Aluminium | 6 |
| 2.3 Titanium | 7 |
| 2.4 Perlakuan Panas..... | 8 |
| 2.4.1 <i>Annealing</i> | 8 |
| 2.4.2 Penuaan (<i>Aging</i>)..... | 9 |
| 2.5 <i>Anodizing</i> aluminium | 10 |
| 2.5.1 Mekanisme <i>Anodizing</i> | 10 |
| 2.5.2 Macam-macam Proses <i>Anodizing</i> | 11 |
| 2.6 Korosi | 13 |
| 2.6.1 Korosi Aluminium | 15 |
| 2.6.2 Macam-macam korosi..... | 15 |
| 2.7 Metode Elektrokimia..... | 20 |
| 2.7.1 Polarisasi Elektrokimia | 20 |



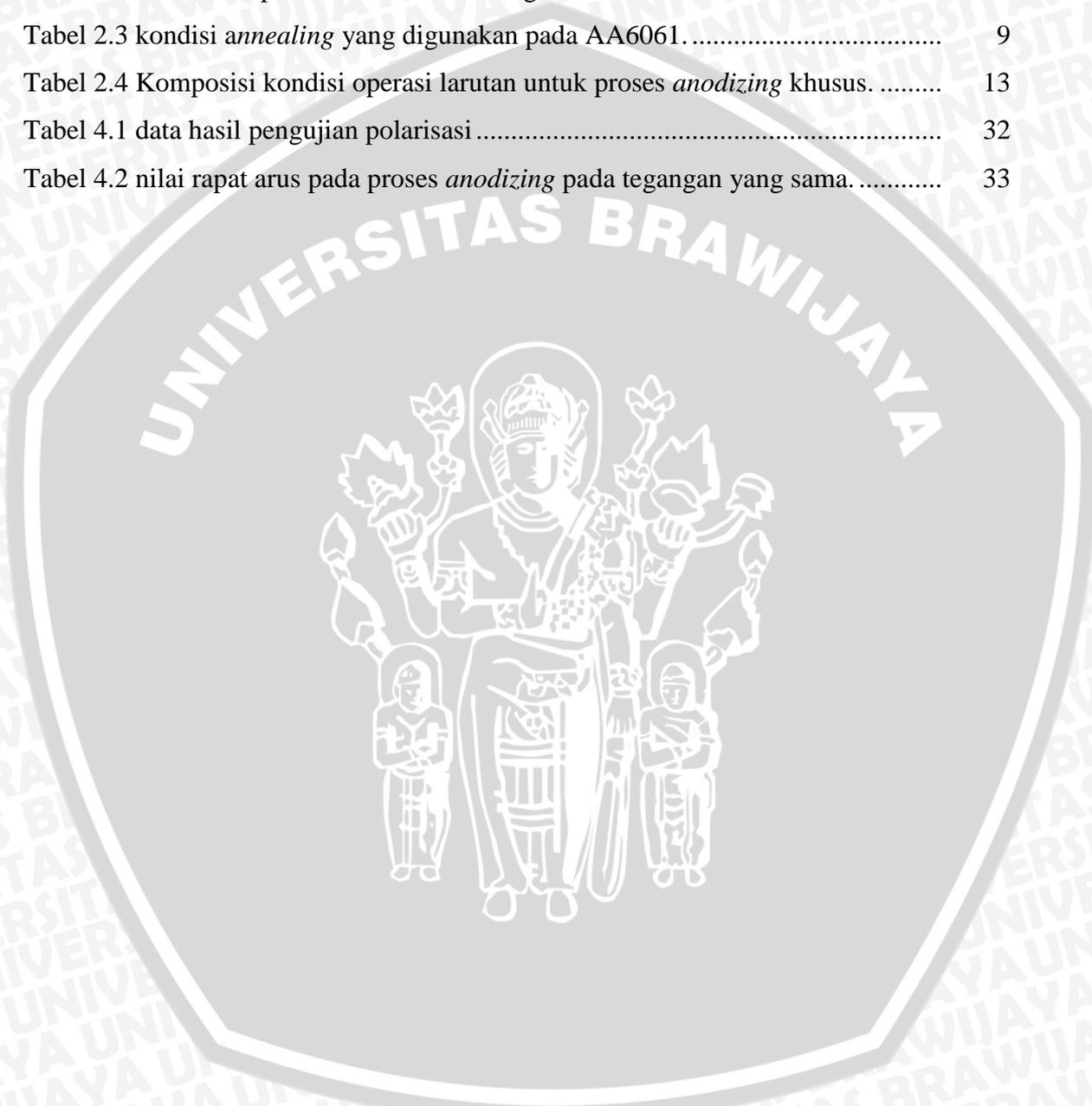
| | |
|--|-----------|
| 2.8 Hipotesis..... | 22 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 23 |
| 3.1 Metode Penelitian..... | 23 |
| 3.2 Tempat dan waktu Penelitian | 23 |
| 3.3 Variabel penelitian | 23 |
| 3.4 Skema dan instalasi alat | 24 |
| 3.5 Alat dan Bahan Penelitian..... | 24 |
| 3.5.1 Alat Penelitian..... | 24 |
| 3.5.2 Bahan Penelitian | 25 |
| 3.5.3 Dimensi dan Bentuk Spesimen yang Digunakan..... | 26 |
| 3.6 Prosedur Penelitian..... | 27 |
| 3.7 Pengujian Hasil Proses <i>Anodizing</i> | 28 |
| 3.7.1 Prosedur Uji SEM..... | 28 |
| 3.7.2 Prosedur Pengujian Polarisasi..... | 29 |
| 3.8 Diagram Alir Penelitian | 30 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 31 |
| 4.1 Hasil Pengujian Laju Korosi | 31 |
| 4.2 Analisis Struktur dan Morfologi Hasil <i>Anodizing</i> | 33 |
| 4.3 Analisis Laju Korosi Hasil <i>Anodizing</i> | 34 |
| BAB V KESIMPULAN | 39 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 39 |
| 5.2 Saran..... | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 diagram <i>pourbaix</i> aluminium..... | 6 |
| Gambar 2.2 <i>Field emission scanning electron microscopy</i> dari proses <i>annealing</i> dan non- <i>annealing</i> . (A) Non- <i>annealing</i> Al, (B) Al yang di <i>annealing</i> (scale = 100 μm), and (C) Perbesaran yang lebih besar of Al yang di <i>annealing</i> (skala= 10 μm)..... | 9 |
| Gambar 2.3 Diagram proses <i>heat treatment</i> | 10 |
| Gambar 2.4 Sel Elektrolitik | 11 |
| Gambar 2.5 Pengaruh waktu <i>anodizing</i> terhadap berat hasil lapisan | 12 |
| Gambar 2.6 Reaksi elektrokimia pada proses korosi Zn | 14 |
| Gambar 2.7 Reaksi galvanik antara logam baja dan alumium | 16 |
| Gambar 2.8 deret galvanik logam dan paduan | 16 |
| Gambar 2.9 Korosi celah | 17 |
| Gambar 2.10 Korosi sumuran..... | 17 |
| Gambar 2.11 Korosi batas butir..... | 18 |
| Gambar 2.12 Korosi selektif..... | 18 |
| Gambar 2.13 Korosi erosi dinding pipa kondensor | 19 |
| Gambar 2.14 <i>Stress corrosion cracking</i> (SCC) pada stainless steel 316L | 19 |
| Gambar 2.15 <i>Hydrogen damage</i> | 20 |
| Gambar 2.16 Pengaturan Uji Polarisasi Elektrokimia..... | 21 |
| Gambar 3.1 Skema instalasi <i>anodizing</i> | 24 |
| Gambar 3.2 Bentuk dan dimensi spesimen paduan alumium 6061 | 26 |
| Gambar 3.3 dimensi dan ukuran titanium..... | 26 |
| Gambar 4.1 Kurva polarisasi sampel <i>aging</i> | 31 |
| Gambar 4.2 Kurva polarisasi sampel <i>annealing</i> | 32 |
| Gambar 4.3 Hasil foto <i>scanning electron microscopy</i> perbesaran 4000x (a) spesimen hasil <i>anodizing</i> dengan perlakuan <i>aging</i> (b) spesimen hasil <i>anodizing</i> dengan perlakuan <i>annealing</i> | 34 |
| Gambar 4.4 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus kurva anodik. | 35 |
| Gambar 4.5 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus. | 35 |
| Gambar 4.6 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus kurva katodik. | 36 |
| Gambar 4.7 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus. | 37 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2.1 Daftar seri paduan aluminium tuang..... | 7 |
| Tabel 2.2 Daftar seri paduan aluminium tuang | 7 |
| Tabel 2.3 kondisi <i>annealing</i> yang digunakan pada AA6061..... | 9 |
| Tabel 2.4 Komposisi kondisi operasi larutan untuk proses <i>anodizing</i> khusus. | 13 |
| Tabel 4.1 data hasil pengujian polarisasi | 32 |
| Tabel 4.2 nilai rapat arus pada proses <i>anodizing</i> pada tegangan yang sama. | 33 |



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Komposisi unsur Aluminium paduan 6061

Lampiran 2. Komposisi paduan Titanium

Lampiran 3. Data polarisasi annealing dan aging



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat di era globalisasi membuat kebutuhan akan penggunaan material logam semakin meningkat, itu sebabnya industri saat ini mulai banyak mempertimbangkan penggunaan material aluminium sebagai bahan utama dalam proses produksi. Aluminium merupakan salah satu logam yang sangat penting peranannya dalam kehidupan. Dalam perkembangannya, aluminium banyak digunakan khususnya dalam bidang teknik dan material konstruksi. Penggunaan aluminium yang berkembang pesat tidak terlepas karena sifat aluminium yang kuat dan ringan. Salah satu paduan aluminium yang sering digunakan adalah AA6061 yang memiliki kekerasan yang tinggi dibanding jenis aluminium 6xxx yang lain. Namun seperti diketahui, semua logam baik *ferro* ataupun *non-ferro* bisa mengalami korosi sehingga mengakibatkan penurunan kualitas logam dan umur pakainya (*lifetime*).

Korosi terjadi pada material yang bersifat anoda dalam sel elektrokimia. Selain anoda, ada tiga komponen lain yang diperlukan untuk korosi terjadi: lingkungan yang agresif, katoda dimana reaksi reduksi terjadi, dan penghubung antara anoda dan katoda. Konsep dasar untuk sebagian besar metode perlindungan korosi adalah untuk menghapus satu atau lebih komponen sel ini sehingga logam murni atau logam paduan tidak akan menimbulkan korosi (Natishan, 2003). Berbagai usaha dilakukan untuk memperoleh material yang memiliki daya tahan terhadap korosi baik dengan cara memperbaiki sifat mekanik suatu material melalui *solution heat treatment* ataupun dengan melakukan pelapisan pada material tersebut.

Salah satu contoh usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya tahan korosi dengan melakukan pelapisan adalah dengan melakukan *anodizing*. Menurut Howard (1986) *anodizing* merupakan proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. *Anodizing* mengacu pada konversi lapisan permukaan aluminium dan paduan menjadi aluminium oksida berpori. Proses ini

diperoleh dari fakta bahwa bagian aluminium yang akan dilapisi menjadi anoda dalam sel elektrolit (Stevenson, 1994). *Anodizing* dilakukan untuk membentuk lapisan oksida yang tebal dalam larutan elektrolit. Lapisan oksida berpori dengan ketebalan 25 μm atau lebih terbentuk dalam larutan asam sulfat pada suhu antara 15 °C sampai 30 °C dan rapat arus 1 sampai 4 A/dm² (Aerts dkk, 2007).

