



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI KETAHANAN KOROSI DAN KERENTANAN
TERHADAP *PITTING CORROSION* PADUAN
ALUMINIUM HASIL Pengerolan Dingin**

Surya Ginanjar
NRP. 2113105001

Dosen Pembimbing,
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc.

PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM METALLURGY
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI KETAHANAN KOROSI DAN
KERENTANAN TERHADAP *PITTING*
CORROSION PADUAN ALLUMINIUM HASIL
PENGGEROLAN DINGIN**

Surya Ginanjar
NRP. 2113105001

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM141585

***STUDY OF CORROSION RESISTANCE AND
SUSCEPTIBILITY TO PITTING CORROSION OF
COLD ROLLED ALUMINIUM ALLOY***

Surya Ginanjar
NRP. 2113105001

Academic Supervisor
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**STUDI KETAHANAN KOROSI DAN
KERENTANAN TERHADAP *PITTING*
CORROSION PADUAN ALUMINIUM HASIL
PENGEROLAN DINGIN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Surya Ginanjar
NRP. 2113105001

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir Abdullah Shahab, M.Sc...... (Pembimbing)
(NIP. 195204171979031002)
2. Ir.Hari Subiyanto, M.Sc...... (Penguji I)
(NIP. 196006231988031002)
3. Suwarno, ST.,MSc.,PhD..... (Penguji II)
(NIP. 198005202005011003)
4. Ika Dewi Wijayanti, ST, MSc...... (Penguji III)
(NIP. 198512022014042002)

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

STUDI KETAHANAN KOROSI DAN KERENTANAN TERHADAP PITTING CORROSION PADUAN ALLUMINIUM HASIL Pengerolan DINGIN

Nama Mahasiswa : Surya Ginanjar

NRP : 2113105001

Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS

Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab , M.Sc

Abstrak

Aluminium merupakan salah satu material penting yang banyak digunakan dalam dunia teknologi terutama dalam industri penerbangan. Aluminium memiliki sifat yang ringan, konduktivitas panas dan listrik yang tinggi dan memiliki ketahanan terhadap korosi. Namun aluminium dalam keadaan murni memiliki sifat mekanik yang rendah, sehingga harus dipadukan dengan unsur lain. Pemaduan ini, pada kondisi tertentu, bisa menimbulkan kerentanan aluminium terhadap korosi.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan studi eksperimen tetang Pitting Corrosion (korosi sumuran) dan analisis ketahanan korosi pada plat paduan aluminium hasil pengerolan dingin dengan reduksi ketebalan pengerolan plat aluminium divariasikan dari 0% sampai 50% dari ketebalan awal plat 4 mm. Spesimen dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 2 mm direndam dalam larutan NaOH dalam waktu tertentu. Fenomena pitting corrosion diamati dengan melihat timbulnya Pitting (lubang) pada permukaan yang mengalami korosi. Pengujian ketahanan korosi dilakukan dengan membandingkan kehilangan berat dari spesimen sebelum dan sesudah proses perendaman dalam larutan NaOH pada waktu tertentu.

Dari eksperimen yang telah dilakukan diperoleh data bahwa aluminium paduan hasil pengerolan dingin memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah dan lebih rentan terhadap pitting corrosion.

Kata kunci : Aluminium, pengerolan dingin, ketahanan korosi, *pitting corrosion*

STUDY OF CORROSION RESISTANCE AND SUSCEPTIBILITY TO PITTING CORROSION OF COLD ROLLED ALUMINIUM ALLOY

Name : Surya Ginanjar
NRP : 2113105001
Departement : Teknik Mesin FTI – ITS
Academic Supervisor : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab , M.Sc

Abstrack

Aluminium is one of the important material that is widely used in the world of technology, especially in the aviation industry. Aluminium has light properties, thermal and electrical conductivity is high, and has a corrosion resistance. But in pure situation,aluminum has a low mechanical properties, so it must be combined with other element. This integration, in certain condition, can lead the aluminium susceptible to corrosion.

In this final task, will be performed experimental studies on Pitting Corrosion and corrosion resistance analysis on the results of the aluminium composite plate cold rolling with a reduction in the thickness of the aluminium plate rolling varied from 0% to 50% of the initial thickness of 4 mm plate. Specimens with a size of 10 mm x 10 mm x 2 mm was soaked in a solution of NaOH in certain time. The phenomenon of Pitting Corrosion was observed by looking at the incidence of pitting (holes) on the surface of which is subject to corrosion. Corrosion resistance testing is done by comparing the weight loss of the specimen before and after immersion in a solution of NaOH at a particular time.

Of the experiments that have been conducted data showed that aluminium composite cold rolling results has lower corrosion resistance and more susceptible to Pitting Corrosion.

Keywords : *Aluminium, cold rolling, corrosion resistance, pitting corrosion.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materiil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain :

1. **Ayah** dan **Ibu** tercinta dengan seluruh kesabarannya dan ketabahan yang selalu melimpahkan do'a, sukungan moral dan materiil, bimbingan, semangat dan sebagai motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc.** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu mengarahkan dan memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
3. Bapak **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.**, dan bapak **Suwarno, ST., M.Sc., PhD** serta Ibu **Ika Dewi Wijayanti ST, MSc.** selaku dosen penguji tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. **Halida Halimatussadiyah** sebagai motivasi penulis untuk menyelesaikan studi S1, untuk kesabaran serta semangatnya you're best i ever had . "one step closer"
5. Bapak **Dr. Ir. Aditianto Ramelan**, selaku ketua lab metalurgi ITB dan bapak **Juni** yang telah mengizinkan dan membantu penulis untuk praktek pengerolan di ITB.
6. Bapak **Drs. Abdul Karim, SST**, bapak **Upri** dan kang **Ian** yang telah membantu dan memfasilitasi penulis

untuk melakukan penelitian dan pengambilan data di lab metalurgi Polban.

7. Teman-teman seperjuangan Lab MBP yang telah memberikan masukan serta memberikan sarana dan prasarana penulis hingga laporan ini selesai .
8. Teman-teman LJ Ganjil 2012/2013, terima kasih atas bantuan, doa dan dukungannya selama ini. Semoga silaturahmi kita selalu terjalin.
9. Nak **Eskaridho Gultom** atas kebaikannya meminjamkan laptop selama pembuatan laporan, semoga cepat menyusul wisuda 114 nak ridho aamiin.
10. Rekan-rekan Alumni POLBAN, khususnya Teknik Mesin 2008, yang telah memberikan dukungannya.
11. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS,
12. Seluruh civitas akademika Teknik Mesin ITS.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR JUDUL | |
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5 Manfaat Hasil Penelitian..... | 3 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 5 |
| 2.2 Aluminium dan paduannya..... | 5 |
| 2.2.1 Pengaruh Pemasukan Pada Terhadap Korosi..... | 7 |
| 2.3 Proses Pengerolan..... | 8 |
| 2.3.1 Proses Pengerolan Dingin..... | 9 |
| 2.3.2 Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Sifat Logam..... | 9 |
| 2.3.3 Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Korosi..... | 10 |
| 2.4 Perhitungan Laju Korosi..... | 11 |
| 2.5 <i>Pitting Corrosion</i> (Korosi Sumuran)..... | 12 |
| 2.5.1 Mekanisme <i>Pitting Corrosion</i> (Korosi Sumuran)..... | 13 |
| | |
| BAB III METODOLOGI | 17 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 17 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2 | Persiapan Alat dan Bahan..... | 18 |
| 3.2.1 | Bahan..... | 18 |
| 3.2.2 | Peralatan | 18 |
| 3.2.3 | Alat ukur | 18 |
| 3.3 | Persiapan Proses Pengerolan..... | 18 |
| 3.3.1 | Pembuatan Spesimen untuk Proses Pengerolan | 18 |
| 3.3.2 | Proses Pengerolan..... | 19 |
| 3.4 | Pengujian Kekerasan | 20 |
| 3.4.1 | Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian Kekerasan | 20 |
| 3.4.2 | Pengujian Kekerasan | 20 |
| 3.5 | Pengujian Metalografi | 21 |
| 3.5.1 | Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian Metalografi | 21 |
| 3.5.2 | Proses polishing..... | 21 |
| 3.5.3 | Pengujian Metalografi | 22 |
| 3.6 | Pengujian <i>Pitting Corrosion</i> | 23 |
| 3.6.1 | Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian <i>Pitting Corrosion</i> | 23 |
| 3.6.2 | Pengujian Diameter dan jumlah <i>Pitting Corrosion</i> | 23 |
| 3.6.3 | Pengujian Ketahanan Terhadap <i>Pitting Corrosion</i> | 24 |
| 3.7 | Pengujian <i>Weight loss</i> (Kehilangan Berat)..... | 25 |
| 3.7.1 | Pembuatan Spesimen Pengujian <i>Weight Loss</i> ... | 25 |
| 3.7.2 | Pengujian <i>Weight Loss</i> | 25 |
| 3.8 | Rancangan Percobaan..... | 26 |
| 3.8.1 | Rancangan Percobaan Uji Kekerasan..... | 26 |
| 3.8.2 | Rancangan Percobaan Pengujian Strukturmikro | 26 |
| 3.8.3 | Rancangan Percobaan Pengujian <i>Weight Loss</i> .. | 27 |
| 3.8.4 | Rancangan Percobaan Pengujian Diameter <i>Pitting Corrosion</i> | 27 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2-1 Pengaruh pemaduan unsur terhadap potensial aluminium ^[4] | 6 |
| Gambar 2-2 Proses pengerolan..... | 7 |
| Gambar 2-3 Pengaruh <i>cold working</i> terhadap <i>hardness</i> , <i>ductility</i> , <i>strength</i> dan <i>grain size</i> ^[8] | 8 |
| Gambar 2-4 Perubahan <i>corrosion</i> potential terhadap derajat deformasi hasil <i>cold work</i> ^[11] | 9 |
| Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian | 15 |
| Gambar 3-2 Skema spesimen awal..... | 17 |
| Gambar 3-3 Mesin Rol..... | 17 |
| Gambar 3-4 Spesimen uji keras..... | 18 |
| Gambar 3-5 Mesin Uji Keras | 18 |
| Gambar 3-6 Spesimen uji metalografi..... | 19 |
| Gambar 3-7 Mesin Polishing..... | 20 |
| Gambar 3-8 Mikroskop | 20 |
| Gambar 3-9. Skema spesimen uji <i>pitting corrosion</i> | 21 |
| Gambar 3-10. Skema spesimen uji <i>weight loss</i> | 23 |
| Gambar 4-1 Pengaruh derajat deformasi terhadap kekerasan. | 28 |
| Gambar 4-2 Perbandingan Kehilangan berat tiap reduksi..... | 30 |
| Gambar 4-3 Perbandingan evolusi diameter dan jumlah <i>pitting</i> terhadap waktu dan derajat pengerolan. | 32 |
| Gambar 4-4 Perbandingan evolusi diameter <i>pitting</i> setiap reduksi. | 33 |
| Gambar 4-5 Ketahanan terhadap <i>pitting corrosion</i> | 35 |
| Gambar 4-6 Foto strukturmikro (a) Sebelum dirol 0% dan (b) setelah dirol 50% dengan perbesaran 20x. | 37 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Table 2-1 Klasifikasi paduan aluminium ^[4] | 5 |
| Table 2-2 Perbandingan tingkat klasifikasi laju korosi ^[1] | 11 |
| Table 3-1 Rancangan Percobaan Pengujian Kekerasan | 24 |
| Table 3-2 Rancangan Percobaan Pengujian Stuktur mikro | 24 |
| Table 3-3 Rancangan Percobaan Pengujian <i>Weight Loss</i> | 25 |
| Table 3-4 Rancangan Percobaan <i>Pitting corrosion</i> | 26 |
| Tabel 4-1 Data Hasil Pengujian Kekerasan..... | 27 |
| Tabel 4-2 Data Hasil Percobaan <i>Weight Loss</i> | 29 |
| Table 4-3 Data perbandingan Diameter <i>Pitting</i> | 32 |