Komposisi paduan aluminium, proses pendahuluan, *temper* atau *heat treatment* dapat mempengaruhi kualitas lapisan anodik. Letak struktur mikro dari unsur-unsur paduan dalam paduan yang dapat diberi perlakuan panas dapat mempengaruhi penampilan lapisan anodik (Stevenson, 1994). Perlakuan panas pelarutan atau lebih dikenal dengan *solution heat-treatment* dari perlakuan panas pelarutan adalah untuk memaksimalkan kelarutan unsur-unsur pepadu seperti Cu, Mg, dan Si di dalam matriksnya (aluminium) sehingga sifat mekanisnya menjadi lebih baik. Dari diagram fasa sistem paduan dapat ditentukan rentang suhu yang akan dipergunakan dalam pembentukan struktur mikro tertentu untuk meningkatkan sifat mekanik (*mechanical properties*) paduan. Rangkaian perlakuan panas yang umum, antara lain adalah *solid solution treatment, quenching, aging, annealing, tempering*, dan sebagainya (Taufiq dan Korda, 2010). Perlakuan panas dan *aging* penting untuk menghomogenkan dendrit α -Al dalam paduan aluminium sehingga dapat mencapai sifat mekanik yang lebih baik (Ogris dkk, 2002).

Ditinjau dari uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengamati Perbandingan *annealing* dan *aging* pada AA6061 terhadap laju korosi hasil proses *anodizing*. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui perbandingan *annealing* dan *aging* pada AA6061 terhadap laju korosi hasil proses *anodizing*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana perbandingan *annealing* dan *aging* pada AA6061 terhadap laju korosi hasil proses *anodizing*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Material yang digunakan sebagai anoda adalah AA6061.
2. Material yang digunakan sebagai katoda adalah titanium.
3. Larutan elektrolit yang digunakan adalah asam sulfat (H₂SO₄).
4. Arus listrik yang digunakan adalah arus DC.

5. *Annealing* yang digunakan adalah *full annealing*.
6. *Aging* yang digunakan adalah *artificial aging*.

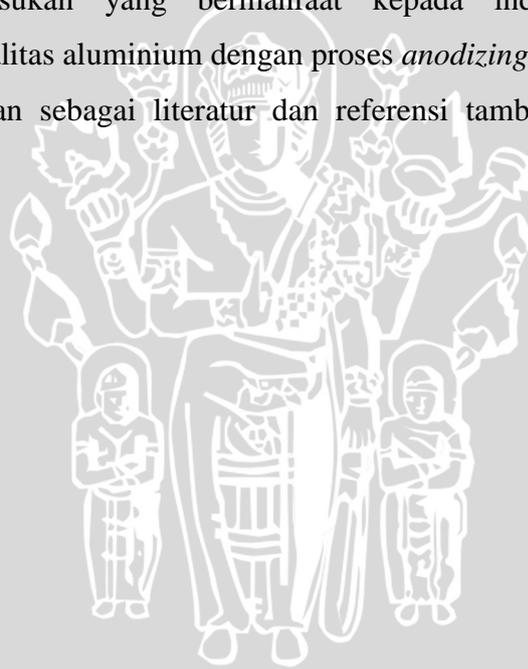
1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan *annealing* dan *aging* pada AA6061 terhadap laju korosi hasil proses *anodizing*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah

1. Memberikan tambahan wawasan mengenai perbandingan *annealing* dan *aging* pada proses pelapisan *anodizing* kepada penulis secara khusus serta kepada pembaca secara umum.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat kepada industri logam untuk meningkatkan kualitas aluminium dengan proses *anodizing*.
3. Dapat digunakan sebagai literatur dan referensi tambahan bagi penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian tentang *anodizing* yang telah dilakukan oleh para peneliti dan ilmuwan mulai beberapa waktu yang lalu hingga sekarang dan masing-masing dari penelitian tersebut memiliki karakteristik dan tujuan penelitian yang berbeda-beda. Beberapa diantaranya digunakan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Analisis struktur mikro AA6061 setelah pengecoran (*casting*) dan difusi proses *annealing* oleh Wang dkk (2012). Pada penelitian ini dipelajari pengaruh difusi *annealing*. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan OM, SEM dan EDS untuk menganalisis struktur mikro dan komposisi kimia dari senyawa antara permukaan dan pusat. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah segregasi berbeda di permukaan dan di tengah, dan difusi *annealing* berbeda dapat menyebabkan perubahan fase di permukaan dan pusat.

Studi pengaruh perlakuan panas *aging* terhadap perilaku korosi paduan aluminium seri 6061 dalam larutan 0,05M HCl oleh Mursalin, Suminar Pratapa, Heny Faisal (2009). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi dan jenis korosi yang terbentuk pada permukaan sampel. Hasilnya laju korosi mengalami penurunan dan terjadi korosi intergranuler dan korosi sumuran. Korosi yang terbentuk dipengaruhi oleh struktur mikro yang terbentuk akibat proses *aging*. Proses perlakuan panas *aging* ini berpengaruh pada struktur mikro sampel, yang menunjukkan bahwa semakin lama *holding time* maka besar batas butir semakin kecil atau halus.

Penelitian Zhang dkk (2007) kekuatan ikatan dan ketahanan korosi paduan aluminium oleh perlakuan *anodizing* dalam asam fosfat yang dimodifikasi asam borat / asam sulfat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan perekat dan perilaku korosi pada beberapa macam larutan elektrolit. Hasil *anodizing* menunjukkan lapisan film yang lebih tebal dengan porositas yang tinggi. Lapisan film hasil *anodizing* menunjukkan ketahanan korosi lebih baik, kekuatan ikatan dan durabilitas yang lebih tinggi.

Penelitian Aggerbeck dkk (2014) tentang pengaruh komposisi paduan dan proses pendahuluan. Mikrostruktur dan morfologi permukaan diamati menggunakan *scanning electron microscopy* dan *atomic force microscopy*. Diperoleh bahwa kekasaran permukaan meningkat saat dietsa dengan perubahan derajat paduan disebabkan partikel fase kedua membuat refleksi lebih menyebar, dan morfologi permukaan saat dietsa mirip dengan antarmuka oksida-substrat setelah penganodaan. Polishing yang tepat dicapai pada paduan keras dan penampilan mengkilap yang tetap terjaga untuk paduan kemurnian tinggi. Penyegelan (*sealing*) membuat refleksi specular dari spesimen mekanis dipoles semakin jelas.

2.2 Aluminium

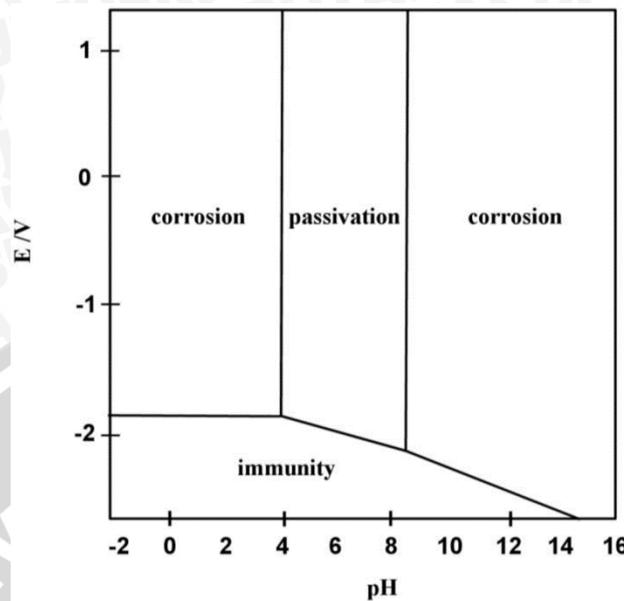
Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang lainnya seperti logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni. Secara satu persatu atau bersama-sama juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi (Surdia dan Saito, 1999). Aluminium memiliki densitas hanya $2,7 \text{ g/cm}^3$, sekitar sepertiga baja ($7,83 \text{ g/cm}^3$), tembaga ($8,93 \text{ g/cm}^3$), atau kuningan ($8,53 \text{ g/cm}^3$). Hal ini dapat menampilkan ketahanan korosi yang sangat baik pada kebanyakan lingkungan, termasuk atmosfer, air (termasuk air garam), petrokimia, dan banyak sistem kimia (Rooy, 1990).

Logam aluminium memiliki keelektropositifan yang cukup tinggi, sehingga aluminium dapat dengan mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan oksida yang tipis di permukaannya melalui reaksi berikut.



Lapisan oksida ini memiliki ketebalan antara $0,1 - 0,4 \times 10^{-6}$ inchi sampai dengan $0,25 - 1 \times 10^{-2}$ mikron. Lapisan oksida ini akan tetap stabil pada kondisi PH antara 4,5 sampai dengan 8,5 seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. lapisan oksida tersebut meningkatkan sifat ketahanan korosi dari aluminium karena lapisan ini berfungsi sebagai lapisan protektif yang menghalangi oksigen untuk bereaksi lebih lanjut dengan aluminium. Lapisan oksida Al_2O_3 yang dihasilkan dari proses kimia dan elektrokimia sehingga dengan proses tersebut dapat dihasilkan lapisan oksida dengan

ketebalan mencapai 500 kalinya. Lapisan oksida aluminium ini sendiri memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi dibandingkan dengan logam induknya.



Gambar 2.1 diagram pourbaix aluminium
Sumber: Ahmad, 2012

2.4.1 Aluminium murni

Aluminium didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa, umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat diperoleh kemurnian 99,99%. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam waktu bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga tetapi massa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya.

2.4.2 Paduan Aluminium

Paduan aluminium ke dalam dua kategori utama: komposisi pengecoran (*casting*) dan komposisi tempa (*wrought*). Perbedaan lebih lanjut untuk setiap kategori didasarkan pada mekanisme utama perkembangan properti. Banyak paduan merespon perlakuan termal berdasarkan fase kelarutan. Perlakuan ini termasuk perlakuan panas larutan (*solution heat treatment*), *quenching*, dan presipitasi, atau *aging*, *hardening*. Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk

memudahkan pengklasifikasiannya. Salah satu penamaan paduan aluminium adalah dengan standar AA, seperti pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 (Rahmawati, 2010)

Tabel 2.1 Daftar seri paduan aluminium tempa

| No. Seri | Komposisi Paduan |
|----------|--|
| 1xx.x | Aluminium murni |
| 2xx.x | Paduan aluminium–tembaga |
| 3xx.x | Paduan aluminium–mangan |
| 4xx.x | Paduan aluminium–silicon |
| 5xx.x | Paduan aluminium–magnesium |
| 6xx.x | Paduan aluminium–magnesium – silicon |
| 7xx.x | Paduan aluminium–seng |
| 8xx.x | Paduan aluminium–timah – litium |
| 9xx.x | Penggunaan disiapkan untuk di masa depan |

Sumber: Rahmawati, 2010

Tabel 2.2 Daftar seri paduan aluminium tuang

| No. Seri | Komposisi Paduan |
|----------|------------------------------------|
| 1xx.x | Aluminium murni |
| 2xx.x | Paduan aluminium–tembaga |
| 3xx.x | Paduan aluminium–silikon–magnesium |
| 4xx.x | Paduan aluminium–silicon |
| 5xx.x | Paduan aluminium–magnesium |
| 6xx.x | Tidak digunakan |
| 7xx.x | Paduan aluminium–seng |
| 8xx.x | Paduan aluminium–timah |
| 9xx.x | Belum digunakan |

Sumber: Rahmawati, 2010

2.3 Titanium

Titanium adalah unsur terbanyak ke sembilan di kerak bumi dan terdistribusi secara luas. Karena afinitasnya yang besar terhadap oksigen dan unsur lain, titanium tidak terdapat dalam bentuk logam statis di alam, tetapi dalam bentuk mineral yang

stabil. Bentuk umum mineral titanium adalah *ilmenite* dan *rutile* dalam bentuk titanium dioksida (IPCS, 1982). Pesatnya pertumbuhan industri titanium adalah bukti kekuatan dan ketahanan korosi spesifik tinggi logam. Dengan kepadatan sekitar 55% dari baja, paduan titanium banyak digunakan untuk komponen kedirgantaraan yang beroperasi pada suhu rendah sampai sedang tinggi, termasuk badan pesawat dan komponen mesin jet.

Titanium ada dalam dua bentuk kristal. Pada suhu kamar, titanium tanpa paduan (komersial murni) titanium memiliki struktur (HCP) kristal-padat heksagonal disebut sebagai fase alpha (α). Pada 883°C (1621°F), berubah ke struktur *body-centered cubic* (BCC) dikenal sebagai fase beta (β). Manipulasi variasi kristalografi melalui penambahan paduan dan pengolahan termomekanis merupakan dasar untuk pengembangan berbagai paduan dan properti. Fase-fase ini juga menyediakan cara mudah untuk mengkategorikan produk titanium. Berdasarkan fase ini, paduan titanium dapat diklasifikasikan sebagai paduan α , paduan β , atau paduan $\alpha + \beta$ (Destefani, 1992).

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas mempunyai pengertian yang sangat luas, merujuk pada proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan bertujuan untuk merubah sifat mekanik, struktur metalurgi atau tetapan sisa dari logam. Ketika perlakuan panas diaplikasikan kepada aluminium, hal tersebut sering dibatasi pada operasi atau proses tertentu yang dilakukan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan dari paduan aluminium tuang atau tempa yang mampu dikeraskan. Ini biasanya dilakukan untuk membedakan paduan *heat treatable* dan paduan *non heat treatable*. Paduan yang kekuatan dan kekerasannya dapat meningkat secara signifikan termasuk seri 2xxx, 6xxx, and 7xxx untuk paduan tempa (kecuali 7072) dan seri 2xx.0, 3xx.0, and 7xx.0 paduan cor (*casting*).

2.4.1 Annealing

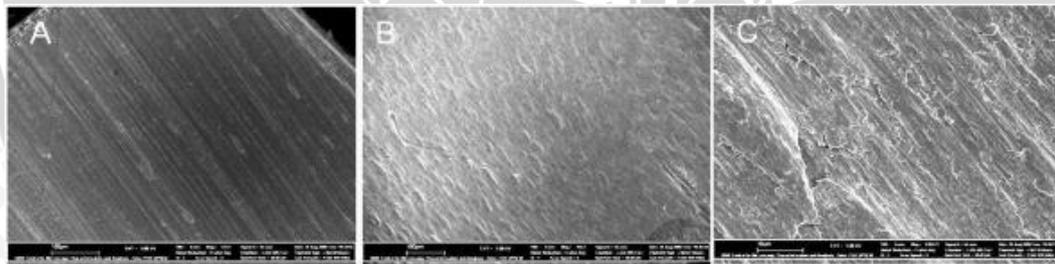
Annealing dilakukan untuk beberapa tipe paduan aluminium yang berbeda. Suhu dan waktu *annealing* bergantung tipe paduan. Dalam *annealing*, penting untuk memastikan suhu yang tepat agar tercapai dalam semua bagian dari muatan. Oleh karena itu, hal yang biasa untuk menentukan periode perendaman minimal 1 jam. Suhu *annealing* maksimum cukup penting. Dianjurkan untuk tidak melebihi 415°C (775°F), karena oksidasi dan pertumbuhan butir. Tingkat pemanasan bisa menjadi penting,

terutama untuk paduan 3003, yang biasanya membutuhkan pemanasan cepat untuk pencegahan pertumbuhan butir. Pendinginan relatif lambat, di udara diam atau dalam tungku, direkomendasikan untuk semua paduan untuk meminimalkan distorsi. Bila diterapkan pada *superalloy* maka digunakan proses *full annealing* sehingga terjadi rekristalisasi sempurna dan mencapai kelunakan maksimum. Berikut ini tabel kondisi *annealing* yang digunakan pada AA6061.

Tabel 2.3 kondisi *annealing* yang digunakan pada AA6061.

| Paduan | Suhu Pemanasan | | Perkiraan waktu (jam) |
|--------|----------------|-----|--------------------------|
| | °C | °F | |
| 6061 | 415 | 775 | 2-3 |

Selama proses *annealing* ukuran butir Al meningkat dan permukaan menjadi lebih kasar dan batas butir yang lebih lebar dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 menggunakan *Field emission scanning electron microscopy*. *annealing* merubah struktur butiran menjadi kasar dan pipih membentuk sumbu yang sama. Selain itu, Fraksi batas butir meningkat dan terjadi penurunan yang signifikan dari regangan mikro kisi.



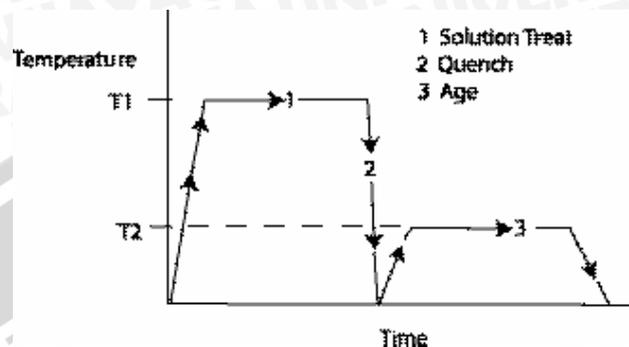
Gambar 2.2 *Field emission scanning electron microscopy* dari proses *Annealing* dan non-*Annealing*. (A) Non-*Annealing* Al, (B) *Annealed* Al (scale = 100 μm), and (C) Perbesaran yang lebih besar dari Al yang diannealing (skala= 10 μm).

Sumber: Poinern, 2011

2.4.2 Penuaan (*Aging*)

Menurut Kusuma dan Tjitro (2008) proses *aging* terjadi proses presipitasi dari *atom solid solution* melalui nukleasi presipitat dan pertumbuhan butir dari *atom solute* menjadi nuclei presipitat. Pada beberapa material, proses *aging* untuk mencapai kekuatan dan kekerasan maksimum dapat terjadi dalam waktu yang lama. Seperti pada gambar 2.2 menunjukkan tiga tahapan penting yang dilakukan pada perlakuan panas

yaitu, (1) pemanasan pelarutan (*solution treatment*), (2) pendinginan cepat (*quenching*) (3) penuaan (*aging*). Proses pengerasan (*aging*) dapat dicapai pada suhu kamar (*natural aging*) atau dengan *precipitation heat treatment* (*artificial aging*)



Gambar 2.3 Diagram proses *heat treatment*

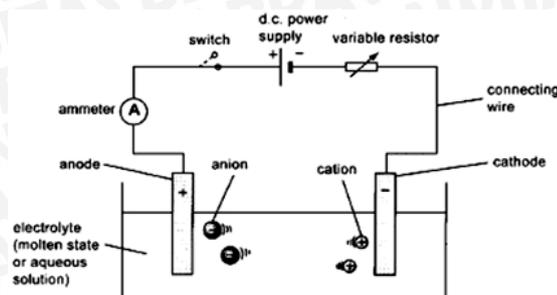
Sumber: Kusuma dan Tjitro, 2008

2.5 Anodizing aluminium

Anodizing merupakan proses pembentukan lapisan oksida pada logam dengan cara mereaksikan atau mengkorosikan suatu logam terutama aluminium dengan oksigen yang diambil dari larutan elektrolit yang digunakan sebagai media, sehingga terbentuk lapisan oksida. Proses ini juga disebut sebagai *anodic oxidation* (Santhiarsa, 2010). Lapisan anodik oksida diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu lapisan oksida berpori (*porous*) dan penghalang (*barrier*) (Takahashi, 2003). *Anodizing* aluminium dapat dilakukan dalam berbagai elektrolit, menggunakan kondisi operasi yang berbeda-beda termasuk konsentrasi dan komposisi elektrolit, adanya bahan aditif, suhu, tegangan, dan arus listrik. Beberapa alasan *anodizing* antara lain untuk meningkatkan ketahanan korosi, meningkatkan ikatan perekat, meningkatkan ketahanan abrasi, meningkatkan adhesi cat, meningkatkan pelumasan (Stevenson, 1994).

2.5.1 Mekanisme *Anodizing*

Mekanisme *anodizing* menggunakan prinsip elektrolisis. Sel elektrolitik (*electrolytic cell*), yang menggunakan listrik sebagai sumber energi untuk berlangsungnya reaksi elektrokimia. Proses yang terjadi dalam sel elektrolitik disebut elektrolisis. Sebagaimana gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Sel Elektrolitik
Sumber: Richardson, 2002: 46

1. Sumber arus listrik searah (DC) memompa elektron dari katoda menuju anoda. 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. Melalui anoda, elektron dikembalikan ke sumber arus. Dengan demikian, pada permukaan anoda terjadi reaksi oksidasi terhadap anion.

Proses utama dalam proses *anodizing* aluminium memerlukan larutan elektrolit seperti larutan asam sulfat, asam kromat atau campuran asam sulfat dan asam oksalat. Selama proses oksidasi anoda permukaan aluminium dirubah menjadi oksida aluminium. Dimana reaksi kimia yang terjadi adalah



Dimana asam sulfat yang digunakan asam pekat, serta asam tersebut menjadi oksidator. Ketebalan oksida kurang lebih dua kali aluminium yang hilang.

2.5.2 Macam-macam Proses *Anodizing*

Terdapat tiga jenis utama dari proses *anodizing* yaitu *anodizing* asam kromat, dimana elektrolit yang digunakan adalah asam kromat, *anodizing* asam sulfat, dimana elektrolit yang digunakan adalah asam sulfat; dan *hard anodizing* yang menggunakan asam sulfat saja atau dengan aditif. Proses lainnya, jarang digunakan atau untuk tujuan khusus, menggunakan asam sulfat dengan asam oksalat, asam fosfat, asam oksalat, asam borat, asam *sulfosalicylic*, asam *sulfophthalic*, atau asam *tartaric*.