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan salah satu material penting yang banyak digunakan dalam dunia teknologi terutama pada industri penerbangan. Aluminium memiliki sifat yang ringan, daya konduktivitas listrik dan ketahanan korosi yang baik. Namun di balik kelebihan-kelebihan ini, aluminium, terutama dalam keadaan murni memiliki kelemahan berupa sifat mekanik yang relatif rendah yang membatasi pemanfaatannya. Pemaduan aluminium dengan berbagai unsur seperti Cu, Si, Mg, Ti, Mn, Cr, Ni dan sebagainya sering dilakukan dalam rangka meningkatkan sifat mekanik aluminium ini. Pemaduan ini ternyata memiliki konsekuensi yang lain, yaitu peningkatan kerentanan aluminium terhadap korosi.

Fontana (1987) dalam bukunya menyatakan bahwa korosi merupakan kerusakan suatu material karena adanya reaksi dengan lingkungan sekitar[2]. Di sini yang dimaksud dengan lingkungan sekitar bisa berupa lingkungan asam, udara, embun, air laut, air danau, dan air tanah. Pada lingkungan yang korosif, laju korosi material akan semakin tinggi; hal ini adalah akibat dari faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap laju korosi logam. Selain itu, laju korosi juga dipengaruhi oleh faktor material itu sendiri. Material yang memiliki tegangan sisa atau internal stress akan memiliki laju korosi yang lebih besar dibanding dengan material dalam keadaan biasa. Sehubungan dengan hal ini, maka perlu adanya kajian dan penelitian lebih lanjut mengenai korosi pada suatu material yang diaplikasikan pada lingkungan korosif terutama material yang mengalami internal stress.

Pada dasarnya korosi terdiri dari berbagai bentuk, salah satunya adalah pitting corrosion (korosi sumuran). Pitting corrosion dianggap berbahaya karena pada bagian permukaan hanya berupa lubang kecil, sedangkan pada bagian dalamnya terjadi proses korosi membentuk sumur yang tidak tampak. Satu lubang dalam sistem besar dapat menghasilkan bencana

kegagalan sistem. Sebagai contoh pada kasus pesawat Aero Commander 680E pada tahun 1990 di Swedia, dimana pesawat mengalami kecelakaan akibat adanya Pitting corrosion pada bagian Spar cap yang merupakan salah satu komponen penting pada bagian sayap pesawat, kecelakaan ini mengakibatkan terjadinya dua orang korban jiwa[5] .

Oleh karena itu pada tugas akhir ini penulis akan membahas tentang pengaruh variasi derajat pengerolan proses pengerolan dingin pada plat aluminium terhadap pitting corrosion dan laju korosi dalam media korosif NaOH.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh derajat pengerolan pada plat paduan aluminium dengan proses pengerolan dingin terhadap perubahan kekerasan dan struktur mikro ?
2. Bagaimana pengaruh derajat pengerolan pada plat paduan aluminium dengan proses pengerolan terhadap *pitting corrosion* dan ketahanan korosi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh derajat pengerolan pada plat paduan aluminium dengan proses pengerolan dingin terhadap kekerasan dan struktur mikro.
2. Mengetahui pengaruh derajat pengerolan pada plat paduan aluminium dengan proses pengerolan terhadap *pitting corrosion* dan ketahanan korosi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang berikan pada penelitian ini agar memudahkan dan mengarahkan untuk mencapai hasil yang diinginkan adalah:

1. Proses pengkorosian oleh udara dianggap tidak terjadi.
2. PH larutan media korosi diasumsikan konstan.

1.5 Manfaat Hasil Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh dari pengerolan dingin terhadap perubahan sifat mekanik dan ketahanan korosi dari plat aluminium.
2. Sebagai literatur untuk penelitian selanjutnya.
3. Dapat memahami dan mengerti mekanisme serta konsep terjadinya *pitting corrosion* pada plat aluminium.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Asep Dedi Supriadi[6] melakukan penelitian ketahanan korosi dengan metoda *weight loss* pada plat baja karbon rendah. Pengujian ketahanan korosi dengan memvariasikan ketebalan spesimen melalui metoda pengerolan dingin dengan reduksi 0% sampai 50% dari ketebalan awal plat 4mm. Larutan korosif menggunakan larutan *aqua regia*. Dari hasil percobaan yang dilakukan dapat diketahui, bahwa spesimen yang mengalami reduksi paling besar memiliki ketahanan korosi lebih rendah dibandingkan dengan spesimen dengan reduksi lebih kecil. Hal ini disebabkan karena *internal stress* yang terjadi akan semakin besar seiring dengan semakin besarnya reduksi dari 0% sampai 50% .

Rizki Agustina W[10] melakukan penelitian analisa korosi sumuran pada paduan aluminium seri 6063 dalam larutan 3% NaOH. Sebelum dilakukan pengujian korosi, benda uji diberi perlakuan panas pada temperatur 540°C dan penahanan 30, 60, dan 90 menit. Pengujian dalam larutan 3% NaOH selama 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 jam. Hasil pengujian menunjukkan pada waktu pencelupan uji korosi selama 6 jam mengalami penurunan ketahanan korosi sebesar 2.60% pada waktu penahanan 30 menit dan meningkat sebesar 6.12% dan 8.37% secara berturut-turut pada waktu penahanan 60 dan 90 menit.

2.2 Aluminium dan paduannya

Aluminium merupakan logam non-ferrous yang mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik pada suatu lingkungan tertentu. Material ini bisa diaplikasikan dalam bidang yang luas, baik dalam industri otomotif sebagai komponen engine maupun dalam industri penerbangan sebagai komponen sayap pesawat.

Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan mekanik yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan sifat mekanik yang tinggi, maka dari itu perlu tambahan unsur lain untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya.

Berdasarkan pembentukan benda kerja, aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Sesuai dengan Tabel 2-1 Sistem klasifikasi paduan aluminium yang banyak dipakai adalah sistem *Aluminium Association* (AA). Standar ini mencakup klasifikasi berdasarkan cara pembuatan serta unsur paduan utamanya.

Table 2-1 Klasifikasi paduan aluminium[4]

| Alloying element | Series of casting alloys | Series of wrought alloys |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| None | 10000 | 1000 |
| Copper | 20000 | 2000 |
| Manganese | | 3000 |
| Silicon | 40000 | 4000 |
| Magnesium | 50000 | 5000 |
| Magnesium and silicon | | 6000 |
| Zinc (and copper) | 70000 | 7000 |

Sumber: Vergel.Christian , *Corrosion of alluminium*, hal. 27

Pada standar AA (*aluminium Association*) setiap digit memiliki makna sebagai berikut:

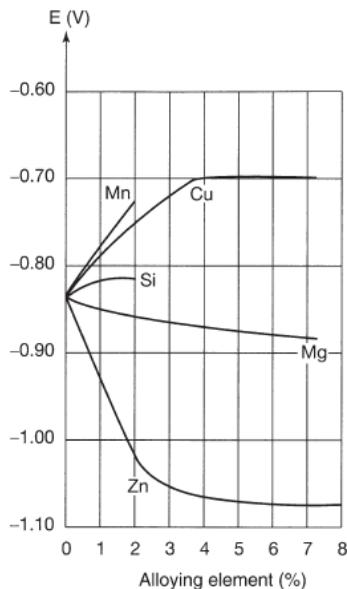
- Digit pertama menunjukkan jenis unsur paduan.
- Digit kedua menunjukkan sifat khusus: angka kedua menunjukkan bilangan 0 (nol) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika menunjukkan angka angka 1

(satu) sampai dengan 9 (sembilan) memerlukan perhatian khusus.

- Digit ketiga dan keempat menunjukkan spesifikasi paduan lainnya atau kemurnian aluminium.

2.2.1 Pengaruh Pemaduan Pada Terhadap Korosi

Pemaduan unsur dapat merubah potensial dari aluminium, seperti yang terlihat pada Gambar 2-1. Pemaduan unsur dapat mengubah potensial dari aluminium baik ke arah positif maupun negatif. Pemaduan unsur Zn (*Zinc*) dapat mengurangi potensial aluminium dengan sangat drastis ke arah negatif. Hal ini berbanding terbalik dengan pemaduan unsur Cu (*Copper*) dimana dengan pemaduan unsur Cu dapat menambah potensial ke arah positif.

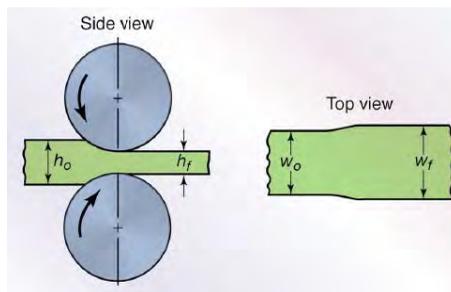


Gambar 2-1 Pengaruh pemaduan unsur terhadap potensial aluminium[4].

Aluminium murni 99,99% atau lebih, sangat tahan terhadap *pitting corrosion*. Pemaduan unsur-unsur lain akan mengurangi ketahanan aluminium terhadap *pitting corrosion*. Paduan 5xxx Al-Mg dan paduan 3xxx Al-Mn merupakan material yang tahan terhadap *pitting corrosion*. Aluminium murni, 3xxx, 5xxx, dan seri 6xxx tahan terhadap beberapa bentuk korosi lokal seperti *exfoliation*, dan SCC (*Stress Corrosion Cracking*). Namun, paduan 5xxx yang mengandung magnesium lebih dari batas kelarutan padat (di atas 3% magnesium) bisa rentan terhadap korosi *exfoliation* dan SCC ketika dipanaskan pada waktu yang cukup lama pada suhu sekitar 80 sampai 175°C^[9].

2.3 Proses Pengerolan

Proses pengerolan merupakan suatu proses deformasi dimana ketebalan dari benda kerja direduksi menggunakan daya tekan dengan dua buah rol atau lebih. Seperti tampak pada Gambar 2-2. Pada proses pengerolan, benda dikenai tegangan kompresi yang tinggi yang berasal dari tekanan rol dan tegangan geser serta gesek pada permukaan sebagai akibat gesekan antara rol dan logam. Selama proses rol, tegangan ini mengakibatkan terjadinya deformasi plastis. Produk akhir dari proses ini adalah logam plat dan lembaran (*sheet*). Tujuan utama pengerolan adalah untuk memperkecil tebal logam. Biasanya penurunan ketebalan mengakibatkan terjadi sedikit pertambahan lebar dan panjang^[6].



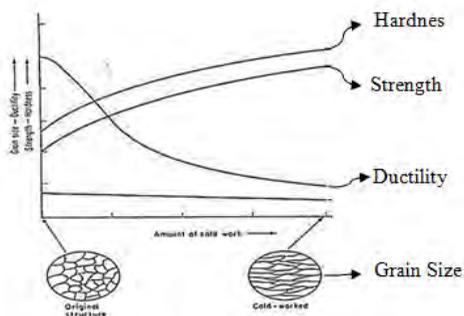
Gambar 2-2 Proses pengerolan

2.3.1 Proses Pengerolan Dingin

Proses pengerolan pengerjaan dingin (*cold working*) yang merupakan pembentukan plastis logam di bawah suhu rekristalisasi. Pada umumnya dilakukan pada suhu kamar jadi tanpa pemanasan benda kerja. Suhu rekristalisasi yang dimaksud adalah suhu pada saat bahan logam akan mengalami perubahan struktur mikro. Perubahan struktur mikro ini akan mengakibatkan perubahan karakteristik bahan logam tersebut. Keunggulan proses pengerjaan dingin adalah kondisi permukaan benda kerja yang lebih baik dari pada yang diproses dengan pengerjaan panas. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya proses pemanasan yang dapat menimbulkan kerak pada permukaan.

2.3.2 Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Sifat Logam

Material yang sudah dilakukan proses pengerolan dingin akan mengalami perubahan bentuk butir karena terdeformasi plastis, jika dilihat dengan mikroskop bentuk butir akan menjadi pipih. Sebagai akibat dari pengerolan dingin, maka sifat mekanik logam akan mengalami perubahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-3. Dimana sifat mekanik *hardness* dan *strength* akan naik seiring dengan semakin tinggi derajat pengerolan, sedangkan *ductility* (keuletan) dari logam akan menurun dengan semakin tingginya derajat pengerolan.

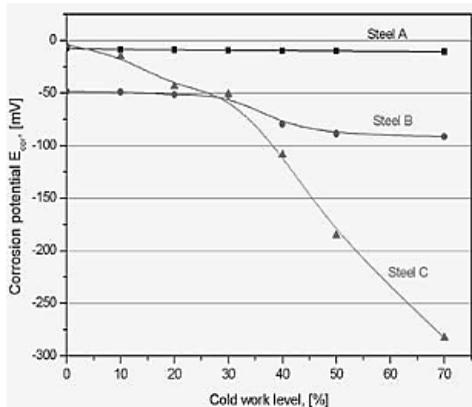


Gambar 2-3 Pengaruh *cold working* terhadap *hardness*, *ductility*, *strength* dan *grain size*[8].

Perubahan *ductility* dan *grain size* berlawanan arah dengan *hardness* dan *strenght*. Kenaikan *internal energy* membuat logam lebih rentan terhadap serangan korosi. Sehingga akan mengalami percepatan korosi karena pengaruh tegangan sisa yang dihasilkan dari pengerjaan dingin.

2.3.3 Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Korosi

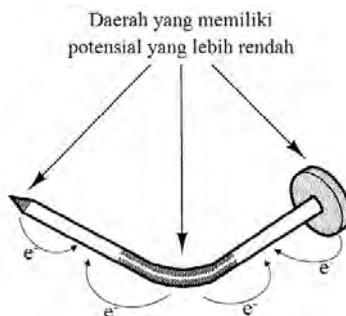
Logam yang telah diproses *cold work* akan mengalami perubahan karakteristik dari logam yaitu perubahan *corrosion potential*. Semakin tinggi derajat deformasi maka potensial logam akan mengalami penurunan seperti yang bisa dilihat pada Gambar 2-4.



Gambar 2-4 Perubahan *corrosion potential* terhadap derajat deformasi hasil cold work^[11].

Logam akan cenderung lebih bersifat anodik jika potensial yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini akan berpengaruh terhadap laju korosi suatu material, jika suatu material memiliki potensial yang rendah maka logam tersebut akan cepat terkorosi. Karena elektron akan mengalir dari potensial yang rendah ke potensial yang tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 2-5. Selain karena faktor potensial korosi

juga dipengaruhi oleh bentuk butir dari logam. Roberge (1990) dalam bukunya menjelaskan bahwa pengerjaan mekanik seperti pengerolan dingin dapat mempengaruhi bentuk butir. Faktor ini dapat mempengaruhi laju dari korosi lokal. Hampir semua bentuk korosi, bahkan *pitting corrosion* juga di pengaruhi oleh bentuk butir.



Gambar 2-5 Pergerakan elektron dari potensial rendah ke potensial tinggi.