1. *Anodizing* asam kromat

Anodizing asam kromat adalah proses yang lebih disukai pada komponen yang terpaku atau rakitan hasil proses las dimana sulit atau tidak mungkin untuk menghapus semua larutan *anodizing*. Proses ini menghasilkan hasil akhir yang

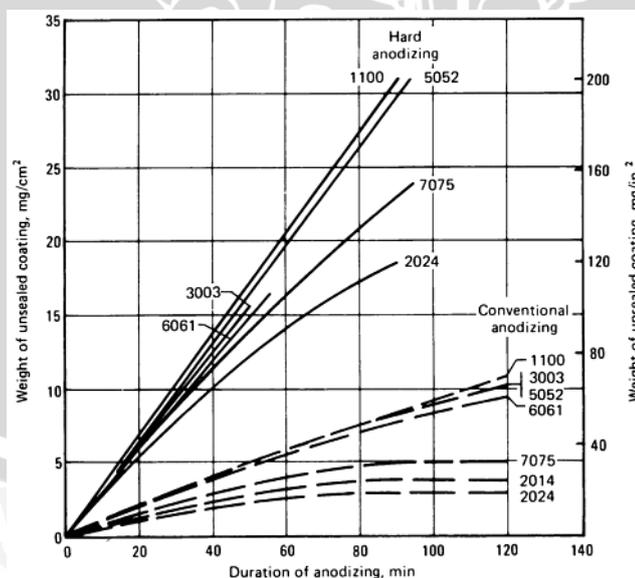
berwarna kuning gelap-zaitun, tergantung pada ketebalan film anoda. Warna abu-abu pada paduan tembaga tinggi.

2. *Anodizing asam sulfat*

Pada prinsipnya proses *anodizing* asam sulfat sama dengan proses asam kromat. Pada proses ini digunakan asam sulfat sebagai larutan elektrolit dengan konsentrasi (1,84 sp gr) dalam larutan *anodizing* adalah 12 sampai 20% berat. Suatu larutan yang mengandung 36 L (9,5 gal) H_2SO_4 per 380 L (100 gal) larutan mampu menghasilkan lapisan anodik bahwa ketika disegel memenuhi persyaratan MIL-A-8625.

3. *Hard Anodizing*

Anodizing asam sulfat dan *hard anodizing* umumnya sama-sama menggunakan asam sulfat. Perbedaan utama antara *anodizing* asam sulfat dan proses *hard anodizing* adalah suhu operasi, penggunaan agen. Selain itu, tegangan dan kepadatan arus di mana *anodizing* dilakukan. *Hard Anodizing*, juga disebut sebagai *hardcoat* atau tipe III *anodizing*, menghasilkan lapisan jauh lebih berat dari *anodizing* asam sulfat konvensional dalam satu waktu tertentu. Bobot lapisan yang diperoleh sebagai fungsi waktu dibandingkan untuk dua proses pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Pengaruh waktu *Anodizing* terhadap berat hasil lapisan
Sumber: Stevenson, 1994

4. Proses Anodizing khusus.

Pada tabel 2.4 memberikan kondisi operasi untuk bak *anodizing* yang digunakan untuk menghasilkan lapisan anodik dengan kekerasan dan porositas yang cocok untuk elektroplating, atau untuk menghasilkan lapisan anodik dengan kekerasan atau ketebalan menengah untuk hasil *anodizing* yang diperoleh dari asam kromat, asam sulfat, dan bak hard *anodizing*.

Tabel 2.4 Komposisi kondisi operasi larutan untuk proses *anodizing* khusus.

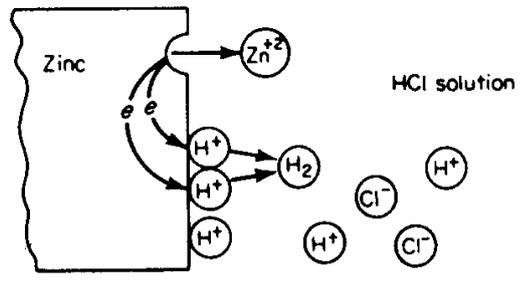
| Jenis larutan | Komposisi | Kepadatan arus | | Suhu | | Perlakuan (min) | Kegunaan larutan |
|-----------------------|---|------------------------|------------------------|-------|-------|----------------------|--------------------------|
| | | | | °C | °F | | |
| sulfat-oksalat | 15-20 wt% H ₂ SO ₄ dan 5 wt% H ₂ C ₂ O ₄ | 1.2 | 12 | 29-35 | 85-95 | 30 | Lapisan lebih tebal |
| Fosfat | 20-60 vol% H ₃ PO ₄ | 0.3-1.2 ^(b) | 0.3-1.2 ^(b) | 27-35 | 80-95 | 5-15 | Persiapan untuk plating |
| Fosfat, proses Boeing | 10-12 wt% | 0.5-0.8 ^(c) | 0.5-0.8 ^(c) | 21-24 | 70-75 | 20-25 | Persiapan ikatan perekat |
| Oksalat | 3 wt% H ₂ C ₂ O ₄ | 1.2 | 12 | 22- | 72- | 15-60 ^(d) | Lapisan lebih keras |

Sumber: Stevenson, 1994

2.6 Korosi

Korosi adalah degradasi atau kerusakan dari suatu material yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan material lainnya dan lingkungan. Namun, korosi tidak dapat terjadi begitu saja. Korosi dapat terjadi apabila beberapa elemen utama dipenuhi sehingga reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen tersebut adalah material sebagai anoda, lingkungan sebagai katoda, reaksi antara material dan lingkungan dan elektrolit. Di dalam logam, lingkungan yang elektris akan membuat elektron bebas mampu bergerak di sepanjang logam. Di dalam fasa cair (larutan) dapat ditemukan adalah ion-ion positif (kation) dan ion-ion negatif (anion). Pada permukaan

antara logam dan cairan, terjadi pertukaran muatan listrik yang mengawali reaksi elektrokimia seperti terlihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Reaksi elektrokimia pada proses korosi Zn
Sumber: Fontana, 1987

Ketika seng (Zn) diletakkan dalam asam klorida encer, sebuah reaksi yang kuat terjadi. Gas hidrogen berevolusi dan seng larut membentuk sebuah larutan seng klorida. Reaksinya adalah:



Apabila tidak ada ion klorida yang terlibat dalam reaksi reaksi dapat ditulis dalam bentuk yang sederhana menjadi



Oksidasi (reaksi anoda) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$

Reduksi (reaksi katoda) $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$

Pada gambar di atas reaksi yang terjadi adalah

- Atom logam Zn yang mengalami proses oksidasi membentuk ion Zn^{2+} yang berada dalam fasa cair sehingga menciptakan *flux* elektron di dalam logam dengan arah larutan menuju logam. Sehingga terjadi reaksi oksidasi (arus anodik) i_a yang mengalir dari logam menuju larutan.
- Ion-ion atau molekul-molekul pada fasa cair berkurang yang berarti mereka membawa elektron-elektron dari logam dan berubah menjadi spesies kimiawi lain. Ini menciptakan *flux* elektron di dalam logam dengan arah logam menuju larutan. Sehingga terjadi reaksi reduksi (arus katodik) i_k yang mengalir dari larutan menuju logam.

2.6.1 Korosi Aluminium

Korosi yang terjadi pada aluminium dalam media cair telah diteliti dalam berbagai penelitian. Dalam keadaan biasa, reaksi oksidasi yang terjadi pada aluminium dalam air dimulai dengan persamaan:



Logam aluminium, dalam keadaan oksidasi 0, dalam larutannya berubah menjadi kation Al^{3+} ketika kehilangan tiga elektron. Reaksi ini seimbang dengan reduksi simultan ion yang hadir dalam larutan yang merupakan elektron bebas. Dalam media cair dengan pH mendekati netral, seperti air biasa, air laut, dan uap air dapat ditunjukkan oleh perhitungan termodinamika bahwa hanya dua reaksi reduksi yang dapat terjadi, yaitu:

- Reduksi proton H^+ :



Proton H^+ diperoleh dari dissolusi molekul air :



- Reduksi oksigen terurai dalam air :

- Dalam alkalin atau media netral :



- Dalam media asam :



Pada umumnya korosi yang pada aluminium dalam media cair adalah penjumlahan dua reaksi kimia, oksidasi dan reduksi atau reaksi redoks:



Atau

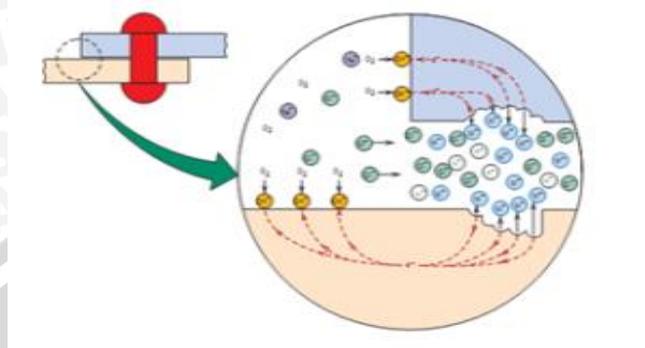


Korosi aluminium diperoleh dalam bentuk alumina $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang tidak larut dalam air dan mengendap sebagai gel putih dimana di dalamnya ditemukan korosi sumuran sebagai kepingan gelatin putih (Rahmawati, 2010).

2.6.2 Macam-macam korosi

1. Korosi galvanik

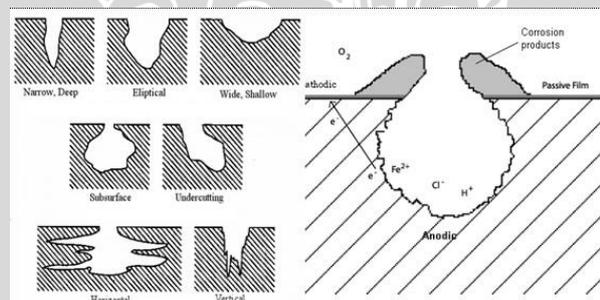
biasanya terkait dengan volume yang kecil dari larutan tetap yang disebabkan oleh lubang, permukaan gasket, sendi pangkuan, celah di bawah baut, dan kepala paku keling (Fontana, 1987)



Gambar 2.9 Korosi celah
Sumber: Fontana, 1987

3. Korosi sumuran

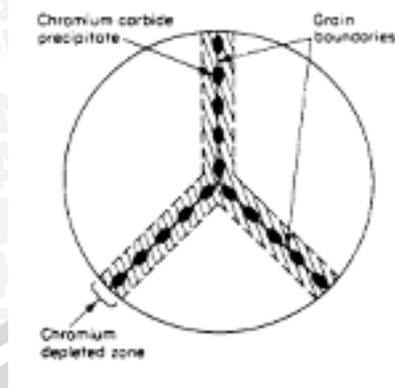
Korosi sumuran merupakan bentuk korosi lokal yang sangat ekstrim yang menghasilkan lubang pada logam. Lubang tersebut dapat berdiameter kecil atau besar, namun dalam beberapa kasus relatif kecil. Korosi sumuran merupakan salah satu korosi yang paling merusak dan berbahaya.



Gambar 2.10 Korosi sumuran
Sumber: Wibowo, 2012

4. Korosi batas butir

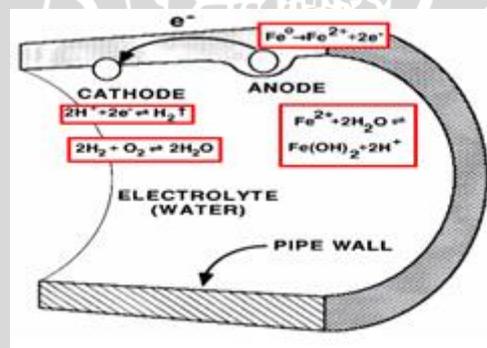
Korosi batas butir terjadi pada atau di sepanjang batas butir dan batas butir bersifat anodik dan bagian tengah butir bersifat katodik. Korosi batas butir dapat disebabkan oleh ketidakmurnian pada batas butir, pengayaan salah satu elemen paduan (Fontana, 1987). Korosi ini terjadi akibat *presipitasi* dari pengotor seperti *chromium* di batas butir, yang menyebabkan batas butir menjadi rentan terhadap serangan korosi (Wibowo, 2012).