2.4 Perhitungan Laju Korosi

Ada beberapa macam metoda untuk menghitung laju korosi, salah satunya adalah dengan menggunakan metoda *weight lost*, yaitu dengan menghitung perubahan berat selama percobaan pada spesimen. Tabel II-2 menunjukkan tingkat klasifikasi laju korosi. Laju korosi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{mils per year (mpy)} = \frac{534 W}{DAT}$$

Dimana:

W = weight loss / kehilangan berat (mg)

D = density of specimen / densitas spesimen (g/cm^3)

A = area of specimen / luas area spesimen (in^2)

T = exposure time / waktu terkorosi (hr)

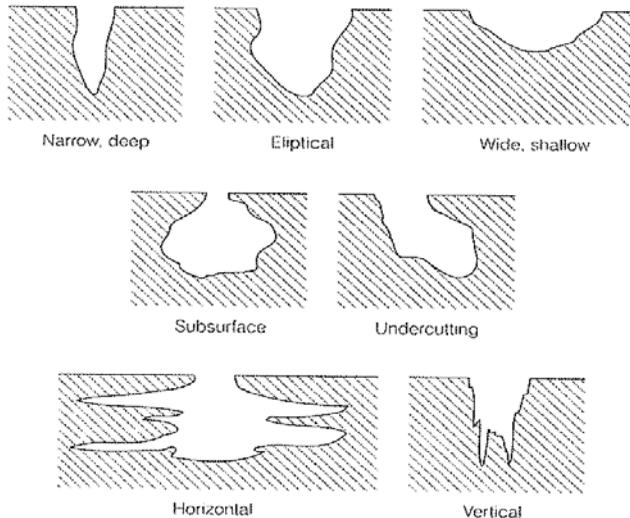
Table 2-2 Perbandingan tingkat klasifikasi laju korosi [1]

| Relative corrosion resistance | mpy | mm/yr | $\mu\text{m/yr}$ | nm/hr | pm/s |
|-------------------------------|--------|----------|------------------|---------|--------|
| Outstanding | <1 | <0.02 | <25 | <2 | <1 |
| Excellent | 1-5 | 0.02-0.1 | 25-100 | 2-10 | 1-5 |
| Good | 5-20 | 0.1-0.5 | 100-500 | 10-50 | 5-20 |
| Fair | 20-50 | 0.5-1 | 500-1000 | 50-100 | 20-50 |
| Poor | 50-200 | 1-5 | 1000-5000 | 150-500 | 50-200 |
| Unacceptable | 200+ | 5+ | 5000+ | 500+ | 200+ |

Sumber: Denny A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, hal. 34

2.5 Pitting Corrosion (Korosi Sumuran)

Pitting Corrosion (korosi sumuran) berasal dari kata 'pit' yang artinya sumur. *Pitting corrosion* merupakan bentuk korosi lokal dimana hasil korosi akan terbentuk suatu *pitting* (lubang) pada material. Korosi *pitting* sering dianggap lebih berbahaya jika dibandingkan dengan *uniform corrosion* (korosi merata), karena produk korosi yang terbentuk akan menutupi *pitting* (lubang) sehingga sulit untuk diidentifikasi. Logam yang bisa membentuk lapisan pasif, seperti *stainless steel* dan aluminium merupakan logam yang paling rentan terserang korosi *pitting*. Korosi *pitting* efeknya tidak meluas, namun terjadi hanya di suatu titik saja, dan terus sampai ke dalam sehingga seiring semakin terkorosinya material maka bagian yang terkorosi akan membentuk cekungan seperti sumur. Sesuai dengan Gambar 2-6 bentuk rongga hasil dari korosi *pitting* terdiri dari 7 (tujuh) bentuk.



Gambar 2-6 Bentuk-bentuk *pitting corrosion* ^[1].

Korosi *pitting* terjadi pada lingkungan dimana terdapat ion-ion Cl^- , Br^- , OH^- , dan I^- . ion-ion tersebut dapat menyebabkan logam terbentuk daerah yang melepaskan ion logam atau daerah anodik dan permulaan (inisiasi) *pitting* akan terjadi, berikut adalah penyebab terjadinya inisiasi *pitting* :

- Terdapatnya perbedaan metal, hal ini menyebabkan adanya perbedaan potensial pada daerah tertentu sehingga terjadi korosi lokal[8].
- Rusaknya lapisan pasif yang protektif secara mekanik ataupun kimia.
- Proses pelapisan / *coating* yang tidak merata.

2.5.1 Mekanisme *Pitting Corrosion* (Korosi Sumuran)

Secara umum korosi sumuran ini terjadi pada satu wilayah tertentu saja karena pada daerah tersebut telah mengalami kerusakan lapisan pasif seperti pada Gambar 2-7. Berikut mekanisme terjadinya korosi sumuran :

1. Terbentuknya tempat-tempat yang bersifat anodik yang disebabkan oleh rusaknya lapisan pasif pada permukaan logam.

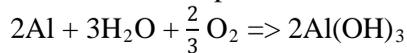
Reaksi oksidasi pada anoda : $2\text{Al} \Rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$

Reaksi reduksi pada katoda :

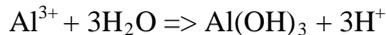
Reduksi air : $\frac{2}{3}\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \Rightarrow 6\text{OH}^-$

Reduksi ion H^+ : $6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \Rightarrow 3\text{H}_2$

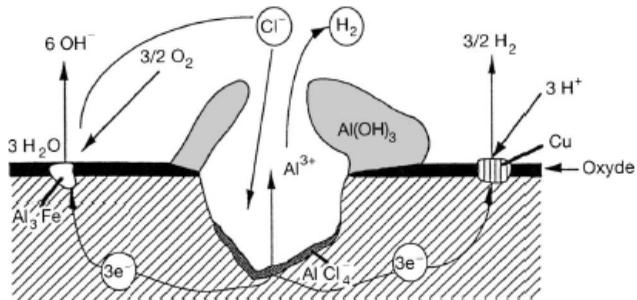
Secara umum reaksi korosi pada aluminium adalah :



2. Karena terjadinya proses pelarutan logam secara kontinu, ion-ion logam akan terakumulasi di daerah anoda, sehingga terbentuk rongga-rongga. dan untuk menstabilkan elektron, ion-ion klorida bermigrasi ke dalam rongga dan bereaksi dengan ion logam dan terjadi reaksi hidrolisis.



3. Dengan adanya ion H^+ dan Cl^- akan mencegah terjadinya repasifikasi pada logam. Seiring dengan meningkatnya laju pelarutan logam pada daerah anodik akan mempercepat migrasi dari ion klorida, sehingga akan memperbanyak terbentuknya AlCl_4^- . dan proses tersebut akan berjalan hingga logam tersebut terbentuk *pitting* (lubang).



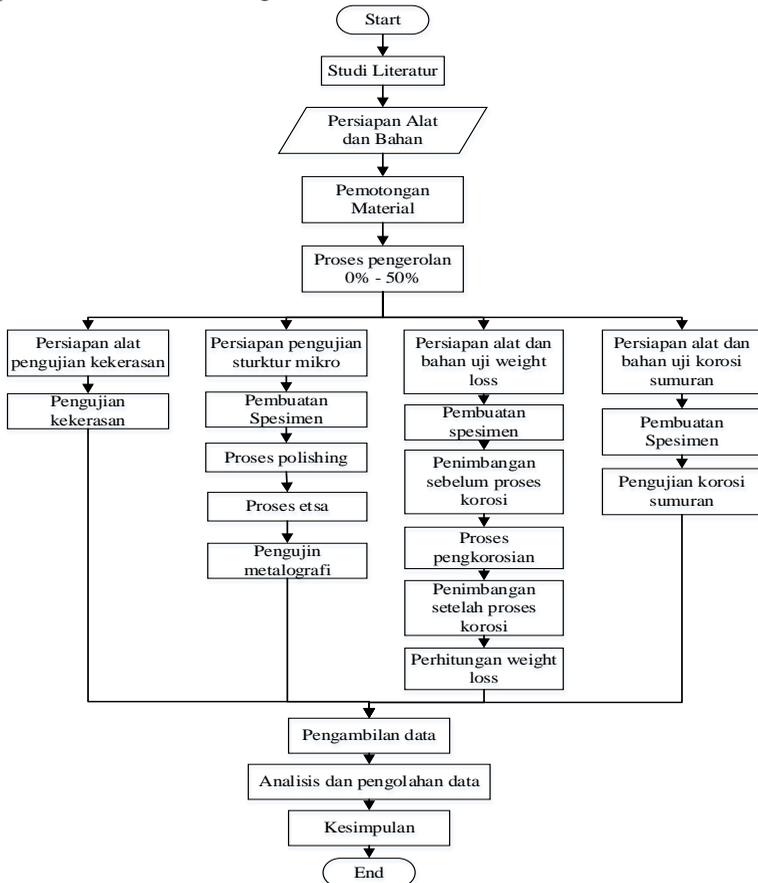
Gambar 2-7 Mekanisme *pitting corrosion* [4].

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka perlu dilakukan langkah – langkah yang sesuai dengan prosedur pengerjaan seperti pada diagram alir / *flowchart* pada Gambar 3-1 sebagai berikut:



Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Persiapan Alat dan Bahan

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk percobaan dalam penelitian ini adalah :

1. Plat aluminium tebal 4 mm
2. Larutan NaOH
3. Larutan HF
3. Aquades atau air bersih
4. Kain Lap

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang diperlukan untuk menunjang percobaan ini adalah :

1. Mesin roll
2. Gergaji besi
3. Mesin gerinda
4. Kikir
5. Mesin Polishing
6. Gelas ukur
7. Alat uji kekerasan
8. Alat uji metalografi
9. Kamera digital
10. Amplas
11. Mesin polishing
12. Mesin Milling

3.2.3 Alat ukur

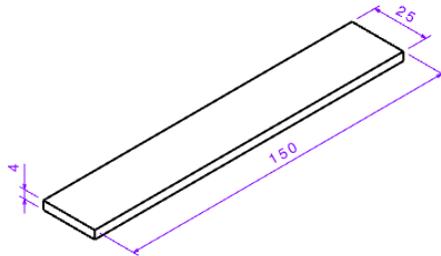
Alat ukur yang digunakan dalam percobaan ini adalah :

1. Jangka sorong
2. Timbangan analitik
3. Penggaris
4. Gelas ukur

3.3 Persiapan Proses Pengerolan

3.3.1 Pembuatan Spesimen untuk Proses Pengerolan

Material yang digunakan adalah plat aluminium dengan kondisi awal berupa lembaran plat, tebal 4 mm. lalu material dipotong menggunakan gergaji hingga menjadi spesimen awal seperti pada Gambar 3-2 dengan dimensi 150 mm x 25 mm x 4mm.



Gambar 3-2 Skema spesimen awal

3.3.2 Proses Pengerolan

Spesimen yang sudah dipotong lalu dilakukan proses pengerolan pengerjaan dingin dengan mesin rol sesuai dengan Gambar 3-3 dengan reduksi pengerolan 10%, 20% , 30%, 40%, dan 50% dari ketebalan awal plat 4 mm.



Gambar 3-3 Mesin Rol

3.4 Pengujian Kekerasan

3.4.1 Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian Kekerasan

Dari setiap material yang telah mengalami proses pengerolan diambil sebagian kecil untuk dijadikan spesimen pengujian kekerasan sesuai dengan Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Spesimen uji keras

3.4.2 Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui harga kekerasan dari setiap spesimen yang mengalami reduksi pengerolan yang berbeda maka dilakukan pengujian kekerasan dengan mesin *micro hardness* metode vickers dengan mesin uji keras sesuai dengan Gambar 3-5 dengan beban indentasi 100 gf sebanyak 5 titik. Mengingat ukuran spesimen yang kecil maka dilakukan proses *mounting* untuk mempermudah proses *polishing*.

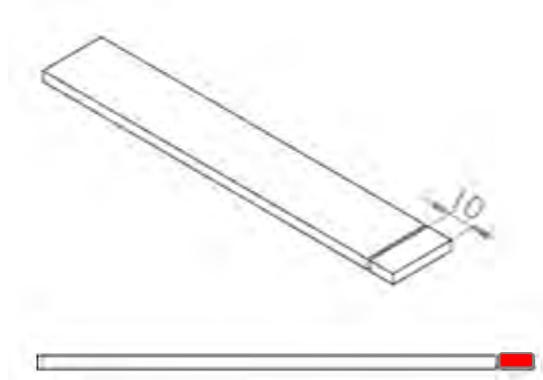


Gambar 3-5 Mesin Uji Keras

3.5 Pengujian Metalografi

3.5.1 Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian Metalografi

Pembuatan spesimen untuk pengujian metalografi diambil sebagian kecil dari semua material yang sudah dirol dan juga yang tidak dirol sesuai dengan Gambar 3-6. Mengingat ukuran spesimen tersebut terlalu kecil sehingga susah dipegang saat proses polishing, maka dilakukan proses mounting pada semua spesimen .



Gambar 3-6 Spesimen uji metalografi

3.5.2 Proses polishing

Setelah dilakukan proses mounting, lalu spesimen dipoles agar menghasilkan permukaan yang halus, rata dan mengkilap dengan menggunakan mesin polishing sesuai dengan Gambar 3-7 menggunakan grid ampelas yang paling kasar 150 sampai dengan grid yang paling halus 2000.



Gambar 3-7 Mesin Polishing

3.5.3 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro dari masing-masing spesimen sebelum dan sesudah pengerolan menggunakan mikroskop Olympus BX 60 M. yang ditunjukkan pada Gambar 3-8



Gambar 3-8 Mikroskop

Adapun langkah-langkah untuk pengujian metalografi adalah sebagai berikut:

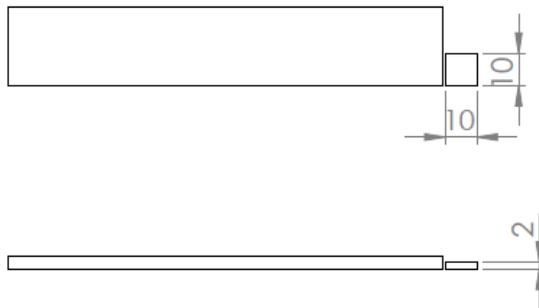
1. Lakukan pemotongan spesimen sesuai dengan Gambar III-6
2. Spesimen dilakukan proses *mounting*.

3. Spesimen dilakukan proses *polishing* dengan sampai permukaan halus, rata dan mengkilap.
4. Proses komposisi larutan etsa 5ml HF dan 95ml air Aquades.
5. Pengamatan struktur mikro dengan bantuan alat mikroskop.
6. Lakukan langkah 1 s/d 6 untuk semua spesimen.

3.6 Pengujian *Pitting Corrosion*

3.6.1 Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian *Pitting Corrosion*

Proses pembuatan spesimen dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 2 mm seperti pada Gambar 3-9. Agar semua spesimen memiliki dimensi yang sama, maka dilakukan proses pemesinan dengan mesin milling untuk semua spesimen.

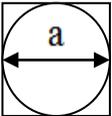


Gambar 3-9. Skema spesimen uji *pitting corrosion*

3.6.2 Pengujian Diameter dan jumlah *Pitting Corrosion*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh derajat pengerolan terhadap evolusi diameter dan jumlah *pitting* yang terjadi pada spesimen akibat *pitting corrosion*. Langkah – langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Siapkan larutan NaOH dengan jumlah 20 ml di dalam setiap gelas uji untuk masing-masing spesimen.

2. Spesimen dimasukkan kedalam gelas uji.
3. Setelah 1 jam, spesimen diambil dari gelas uji.
4. Spesimen dibersihkan dengan air dan dikeringkan.
5. Pengukuran diameter *pitting* terbesar pada setiap spesimen dengan bantuan alat mikroskop perbesaran 5x.
6. Diameter dan jumlah lubang dihitung, lalu dicatat.
 - a) Pengukuran lubang diambil diameter terbesar yang terdapat pada masing-masing spesimen.
 - b) Penghitungan jumlah *pitting* dengan kriteria diameter lebih dari 100 μ m.
 - c) untuk mempermudah pengukuran digunakan bantuan kotak sebagai acuan dari diameter terbesar.
 - d)  garis a merupakan diameter lubang.
7. Lakukan langkah 2 s/d 6 sampai 9 kali (selama 9 jam).
8. Lakukan langkah 1 s/d 7 untuk semua spesimen.

3.6.3 Pengujian Ketahanan Terhadap *Pitting Corrosion*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh derajat pengerolan terhadap lubang yang akan dihasilkan akibat *pitting corrosion*. Langkah – langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

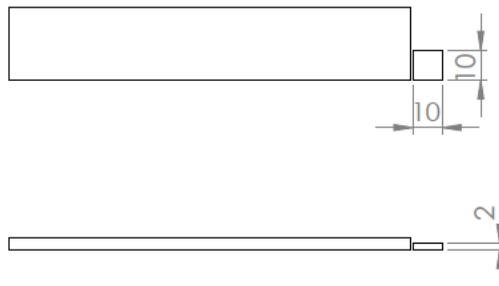
1. Siapkan larutan NaOH dengan jumlah 20 ml di dalam setiap gelas uji untuk masing-masing spesimen.
2. Setiap spesimen dimasukkan kedalam gelas uji masing-masing.
3. Setelah 10 jam, semua spesimen diambil dari gelas uji.
4. Spesimen dibersihkan dengan air dan dikeringkan.

5. Pengukuran diameter lubang yang dihasilkan oleh *pitting corrosion* dengan bantuan alat mikroskop perbesaran 5X.
6. Diameter lubang tembus spesimen dihitung, lalu dicatat.
 - a) Lubang tembus ialah lubang yang di akibatkan oleh *pitting corrosion* yang menembus ketebalan setiap specimen.

3.7 Pengujian *Weight loss* (Kehilangan Berat)

3.7.1 Pembuatan Spesimen Pengujian *Weight Loss*

Proses pembuatan spesimen dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 2 mm seperti pada Gambar 3-10. Agar semua spesimen memiliki dimensi yang sama, maka dilakukan proses pemesinan dengan mesin milling untuk semua spesimen.



Gambar 3-10. Skema spesimen uji *weight loss*

3.7.2 Pengujian *Weight Loss*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh derajat pengerolan pada spesimen terhadap ketahanan korosi, berikut adalah langkah – langkah dalam pengujian ini :

1. Siapkan larutan NaOH dengan jumlah 20 ml di dalam setiap gelas uji untuk masing-masing spesimen.
2. Spesimen ditimbang terlebih dahulu, untuk mengetahui berat awal.

3. Spesimen dimasukan ke dalam gelas uji.
4. Setelah 1 jam , spesimen diambil dari gelas uji.
5. Spesimen dibersihkan dengan air dan dikeringkan.
6. Spesimen ditimbang dan dicatat.
7. Lakukan langkah 2 s/d 6 sampai 9 kali (selama 9 jam) .
8. Lakukan langkah 1 s/d 7 untuk semua spesimen variasi dari reduksi 0% sampai reduksi 50%.

3.8 Rancangan Percobaan

3.8.1 Rancangan Percobaan Uji Kekerasan

Untuk mempermudah pengambilan data pengujian kekerasan maka digunakan rancangan tabel percobaan sesuai dengan Tabel 3-1.

Table 3-1 Rancangan Percobaan Pengujian Kekerasan

| No | Reduksi | Respon Harga kekerasan (HV) | | | | | Rata-rata |
|----|---------|-----------------------------|---|---|---|---|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0% | | | | | | |
| 2 | 10% | | | | | | |
| 3 | 20% | | | | | | |
| 4 | 30% | | | | | | |
| 5 | 40% | | | | | | |
| 6 | 50% | | | | | | |

3.8.2 Rancangan Percobaan Pengujian Strukturmikro

Untuk mempermudah pengambilan data pengujian strukturmikro maka digunakan rancangan tabel percobaan sesuai dengan Tabel 3-2.