Gambar 2.11 Korosi batas butir
Sumber: Fontana, 1987

5. Pelarutan selektif (*selective leaching*)

Korosi selektif merupakan proses korosi yang menghilangkan salah satu element paduan. Contoh yang paling umum adalah penghilangan unsur *zinc* pada paduan kuningan (*dezincification*). Proses yang sama juga terjadi pada sistem paduan lainnya misalnya aluminium, besi, kobalt, kromium dan lainnya (Fontana, 1987).

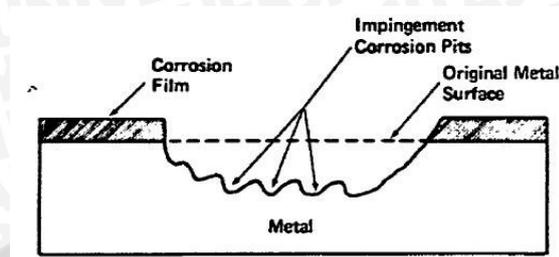


Gambar 2.12 Korosi selektif
Sumber: Wibowo, 2012

6. Korosi erosi

Korosi erosi adalah percepatan atau peningkatan laju perusakan logam karena pergerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan logam. Umumnya pergerakan cukup cepat mengakibatkan keausan mekanik atau abrasi. Permukaan logam hilang menjadi ion terlarut. Korosi erosi ditandai dengan tampilannya berbentuk alur, selokan, gelombang, lubang bulat dan lembah dan

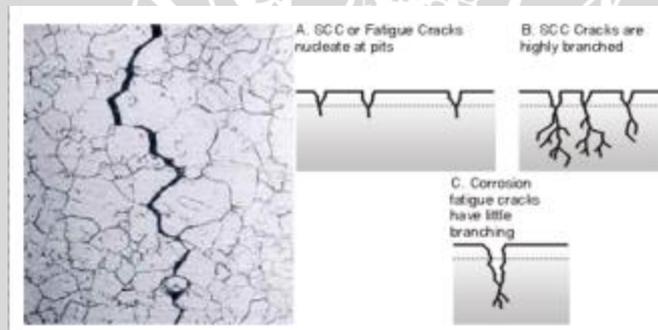
biasanya exhibits pola terarah. Dalam beberapa kasus korosi erosi terjadi dalam waktu yang relatif pendek (Fontana, 1987).



Gambar 2.13 Korosi erosi dinding pipa kondensor
Sumber: Fontana, 1987.

7. Korosi Tegangan (*stress corrosion*)

Stress corrosion cracking (SCC) mengacu kepada retakan yang disebabkan oleh tegangan tarik yang muncul secara simultan dan sebuah media korosif yang spesifik. Banyak peneliti yang mengklasifikasikan kegagalan yang disebabkan oleh retakan yang terjadi dalam media korosif sebagai *stress corrosion cracking*.



Gambar 2.14 *Stress corrosion cracking* (SCC) pada stainless steel 316L
Sumber: Wibowo, 2012

8. Korosi hidrogen

Korosi hidrogen atau kerusakan yang disebabkan oleh hidrogen umumnya istilah yang mengacu kepada kerusakan mekanik yang disebabkan oleh kehadiran dari, atau interaksi dengan hidrogen. (Fontana, 1987).



Gambar 2.15 *Hydrogen damage*
Sumber: Fontana, 1987

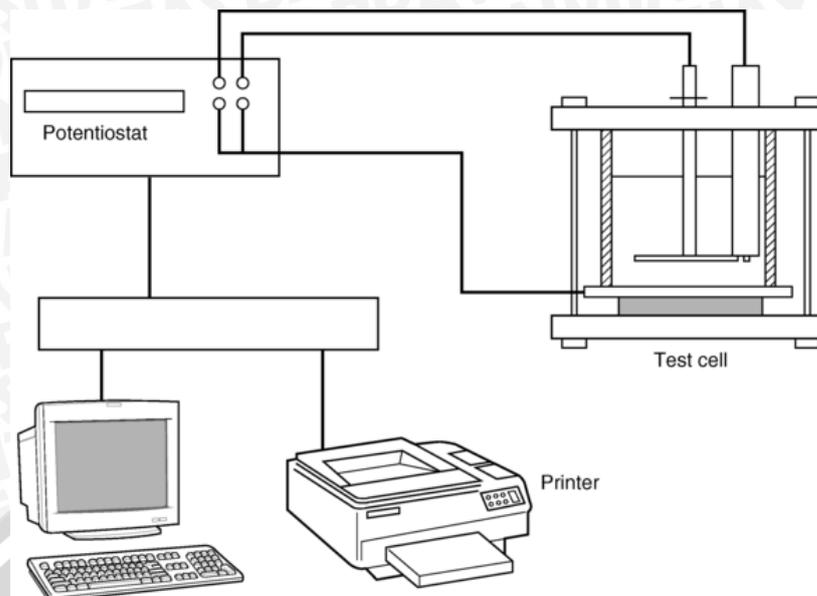
2.7 Metode Elektrokimia

Pada dasarnya metode elektrokimia merupakan metode untuk mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya berbeda) dimana laju korosi ditunjukkan melalui kemiringan (*slope*) plot potensial dan rapat arus. Kelebihan metode ini adalah laju korosi bisa langsung diketahui pada saat di ukur, sehingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama.

2.7.1 Polarisasi Elektrokimia

Pada pengujian ini potensiostat dan sel elektrokimia dibutuhkan. Potensiostat merupakan peralatan yang digunakan untuk mengamati fenomena yang terjadi selama proses korosi terjadi. Potensiostat akan mengaplikasikan tegangan listrik inputan kepada benda uji sehingga nilai arus selama proses korosi dapat diperoleh. Adapun Instrumen dasar yang dibutuhkan untuk tes elektrokimia meliputi:

- Elektroda Kerja (WE)
- Elektroda Counter (CE)
- Elektroda Referensi (RE)
- sel Uji
- Potensiostat
- Perangkat *Recording* (pencatat atau perekam xy)
- Voltmeter untuk memantau potensi dan arus (opsional)
- Komputer dengan program perangkat lunak dan plotter (menggantikan voltmeter dan merekam perangkat) (opsional)
- Thermostat



Gambar 2.16 Pengaturan Uji Polarisasi Elektrokimia
Sumber: Mansfeld, 2003

Hasil pengukuran polarisasi berupa kurva polarisasi yang menyatakan hubungan potensial dan arus setiap saat. Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi dengan teknik Tafel untuk memperoleh besaran-besaran yang berkaitan dengan korosi, yaitu potensial korosi (E_{kor}), tahanan polarisasi (R_p), dan kemiringan Tafel anodik (β_a) dan Tafel katodik (β_c). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menentukan rapat arus korosi melalui persamaan Stern-Gerry:

$$i_{corr} = \frac{ba \cdot bc}{2,303 (ba + bc) R_p} \quad (\text{ASTM G3} - 1989) \quad (2.14)$$

Selanjutnya laju korosi ditentukan dengan persamaan:

$$V_{corr} = 3,27 \times 10^{-3} \frac{Ae}{\rho} i_{corr} \quad (\text{ASTM G3} - 1989) \quad (2.15)$$

Keterangan:

V_{corr} = Laju korosi dengan (mm/year atau mmpy)

Ae = Massa ekuivalen logam ($\text{g} \cdot \text{Mol}^{-1} \cdot \text{ek}^{-1}$)

ρ = Masa jenis logam ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

i_{corr} = Rapat arus ($\mu\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$)

R_p = Tahanan polarisasi ($\text{k}\Omega$)

ba = Konstanta tafel anodik

bc = Konstanta tafel Katodik

2.8 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas maka dapat diambil hipotesa bahwa perlakuan *aging* dapat menghasilkan ukuran butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan *annealing*. Sehingga hasil proses *anodizing* dengan perlakuan *annealing* memiliki laju korosi lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan *aging*.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental sebenarnya (*true experimental research*) dengan meneliti obyek secara langsung untuk mengetahui perbandingan *annealing* dan *aging* pada hasil proses *anodizing* AA6061.

3.2 Tempat dan waktu Penelitian

- Tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan Laboratorium Elektrokimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Waktu penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Mei – Oktober 2015.

3.3 Variabel penelitian

Terdapat tiga variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

1. Variabel bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah *pre-treatment annealing* dan *aging* pada proses *anodizing*.

2. Variabel terikat

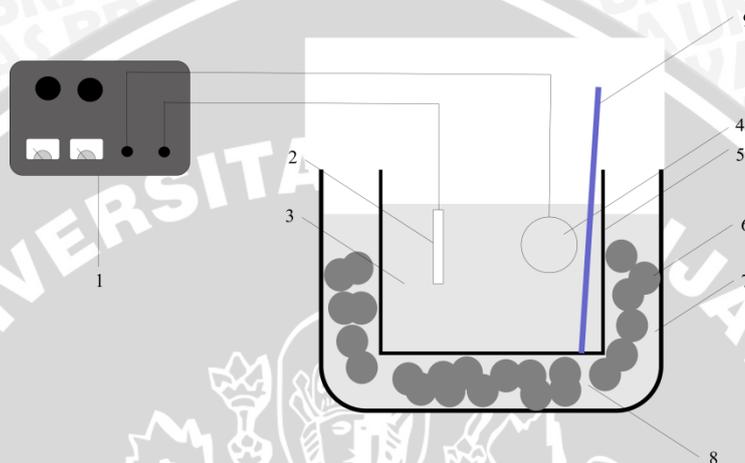
Variabel terikat pada penelitian ini adalah laju korosi pada proses *anodizing* pada AA6061.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah suhu operasi pada 0 – 5°C, molaritas Lautan 2M, tegangan listrik pada 20 V, dan jarak anoda ke katoda adalah 5 cm.

3.4 Skema dan instalasi alat

Berikut ini skema instalasi *anodizing* yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.1 Skema instalasi *anodizing*

Keterangan:

1. *Power supply*
2. Anoda (aluminium)
3. Larutan elektrolit (H_2SO_4)
4. Katoda (Titanium)
5. Bak *anodizing*
6. *Ice tube*
7. Bak Pendingin
8. Larutan garam
9. Termometer

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

3.5.1 Alat Penelitian

1. Termometer Alkohol

Termometer air raksa digunakan untuk mengukur suhu selama proses *pre-treatment* dan proses *anodizing* sehingga diketahui suhu dari larutan pada proses *pre-treatment* dan *anodizing* sesuai.

Spesifikasi:

Tingkat ketelitian : 1°

Suhu : 1-100°C

2. *Heater*

Digunakan untuk memanaskan larutan pada proses *treatment* aluminium.

3. Gelas ukur

Digunakan untuk mengukur volume larutan.

4. *Power Supply*

Digunakan sebagai sumber listrik.

5. Kawat

Digunakan untuk menggantung material saat proses *anodizing*

6. *Sentrifugal sand paper machine*

Digunakan untuk membersihkan permukaan logam dari karat dan kotoran lain serta dapat digunakan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang halus.