Table 3-2 Rancangan Percobaan Pengujian Stuktur mikro

| No | Parameter | | Perbesaran gambar | |
|----|-----------|----------------|-------------------|---|
| | Reduksi | Pengujian | 1 | 2 |
| 1 | 0% | Struktur mikro | | |

| No | Parameter | | Perbesaran gambar | |
|----|-----------|----------------|-------------------|---|
| | Reduksi | Pengujian | 1 | 2 |
| 2 | 10% | Struktur mikro | | |
| 3 | 20% | Struktur mikro | | |
| 4 | 30% | Struktur mikro | | |
| 5 | 40% | Struktur mikro | | |
| 6 | 50% | Struktur mikro | | |

3.8.3 Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss*

Untuk mempermudah pengambilan data pengujian struktur mikro maka digunakan rancangan tabel percobaan sesuai dengan Tabel 3-3.

Table 3-3 Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss*

| No | Parameter | | Waktu (Jam) | | | | | | | | |
|----|-----------|---------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Reduksi | Larutan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | | <i>Weight Loss (%)</i> | | | | | | | | |
| 1 | 0% | NaOH | | | | | | | | | |
| 2 | 10% | NaOH | | | | | | | | | |
| 3 | 20% | NaOH | | | | | | | | | |
| 4 | 30% | NaOH | | | | | | | | | |
| 5 | 40% | NaOH | | | | | | | | | |
| 6 | 50% | NaOH | | | | | | | | | |

3.8.4 Rancangan Percobaan Pengujian Diameter *Pitting Corrosion*

Untuk mempermudah pengambilan data pengujian struktur mikro maka digunakan rancangan tabel percobaan sesuai dengan Tabel 3-4.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

4.1.1 Data Perbandingan Nilai Kekerasan

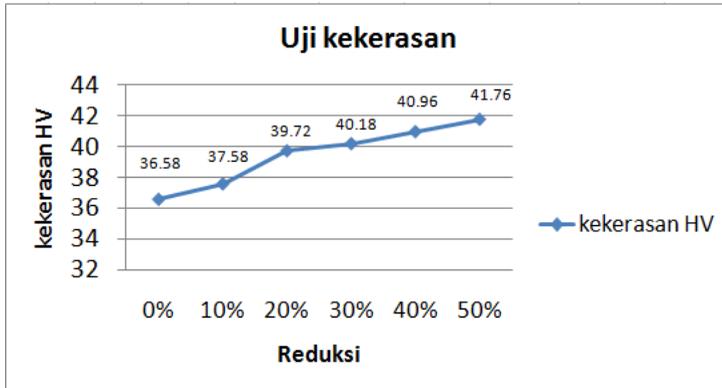
Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan metode vickers dengan indentasi yang dilakukan sebanyak 5 titik untuk setiap spesimen diperoleh data nilai kekerasan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4-1 untuk masing-masing derajat pengerolan yang berbeda sehingga didapatkan nilai kekerasan rata-rata.

Tabel 4-1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

| Reduksi | Titik | | | | | Rata-rata (HV) |
|---------|-------|------|------|------|------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 0% | 36.9 | 36.4 | 36.5 | 36.2 | 36.9 | 36.58 |
| 10% | 37.2 | 37 | 38.1 | 38.3 | 37.3 | 37.58 |
| 20% | 39.9 | 40.5 | 39.8 | 39.3 | 39.1 | 39.72 |
| 30% | 38.9 | 40.5 | 40.7 | 40.9 | 39.9 | 40.18 |
| 40% | 40.4 | 41.3 | 41.2 | 42.8 | 39.1 | 40.96 |
| 50% | 41.8 | 41.7 | 41.9 | 41.9 | 41.5 | 41.76 |

4.1.2 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil percobaan proses pengerolan pada plat paduan aluminium dengan metode *cold working* dengan derajat pengerolan 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Grafik pada Gambar 4-1 merupakan hasil pengujian kekerasan, perubahan nilai kekerasan ditunjukkan dengan meningkatnya derajat deformasi maka terjadi perubahan harga kekerasan yang semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa adanya pengaruh pengerolan dingin terhadap kekerasan logam.



Gambar 4-1 Pengaruh derajat deformasi terhadap kekerasan.

Persentase kenaikan kekerasan yang diperoleh setelah mengalami pengerolan dibandingkan dengan kekerasan awal logam, yaitu dengan reduksi 10% naik sebesar 2,73%; 20% naik sebesar 8,58%; 30% naik sebesar 9,84%; 40% naik sebesar 11,97%; dan reduksi 50% naik sebesar 14,16%.

Peningkatan kekerasan ini menunjukkan adanya pengaruh *strain hardening* saat logam mengalami deformasi plastis. *Strain hardening* atau pengerasan regangan dapat dijelaskan dengan mekanisme interaksi dislokasi dalam logam. Kerapatan dislokasi logam akan naik dengan semakin besarnya deformasi. Jarak rata-rata antara dislokasi menjadi lebih pendek karena adanya penumpukan dislokasi-dislokasi yang diikuti dengan beberapa dislokasi-dislokasi yang terperangkap di dalam kristal, kondisi ini merupakan sumber tegangan dalam (*internal stress*) yang akan melawan atau menahan pergerakan dislokasi lainnya. Dislokasi-dislokasi tersebut menjadi sulit untuk bergerak. Proses pengerasan regangan terjadi akibat adanya penumpukan dislokasi pada logam saat terdeformasi plastis dan mengeras akibat adanya hambatan-hambatan selama deformasi. Hambatan-hambatan ini dapat berupa perpotongan antar dislokasi, cacat titik, dan endapan^[12].

4.2 Hasil Percobaan *Weight Loss*

4.2.1 Data Perbandingan *Weight Loss*

Dengan eksperimen yang telah dilakukan untuk mendapatkan informasi laju korosi dari setiap spesimen dengan variasi derajat deformasi yang berbeda menggunakan metode *weight loss* diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 4-2. Data akhir yang diperoleh berupa *weight loss* setiap spesimen.

Tabel 4-2 Data Hasil Percobaan *Weight Loss*

| Reduksi | <i>Weight Loss</i> (%) | | | | | | | | |
|---------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0% | 12.79797 | 19.24714 | 19.81132 | 19.44637 | 22.5945 | 28.41287 | 32.32558 | 43.29897 | 53.93939 |
| 10% | 14.25451 | 19.6603 | 19.87315 | 19.65699 | 22.45484 | 27.15723 | 29.21512 | 38.9117 | 51.76471 |
| 20% | 14.2291 | 19.64796 | 20.01643 | 20.02739 | 23.11644 | 27.67261 | 29.63818 | 41.24726 | 57.16946 |
| 30% | 13.29372 | 18.92934 | 18.88537 | 19.34223 | 22.36577 | 26.57306 | 29.10765 | 37.26274 | 51.91083 |
| 40% | 13.6612 | 19.07173 | 19.16058 | 18.80039 | 21.44559 | 25.42973 | 28.27119 | 34.59357 | 46.82081 |
| 50% | 13.78033 | 19.31257 | 20.42066 | 19.20375 | 23.06418 | 27.07212 | 30.55351 | 40.80765 | 56.37343 |

4.2.2 Analisa Perbandingan Kehilangan Berat Tiap Reduksi

Berikut adalah data hasil percobaan perbandingan kehilangan berat untuk semua derajat pengerolan yang ditunjukkan pada Gambar 4-2. Media korosif yang digunakan adalah NaOH dengan lama waktu kontak spesimen dengan larutan adalah 9 (sembilan) jam dan penimbangan untuk mengukur *weight loss* dilakukan dengan interval setiap 1 (satu) jam.



Gambar 4-2 Perbandingan Kehilangan berat tiap reduksi.

Dari grafik perbandingan kehilangan berat pada gambar 4-2 dapat diamati bahwa secara keseluruhan untuk tiap derajat pengerolan mengalami peningkatan kehilangan berat terhadap fungsi waktu. Hal ini menunjukkan terjadinya proses korosi yang semakin cepat pada logam seiring bertambahnya derajat pengerolan. Adapun pengaruh pengerolan dingin pada logam terhadap ketahanan korosi yang ditunjukkan oleh grafik tersebut terlihat bahwa untuk logam yang tidak mengalami pengerolan dingin cenderung memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan logam yang mengalami pengerolan dingin. Namun pada reduksi 0% terjadi penyimpangan hal ini menurut analisa penulis karena pada saat pembuatan specimen kurang presisi sehingga terjadi penyimpangan pada grafik.

Ketahanan korosi suatu logam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, jenis lingkungan yang kontak dengan logam, komposisi dari logam, dan perlakuan terhadap logam seperti *heat treatment* dan *cold working*. Logam yang mengalami proses pengerjaan dingin akan mengakibatkan terjadinya perubahan

karakteristik pada logam tersebut, seperti kekerasan, *ductility*, *potential voltage* dan *grain size*. Logam yang mengalami proses pengerjaan dingin akan cenderung lebih bersifat anodik, sehingga lebih rentan terhadap serangan korosi dibandingkan logam yang tidak mengalami proses pengerjaan dingin. Lapisan pelindung atau *protective film* pada permukaan logam yang dilakukan pengerolan dingin bisa mengalami kerusakan karena pada saat proses pengerjaan terjadi gesekan permukaan logam dengan rol penekan. Kerusakan lapisan pelindung pada logam akan menjadi celah bagi media korosif untuk masuk menyerang dan kontak langsung dengan logam, oleh karena itu logam menjadi lebih cepat terkorosi^[1]. Semakin meningkat derajat deformasi, jumlah dislokasi dan jumlah energi yang tersimpan dalam dislokasi (energi tersimpan) juga meningkat akibat dari pengerjaan dingin yang merubah karakteristik dari logam, juga menimbulkan *internal stress* pada logam sehingga memengaruhi laju korosi pada logam.