Spesifikasi:

Merk : Saphir

Buatan : Jerman

Diameter : 15 cm

Putaran : 120 rpm

7. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Digunakan untuk mengamati hasil lapisan proses *anodizing*

8. *Autolab PGSTAT 302 N*

Digunakan pada proses polarisasi untuk mengetahui laju korosi pada spesimen.

3.5.2 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan antara lain:

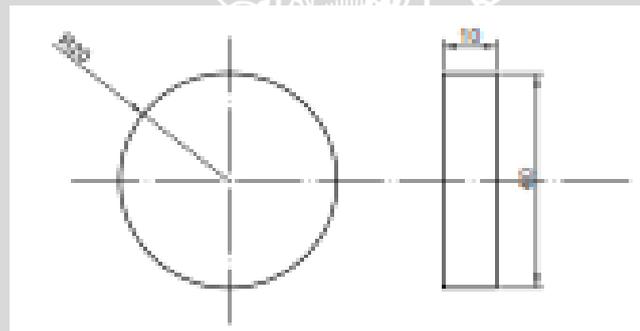
1. *Aluminium Alloy 6061*
2. *Titanium Alloy*

3. Larutan asam nitrat (H_2NO_3)
4. Larutan asam sulfat (H_2SO_4)
5. Larutan natrium hidroksida (NaOH)
6. Larutan garam
7. Es tube
8. Kain lap
9. Autosol

3.5.3 Dimensi dan Bentuk Spesimen yang Digunakan

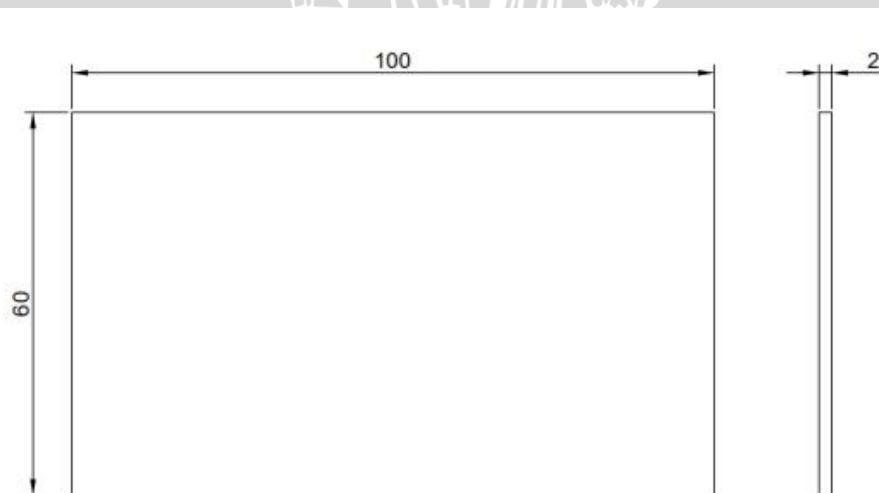
Dimensi dan bentuk spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Satuan: mm



Gambar 3.2 Bentuk dan dimensi spesimen paduan aluminium 6061

Satuan: mm



Gambar 3.3 dimensi dan ukuran titanium

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Studi literatur.
2. Mempersiapkan alat dan bahan penelitian.
3. Memotong spesimen (aluminium dan titanium) sesuai dengan ukuran.
4. Melakukan proses pengamplasan menggunakan kertas *abrasive* untuk memperoleh permukaan aluminium yang lebih halus.
5. Memberikan perlakuan panas pada spesimen (*annealing* dan *aging*).
 - a. *Annealing*

Spesimen AA6061 dipanaskan sampai suhu 415°C selama 3 jam kemudian diikuti dengan pendinginan lambat pada temperatur tungku.
 - b. *Aging*

Sampel akan dipanaskan selama 4 jam pada suhu 530°C, kemudian dicelupkan ke dalam air pada suhu kamar. Proses pemanasan selanjutnya yaitu semua sampel yang telah dicelup di dalam air dipanaskan kembali pada suhu 180°C selama 7 jam.
6. Memberikan perlakuan awal (*pre-treatment*) antara lain
 - a. *Degreasing*.
 - Dibuat campuran larutan H₂SO₄ dengan volume 15% dan aquades dengan aquades volume 85%.
 - Larutan H₂SO₄ dipanaskan sampai suhu 60-80°C.
 - Aluminium direndam selama 5 menit.
 - Alumium diangkat dan direndam dalam air murni.
 - b. *Alkaline Etching*.
 - Dibuat campuran larutan NaOH dengan berat volume 5% dan aquades dengan berat volume 95%.
 - Larutan NaOH dipanaskan sampai suhu 50-60°C.
 - Aluminium direndam selama 5 menit.
 - Alumium diangkat dan direndam dalam air murni.
 - c. *Desmutting*
 - Dibuat campuran larutan HNO₃ (asam nitrat) dengan berat volume 10% dan aquades dengan berat volume 90%.
 - Larutan HNO₃ dipanaskan sampai suhu 25-35°C.

- Aluminium direndam selama 5 menit.
 - Alumium diangkat dan direndam dalam air murni.
7. Proses *anodizing*.
- Aluminium hasil proses *pre-treatment* dengan diameter 40 mm dan ketebalan 10 mm dihubungkan dengan anoda pada *power supply* kemudian direndam pada bak elektrolisis (*electrolic bath*) yang berisi larutan H₂SO₄ (asam sulfat) dengan konsentrasi 2M sebanyak 1L pada suhu 23-27°C. Pada katoda *power supply* dihubungkan dengan plat titanium dengan diameter 38 mm dan ketebalan 10 mm. Pengaturan listrik dijaga konstan pada 20V.
8. Aluminium hasil proses *Anodizing* direndam dan dibersihkan dengan air murni dan dikeringkan.
9. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)
10. Pengujian spesimen untuk mengetahui laju korosi hasil proses *anodizing* AA6061 dengan menggunakan metode polarisasi.
11. Menganalisis hasil data pengujian.

3.7 Pengujian Hasil Proses *Anodizing*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil proses *anodizing* dilakukan dengan 2 cara yaitu Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan Pengujian polarisasi.

3.7.1 Prosedur Uji SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui karakteristik hasil proses *anodizing* yang terbentuk. Berikut ini tahapan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*).

1. Preparasi Sampel

Tahapan yang perlu dilakukan sebelum dilakukannya pengamatan spesimen hasil *anodizing* adalah preparasi sampel spesimen. Berdasarkan standar persiapan dan pengamatan metalografi tahapan preparasi sampel penujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

- *Cutting*
Memotong spesimen dari hasil *anodizing*
- *Grinding*

Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas. Proses pengamplasan ini bertujuan untuk mendapatkan kehalusan permukaan dan menghilangkan goresan-goresan kasar pada permukaan sampel

- *Polishing*

Sampel yang permukaan telah halus dan rata kemudian akan dipoles menggunakan zat poles alumina. Proses ini dilakukan setelah pengamplasan dengan tujuan untuk menghilangkan goresan akibat pengamplasan, sehingga didapatkan permukaan yang lebih halus dan mengkilap.

- *Etching*

Untuk mengamati mikrostruktur perl dilakukan proses etsa, yaitu proses korosi terkontrol yang bertujuan untuk mengkilis batas butir sehingga struktur mikro terlihat lebih jelas. Untuk pengamatan struktur aluminium zat etsa yang diberikan adalah HF 0,5% pada bagian permukaan sampel (± 30 detik), setelah dilakukan etsa kemudian sampel akan dibersihkan dengan air dan alkohol 70% dan dikeringkan. Setelah melalui tahapan proses ini sampel siap dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan SEM.

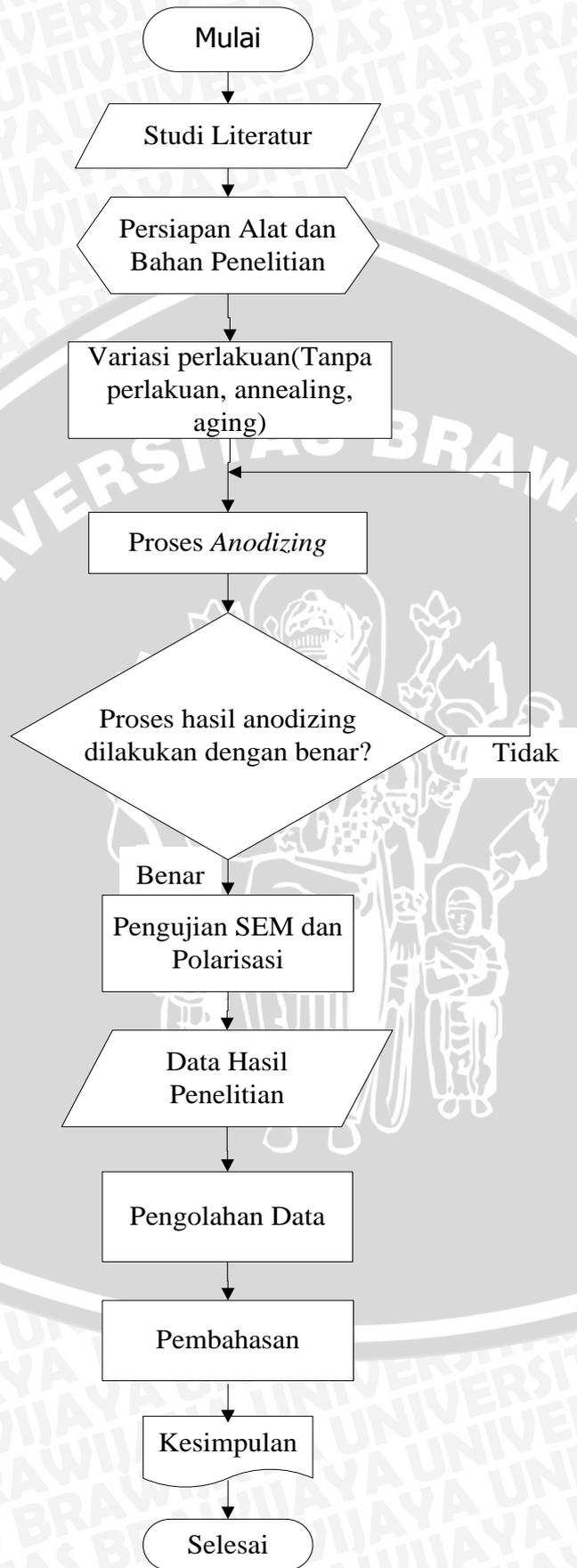
2. Pengamatan Struktur Mikro Menggunakan SEM

Pertama, dilakukan *coating* menggunakan unsur Au pada permukaan sampel sekitar satu jam. *Coating* pada permukaan sampel dilakukan agar tidak terjadi *charging* berlebih saat ditembakkan dengan elektron dan untuk meningkatkan kontras warna gambar. Kemudian sampel dimasukkan dalam alat pengujian SEM dan divakum selama 10 menit. Pada tahap ini, sampel ditembakkan elektron dengan *probe level* tertentu. Pantulan elektron yang terjadi setelah menumbuk sampel akan ditangkap oleh detektor *secondary electron*. Pengujian SEM dilakukan bertujuan untuk mengamati spesimen hasil proses *anodizing*.

3.7.2 Prosedur Pengujian Polarisasi

1. Menyiapkan spesimen uji.
2. Pasang spesimen pada elektroda kerja dengan cara dijepit.
3. menurunkan elektroda kerja sampai spesimen tercelup dalam larutan natrium klorida (NaCl).
4. Setelah didapatkan hasil kurva polarisasi linear, lepaskan spesimen dari elektroda penjepit.