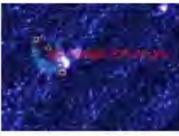
4.3 Hasil Percobaan *Pitting Corrosion*

4.3.1 Data Perbandingan Diameter dan Jumlah *Pitting*

Melalui percobaan yang telah dilakukan diperoleh data evolusi diameter dan jumlah *pitting* sebagai hasil dari *pitting corrosion* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4-3. Diameter *pitting* dihitung secara manual dengan menggunakan bantuan mikroskop. Perhitungan diameter dan jumlah *pitting* dilakukan dengan interval setiap 1 (satu) jam selama 9 (sembilan) jam. Dan seperti yang terlihat pada Gambar 4-3 semakin besar derajat pengerolan maka diameter *pitting* semakin besar dan jumlah *pitting* semakin banyak, serta semakin lama terkorosi diameter *pitting* semakin besar. Data lengkap terdapat pada halaman lampiran D.

Table 4-3 Data perbandingan Diameter *Pitting*

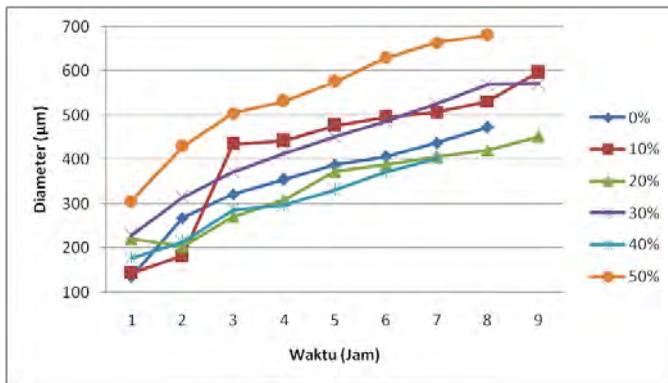
| Reduksi | Waktu (jam) | | | | | | | | |
|---------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Diameter lubang (μm) | | | | | | | | |
| 0% | 136 | 268 | 322 | 355 | 388 | 406 | 437 | 473 | |
| 10% | 143 | 182 | 435 | 442 | 477 | 496 | 506 | 531 | 597 |
| 20% | 221 | 204 | 271 | 308 | 373 | 388 | 406 | 420 | 452 |
| 30% | 229 | 315 | 371 | 414 | 451 | 486 | 525 | 569 | 571 |
| 40% | 178 | 214 | 286 | 297 | 332 | 371 | 402 | | |
| 50% | 306 | 429 | 504 | 532 | 576 | 629 | 664 | 681 | |

| Reduksi | | Respon | | |
|---------|---|---|---|---|
| | | jam ke-1 | jam ke-4 | jam ke-8 |
| 0% | Foto |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 18 | 35 | 16 |
| | \varnothing pitting terbesar | 204.24 μm | 355.26 μm | 473.47 μm |
| 30% | Foto |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 29 | 50 | 29 |
| | \varnothing pitting terbesar | 229.25 μm | 414.13 μm | 569.22 μm |
| 50% | Foto |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 45 | 63 | 24 |
| | \varnothing pitting terbesar | 306.77 μm | 532.82 μm | 681.26 μm |

Gambar 4-3 Perbandingan evolusi diameter dan jumlah *pitting* terhadap waktu dan derajat pengerolan.

4.3.2 Analisa Perbandingan Diameter *Pitting* Setiap Derajat Pengerolan

Adapun hasil dari pengujian *pitting corrosion* untuk diameter *pitting* dapat dilihat pada Gambar 4-4 dengan interval waktu setiap 1 jam selama 9 jam. Perhitungan diameter *pitting* dilakukan pada diameter terbesar yang terdapat pada setiap spesimen.



Gambar 4-4 Perbandingan evolusi diameter *pitting* setiap reduksi.

Setelah dilakukan pengujian didapatkan data perbandingan evolusi diameter *pitting* setiap reduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4-3, dari grafik dapat diambil penjelasan semua variasi reduksi mengalami peningkatan besar diameter *pitting* seiring bertambahnya waktu. Jika dilihat secara keseluruhan, logam yang mengalami proses pengerjaan dingin memiliki diameter *pitting* lebih besar jika dibandingkan dengan logam yang tidak mengalami proses pengerjaan dingin.

Berdasarkan data dari grafik percobaan tersebut diketahui bahwa *pitting* telah terjadi pada awal percobaan untuk semua spesimen, hal ini menunjukkan terjadinya fase inisiasi (pemicu awal) terjadinya *pitting corrosion*. Dari fase ini akan terjadi pertumbuhan diameter *pitting* yang semakin besar seiring

semakin terkorosinya logam. Dimana di dalam *pitting* terjadi proses korosi yang kontinyu yang menghasilkan ion-ion positif logam, sehingga ion-ion negatif dari luar *pitting* akan masuk agar terjadi kondisi keseimbangan. Waktu kontak logam dengan larutan akan memberikan waktu pada fase inisiasi lebih lama, sehingga pertumbuhan *pitting* akan semakin besar. Untuk logam yang mengalami proses pengerjaan dingin cenderung akan menghasilkan diameter *pitting* yang lebih besar, hal ini disebabkan *internal stress* yang dihasilkan dari pengerjaan dingin akan menyebabkan semakin cepatnya reaksi korosi. Sedangkan pada logam yang tidak mengalami proses pengerjaan dingin cenderung akan menghasilkan diameter *pitting* yang kecil, hal ini disebabkan logam tidak atau memiliki *internal stress* yang kecil sehingga reaksi korosi berlangsung lebih lambat.

4.3.3 Analisa Ketahanan Terhadap *Pitting Corrosion*

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi reduksi pengerolan dingin terhadap ketahanan *pitting corrosion* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-5. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa lama dari masing-masing spesimen akan terjadi lubang akibat dari serangan *pitting corrosion*. Skema pengujian telah dijelaskan pada rancangan percobaan sub bab 3.6.

| Respon Reduksi | Jam ke-10 | Jumlah lubang tembus | Diameter lubang tembus |
|-------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| 0% |  | Tidak ada lubang tembus | - |
| 10% |  | Tidak ada lubang tembus | - |

| Respon Reduksi | Jam ke-10 | Jumlah lubang tembus | Diameter lubang tembus |
|----------------|---|-------------------------|------------------------|
| 20% |  | Tidak ada lubang tembus | - |
| 30% |  | lubang tembus | 155.95 μm |
| 40% |  | lubang tembus | 236.96 μm |
| 50% |  | lubang tembus | 585.58 μm |

Gambar 4-5 Ketahanan terhadap *pitting corrosion*.

Pada Gambar 4-5 merupakan hasil pengujian ketahanan terhadap *pitting corrosion* dalam larutan NaOH. Didapatkan informasi bahwa semakin besar derajat reduksi maka ketahanan terhadap serangan *pitting corrosion* akan semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan pengujian dimana dengan waktu pengkorosian yang sama yaitu 10 jam didapatkan hasil yang cukup signifikan, untuk reduksi 30%, 40%, dan 50% telah terjadi lubang sedangkan untuk reduksi 0%, 10%, dan 20% tidak terjadi lubang.

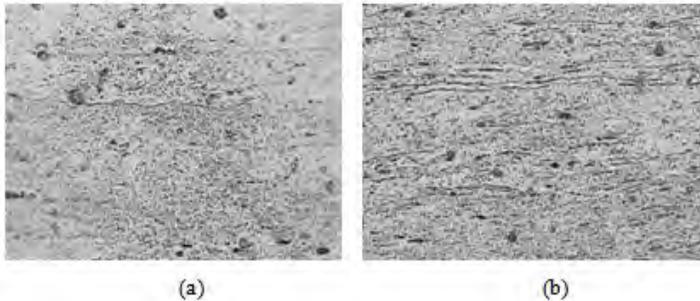
Ketika proses pengerolan dingin berlangsung, logam akan mengalami deformasi plastis. Semakin tinggi derajat pengerolan

maka *internal stress* logam akan semakin besar, selain bertambahnya *internal stress* pengerolan juga akan memengaruhi nilai potensial dari logam dimana hal ini merupakan salah satu faktor yang mempercepat proses korosi sehingga semakin besar derajat pengerolan maka proses korosi akan semakin cepat jika di bandingkan dengan logam yang tidak mengalami proses pengerolan.

4.4 Hasil Pengujian Metalografi

Pengamatan struktur mikro dimaksudkan untuk memperoleh gambaran mikroskopis struktur permukaan spesimen sebelum dan sesudah proses pengerolan dingin. Pekerjaan ini meliputi persiapan spesimen melalui tahapan : pemotongan, *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan peng-etsaan sebelum spesimen ditempatkan di bawah lensa obyektif mikroskop.

Gambar 4-6 merupakan data pengamatan struktur mikro sebelum dan sesudah dilakukan proses pengerolan dingin, gambar diambil dengan menggunakan mikroskop Olympus BX 60 M dengan perbesaran 20x, pemotretan foto struktur dilakukan pada permukaan bagian samping spesimen yang dapat dilihat skemanya pada gambar III-6. Proses pengerolan dengan pengurangan dimensi ketebalan spesimen dilakukan secara bertahap 0,1 mm dan maksimal 0,2 mm karena keterbatasan kemampuan mesin rol, dan juga untuk meminimalisir terjadinya cacat karena pengerolan seperti permukaan spesimen menjadi bergelombang, retak, dan bengkok.