3.8 Diagram Alir Penelitian

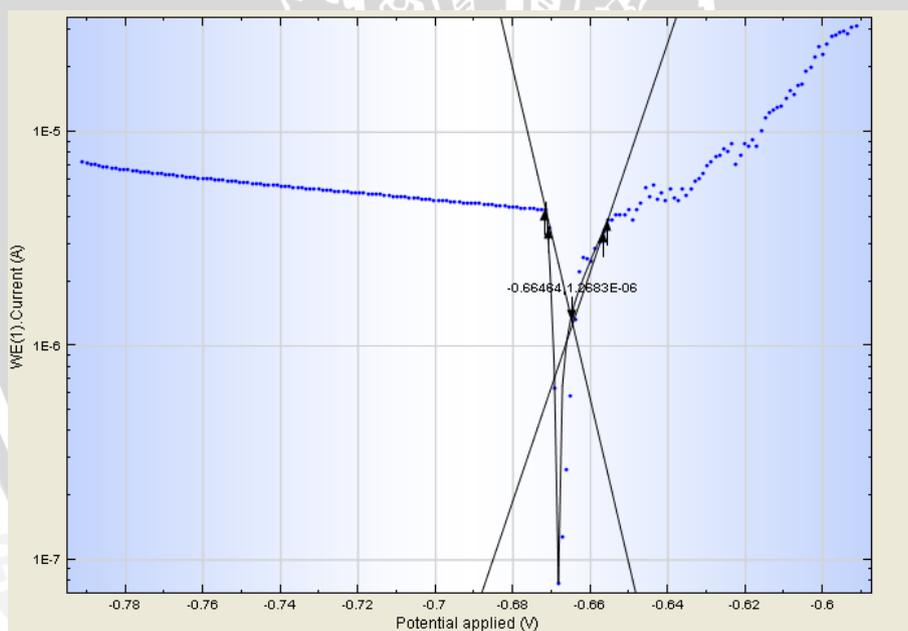


BAB IV

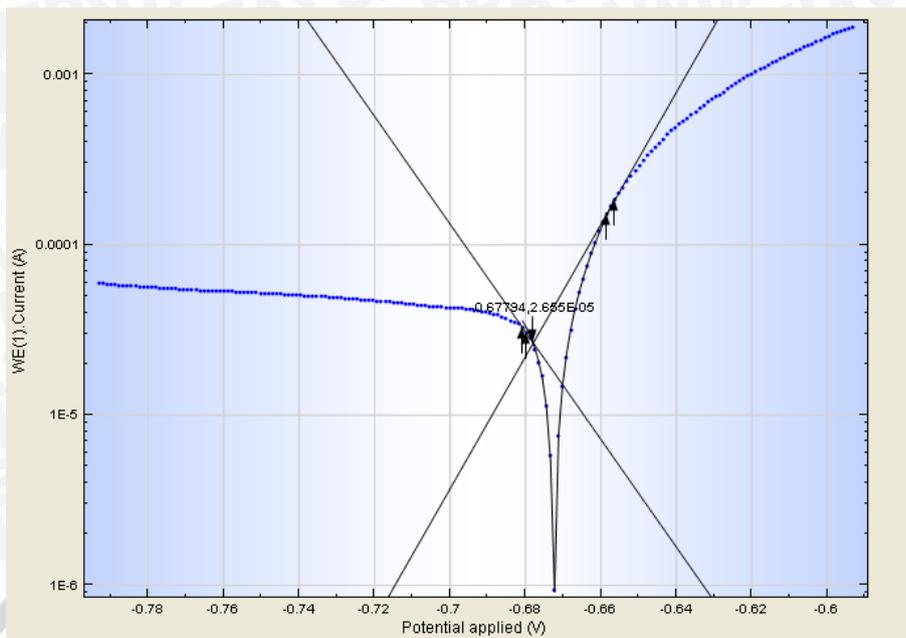
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan metode elektrokimia dengan menggunakan potensiostat. Potensiostat merupakan peralatan yang digunakan untuk mengamati fenomena yang terjadi selama proses korosi terjadi. Potensiostat akan mengaplikasikan tegangan listrik inputan kepada benda uji sehingga nilai arus selama proses korosi dapat diperoleh. Pada pengujian ini digunakan aluminium paduan 6061 sebagai elektroda kerja atau benda uji, platina sebagai elektroda bantu, dan Ag AgCl sebagai elektroda referensi.



Gambar 4.1 Kurva polarisasi sampel *aging*



Gambar 4.2 Kurva polarisasi sampel *annealing*

Pada gambar 4.1 dan 4.2 arus dan potensial dibagi menjadi daerah katodik dan anodik, dimana i_{app} di-plot pada pada masing-masing daerah sehingga diperoleh kurva katodik anodik. Kemudian ditarik garis linear yang menyinggung daerah linear pada kurva tersebut. Dari kurva polarisasi katodik dan anodik, akan diperoleh perpotongan pada satu titik yang menunjukkan i_{corr} dan E_{corr} . Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 data hasil pengujian polarisasi

| Perlakuan | E_{corr} (mV) | R_p (k Ω) | b_a (mV/dec) | b_c (mV/dec) | I_{corr} (nA/cm ²) | CR (mm/year) |
|------------------|--------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|
| <i>Annealing</i> | 668,450 | 1,44800 | 4,45770 | 24,0510 | 49,7510 | 0,00054203 |
| <i>Aging</i> | 672,450 | 0,166120 | 72,4520 | 46,1220 | 14635 | 0,15945 |

Dari data tabel 4.1 terlihat bahwa pada perlakuan *annealing* memiliki nilai ketahanan material terhadap oksidasi yang lebih baik dibandingkan material yang diberi perlakuan *aging* selama proses diberi arus dari luar.



4.2 Analisis Struktur dan Morfologi Hasil Anodizing

Hasil *anodizing* dipengaruhi oleh beberapa variabel salah satunya adalah rapat arus yang diberikan pada saat proses *anodizing*. Nilai rapat arus (*current density*) ditunjukkan pada tabel 4.2.

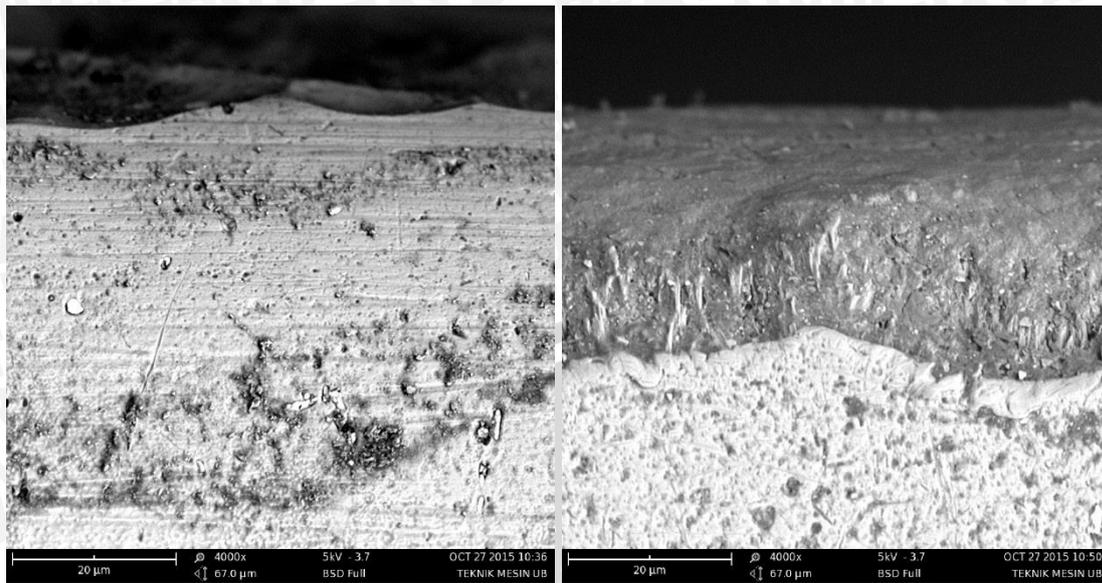
Tabel 4.2 Nilai rapat arus pada proses *anodizing* pada tegangan yang sama.

| Perlakuan | Tegangan (V) | Rapat Arus (A/cm ²) |
|------------------|--------------|---------------------------------|
| <i>Annealing</i> | 20 | 0,6 |
| <i>Aging</i> | 20 | 1 |

Pada tabel 4.2 menunjukkan perbedaan nilai rapat arus pada material *anodizing* hasil *annealing* dan *aging*. Hal ini dikarenakan perlakuan panas yang diberikan pada material aluminium mengakibatkan perubahan sifat konduktivitas listrik. Material hasil *annealing* memiliki ukuran butiran yang lebih besar dan kasar. Selain itu, pada proses *annealing* terjadi penurunan tegangan mikro kisi yang signifikan. Sedangkan pada material hasil *aging* memiliki ukuran butiran yang lebih kecil dan seragam dikarenakan laju pendinginan cepat (*quenching*) pada proses *aging*. Ukuran butiran berpengaruh pada nilai konduktivitas listrik. Besar kecilnya nilai konduktivitas listrik dipengaruhi hambatan yang dimiliki material (*material resistivity*).

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar hambatan adalah batas butiran (*grain boundaries*). Semakin besar batas butir maka hambatan yang ditimbulkan akan semakin besar. Semakin kecil ukuran butiran semakin kecil batas butirnya sehingga *aging* memiliki hambatan (*resistivity*) yang lebih kecil dibandingkan *annealing*. Menurut Sauvage, dkk (2015) ukuran butiran yang halus dapat meningkatkan konduktivitas listrik material dimana pada paduan Al-Mg-Si yang sangat halus dapat mengoptimalkan konduktivitas listrik. Sehingga material hasil *aging* memiliki konduktivitas yang lebih baik dibandingkan *annealing*.

Hasil *anodizing* diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui perbedaan struktur dan morfologi hasil *anodizing* material dengan perlakuan *annealing* dan *aging*.



(a)

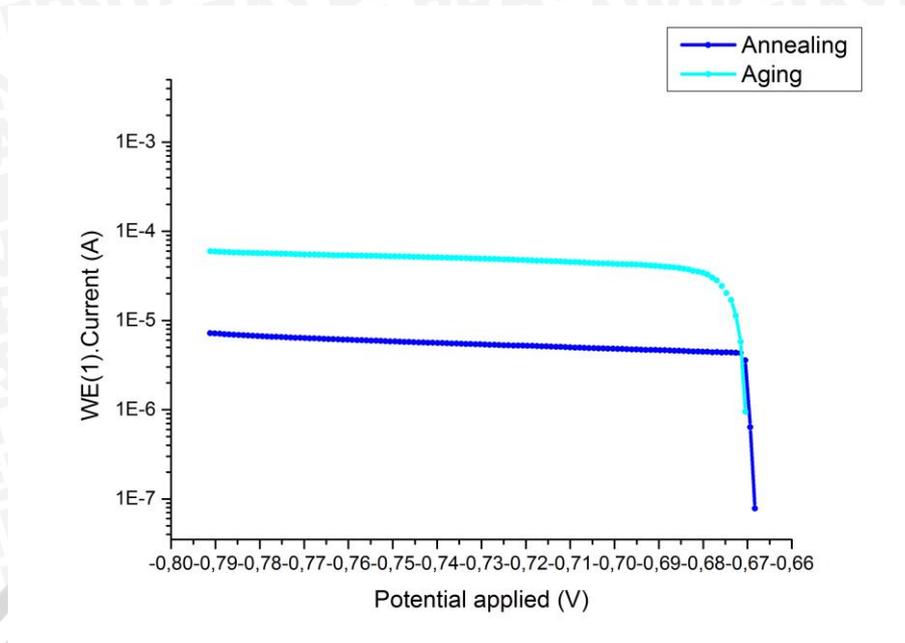
(b)

Gambar 4.3 Hasil foto *scanning electron microscopy* perbesaran 4000x (a) spesimen hasil *anodizing* dengan perlakuan *aging* (b) spesimen hasil *anodizing* dengan perlakuan *annealing*

Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan struktur dan morfologi lapisan aluminium yang oksida yang terbentuk dari proses *anodizing*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada material dengan perlakuan *aging* lapisan oksida yang terbentuk lebih tebal dibandingkan material dengan perlakuan *annealing*. Namun pada material dengan perlakuan *aging* struktur lapisan yang terbentuk memiliki porositas lebih banyak dibandingkan *annealing*. Porositas yang terdapat lapisan oksida akan mengakibatkan senyawa atau partikel dari luar lebih mudah kontak dengan material induk (*base material*).

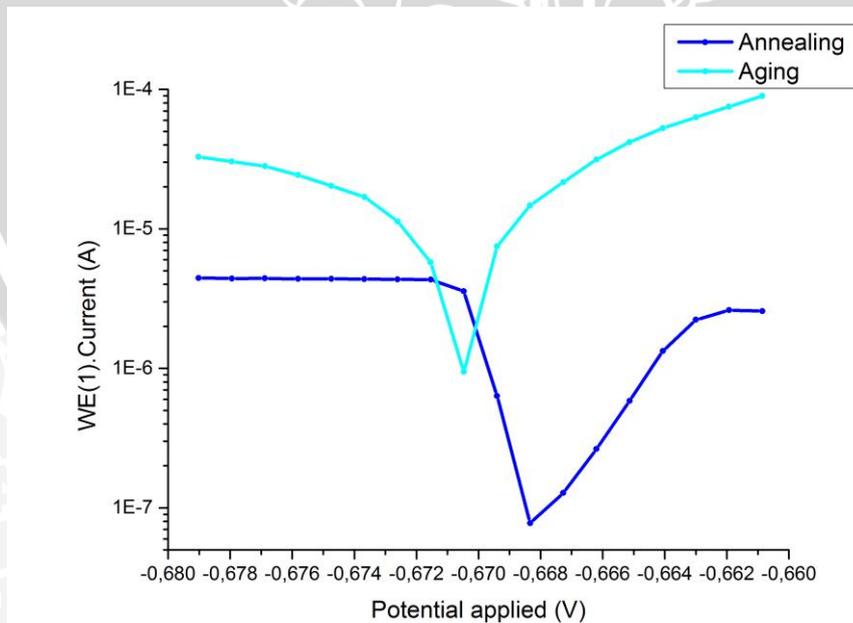
4.3 Analisis Laju Korosi Hasil *Anodizing*

Dari pengujian polarisasi linier menggunakan potensiostat autolab (PGSTAT302N) diperoleh grafik plot hubungan potensial dan kecepatan arus yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



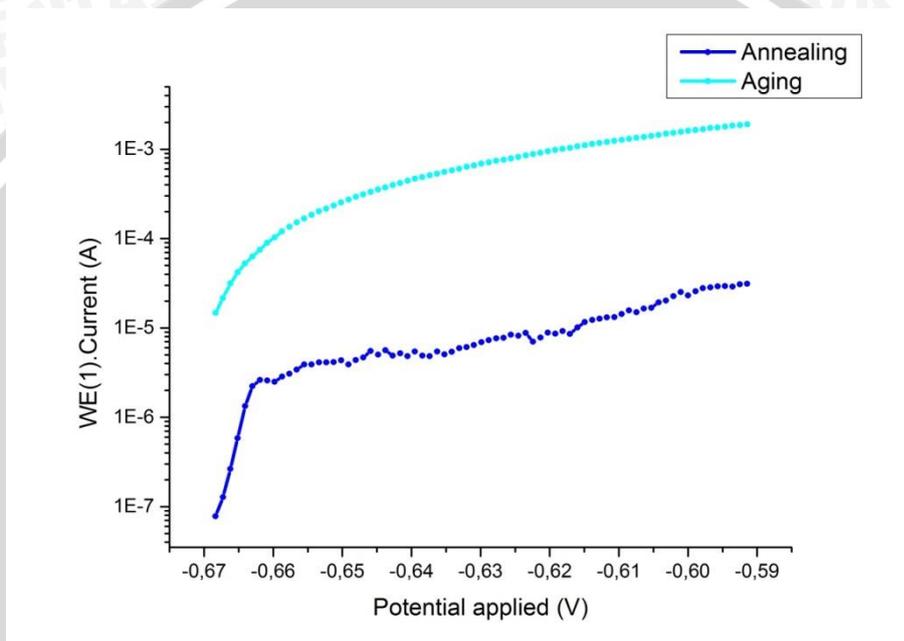
Gambar 4.4 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus kurva anodik.

Gambar 4.4 menunjukkan daerah potensial anodik dimana pada daerah tersebut terjadi reaksi oksidasi. Pada kurva tersebut terjadi pergeseran potensial dalam arah positif (atas E_{corr}) dimana pada kurva polarisasi anodik, potensial akan meningkat dengan turunnya arus. Namun pada daerah tersebut nilai arus (current) yang bekerja relatif stabil karena pada tersebut terjadi proses pemasivan (*passivity*).



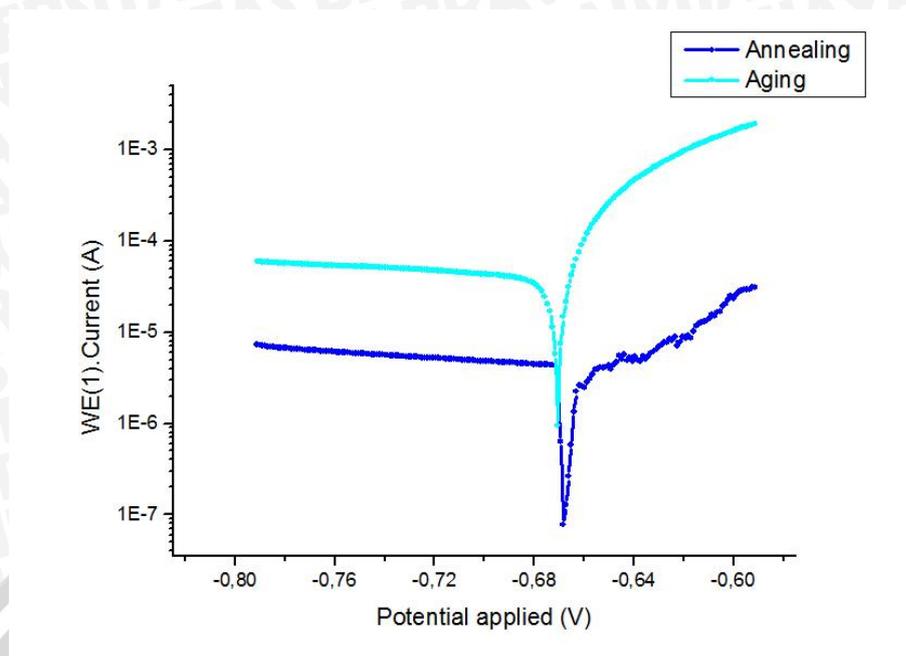
Gambar 4.5 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus.

Gambar 4.5 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus pada daerah anodik dan katodik. Pada potensial $-0,671$ V sampai dengan $-0,668$ V terjadi pemasivan (*passivity*) yang signifikan dan mulai aktif pada potensial lebih dari $-0,668$ V sampai $-0,662$ V. Namun pada daerah tersebut nilai korosi material masih rendah, karena nilai arus (*current*) yang bekerja pada alumium masih rendah. Sehingga pada potensial $-0,671$ V sampai dengan $-0,662$ V dapat dianggap daerah pasif dan memiliki tingkat korosi yang rendah.



Gambar 4.6 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus kurva katodik.

Gambar 4.6 menunjukkan daerah potensial katodik dimana pada daerah tersebut terjadi reaksi reduksi. Pada kurva tersebut terjadi pergeseran potensial dalam arah negatif (bawah E_{corr}) pada kurva polarisasi katodik, potensial akan meningkat dengan bertambahnya arus.



Gambar 4.7 grafik plot antara potensial dan kecepatan arus.

Gambar 4.7 menunjukkan kondisi saat material mengalami korosi pada potensial (E_{corr}) dengan rapat arus tertentu (i_{corr}). Pada kurva daerah potensial katodik, terjadi reaksi berupa reduksi oksigen sedangkan pada kurva daerah potensial anodik, dimulai dari potensial korosi (E_{corr}) terjadi reaksi oksidasi, ditandai dengan kurva polarisasi yang mengalami pergeseran arus dan potensial.

Dari grafik plot tersebut dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan laju korosi material hasil *anodizing* yang diberi perlakuan *annealing* dan *aging*. Material dengan perlakuan *annealing* memiliki laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan material dengan perlakuan *aging* karena perlakuan *aging* dapat meningkatkan konduktivitas listrik material induk sehingga rapat arus yang dihasilkan pada saat *anodizing* lebih besar sehingga material dengan perlakuan *aging* struktur lapisan aluminium oksida yang terbentuk lebih banyak *porous* dibandingkan dengan perlakuan *annealing*.

Hal ini mengakibatkan resistansi polarisasi hasil *anodizing* dengan perlakuan *annealing* lebih kecil dari pada *aging* sehingga kemampuan material untuk tahan terhadap oksidasi berkurang, dimana reaksi oksidasi menunjukkan material tersebut terkorosi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan He dan Cai. Menurut He dan Cai (2007) lapisan hasil *anodizing* yang dibentuk pada rapat arus yang lebih tinggi memiliki ciri-ciri struktur dengan katahan korosi yang lebih rendah. Sehingga

pengujian polalisasi menunjukkan ketahanan korosi menurun ketika rapat arus meningkat. Dengan demikian, hipotesis berbeda dengan hasil eksperimen.



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan diperoleh bahwa perlakuan panas annealing dan aging yang diberikan pada logam induk mengakibatkan perubahan konduktivitas listrik berbeda. Konduktivitas listrik aluminium dengan perlakuan *aging* lebih baik dibandingkan perlakuan *annealing*, yang ditunjukkan dengan perbedaan rapat arus saat proses anodizing. Hasil anodizing dengan perlakuan annealing memiliki laju korosi yang lebih rendah dari pada *aging*. Hal ini dikarenakan semakin besar rapat arus menghasilkan struktur lapisan aluminium oksida yang lebih *berporous* sehingga resistansi yang dihasilkan aluminium oksida pada hasil *anodizing* dengan perlakuan *aging* lebih rendah dibandingkan *annealing*. Sehingga hipotesa berbeda dengan hasil eksperimen.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada variasi perlakuan *annealing* dan *aging* pada proses *anodizing* terhadap laju korosi untuk memperoleh data yang lebih rinci.
2. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan analisis pengaruh perlakuan panas pada aplikasi yang lain.