Gambar 4-6 Foto strukturmikro (a) Sebelum dirol 0% dan (b) setelah dirol 50% dengan perbesaran 20x.

Material percobaan yang digunakan adalah paduan aluminium. Dari hasil pengamatan secara mikro, setelah dilakukannya proses pengerolan terjadi perubahan struktur mikro yang dapat dilihat pada Gambar 4-6 (b) bentuk butir berubah menjadi cenderung pipih dengan arah pengerolan longitudinal. Atom-atom logam yang terdeformasi plastis tidak bisa mempertahankan posisi awal sehingga banyak terjadi dislokasi. Foto struktur mikro lengkap terdapat pada halaman lapiran C.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Seiring meningkatnya derajat deformasi maka nilai kekerasan juga akan bertambah dari derajat pengerolan 0% sebesar 36.58HV dan pada derajat pengerolan 50% sebesar 41.76HV.
2. Aluminium yang mengalami proses pengerolan dingin akan lebih cepat terjadi lubang akibat serangan *pitting corrosion*. Pada waktu yang sama diameter lubang 585.58 μ m untuk derajat pengerolan 50% sedangkan pada derajat pengerolan 0% tidak terjadi lubang. Dan *weight loss* setiap specimen bertambah setiap jamnya.
3. Diameter *pitting* yang dihasilkan pada aluminium paduan hasil pengerolan dingin relatif akan lebih besar jika dibandingkan dengan aluminium paduan yang tidak dirol.

5.2 Saran

1. Perawatan dan kalibrasi pada alat uji perlu dilakukan, agar dalam penelitian mendapatkan data dan hasil yang baik.
2. Untuk pembuatan spesimen agar memperoleh hasil dimensi yang sama. Disarankan untuk dilakukan pengerjaan pemesinan secara bersamaan, sehingga dapat menjamin dimensi yang sama untuk semua spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jones, D.A. 1996. *Principle and Prevention of Corrosion*. New York : Mc.Millan Publishing Company.
- [2] Mars G, Fontana. 1967. *Corrosion Engineering, 3rd edition*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- [3] Supriadi, Asep D. 2015. *Studi Ketahanan Korosi dan Kerentanan Terhadap Stress Corrosion Cracking Baja Karbon Rendah Hasil Pengerolan Dingin*. Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [4] Vergel, Christian. 2004. *Corrosion of alluminium*, Paris: Elsevier.
- [5] <URL:<http://www.aviation-safety.net/wikibase/wiki.php?id=25504>>
- [6] <URL:<http://id.wikipedia.org/wiki/Rolling>>
- [7] Kalpakjian, Serope. *Manufacturing Engineering and Technology, 6th editions*. New York : Pearson.
- [8] Sidney H. Avner. 1964. *Introduction of Physical Metallurgy*. New York : Mc. Graw-Hill Book Company.
- [9] Roberge, Pierre R. 1999. *Handbook Of Corrosion Engineering*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- [10] Agustina, Riski W. 2010. *Analisa Korosi Sumuran Pada Paduan Aluminium Seri 6063 Dalam Larutan 3% NaOH*. Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [11] Kurk, A. M Kciuk. M Basiaga. 2010. *Influence Of Cold Rolling On The Corrosion Resistance Of Austenitic Steel*. Polandia :
- [12] <URL:<http://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/pembentukan-logam-metal-forming/pengerasan-regang/>>

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

B. Data Hasil Percobaan *Weight Loss*

| Reduksi | Jam | | | | | | | | | |
|---------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Berat (mg) | | | | | | | | | |
| 0% | 0.5118 | 0.4463 | 0.3604 | 0.289 | 0.2328 | 0.1802 | 0.129 | 0.0873 | 0.0495 | 0.0228 |
| 10% | 0.5493 | 0.471 | 0.3784 | 0.3032 | 0.2436 | 0.1889 | 0.1376 | 0.0974 | 0.0595 | 0.0287 |
| 20% | 0.5299 | 0.4545 | 0.3652 | 0.2921 | 0.2336 | 0.1796 | 0.1299 | 0.0914 | 0.0537 | 0.023 |
| 30% | 0.5386 | 0.467 | 0.3786 | 0.3071 | 0.2477 | 0.1923 | 0.1412 | 0.1001 | 0.0628 | 0.0302 |
| 40% | 0.549 | 0.474 | 0.3836 | 0.3101 | 0.2518 | 0.1978 | 0.1475 | 0.1058 | 0.0692 | 0.0368 |
| 50% | 0.5399 | 0.4655 | 0.3756 | 0.2989 | 0.2415 | 0.1858 | 0.1355 | 0.0941 | 0.0557 | 0.0243 |

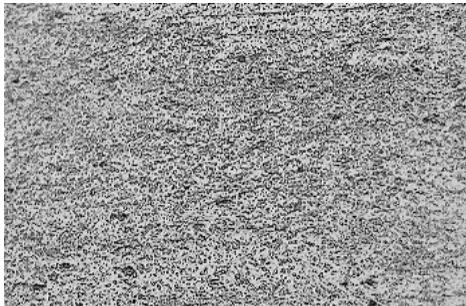


Gambar B-1 Timbangan digital

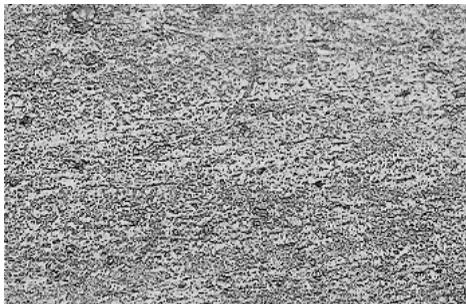
C. Gambar hasil pengujian metalografi



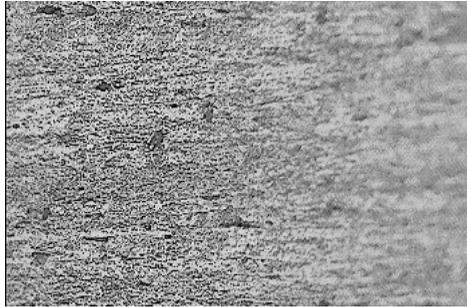
Gambar C-1 Struktur mikro sebelum dirol (0%)



Gambar C-1 Struktur mikro reduksi 10%



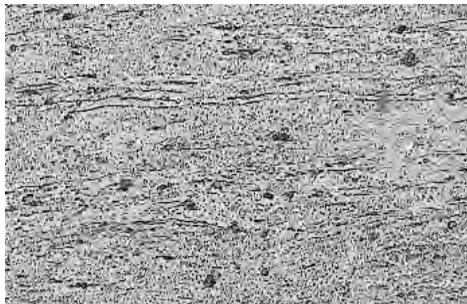
Gambar C-1 Struktur mikro reduksi 20%



Gambar C-1 Struktur mikro reduksi 30%

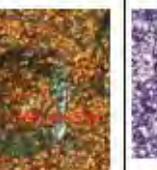
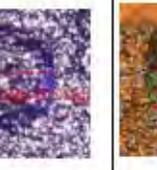
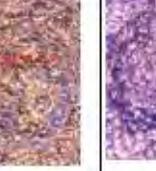
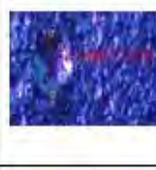


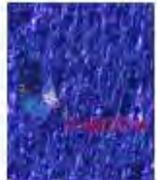
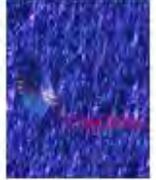
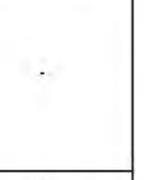
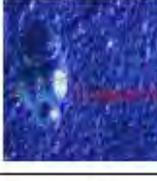
Gambar C-1 Struktur mikro reduksi 40%



Gambar C-1 Struktur mikro reduksi 50%

D.Data Hasil Percobaan *Pitting Corrosion*

| Reduksi | | Respon | | | | | | | | |
|---------|---|--|--|--|---|--|--|--|--|--|
| | | jam ke-1 | Jam ke-2 | jam ke-3 | jam ke-4 | jam ke-5 | jam ke-6 | jam ke-7 | jam ke-8 | jam ke-9 |
| 0% | Foto |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 18 | 31 | 33 | 35 | 32 | 27 | 28 | 16 | 14 |
| | \varnothing pitting terbesar | 204.24 μm | 268.65 μm | 322.17 μm | 355.26 μm | 388.92 μm | 406.58 μm | 437.95 μm | 473.47 μm | - |
| 10% | Foto |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 5 | 8 | 9 | 6 | 8 | 10 | 9 | 10 | 12 |
| | \varnothing pitting terbesar | 143.94 μm | 182.98 μm | 435.25 μm | 442.43 μm | 477.07 μm | 496.69 μm | 506.33 μm | 531.75 μm | 597.72 μm |
| 20% | Foto |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 5 | 8 | 10 | 11 | 7 | 8 | 12 | 8 | 18 |
| | \varnothing pitting terbesar | 221.22 μm | 204.14 μm | 271.88 μm | 308.70 μm | 373.27 μm | 388.85 μm | 406.58 μm | 420.77 μm | 452.83 μm |

| Reduksi | | Respon | | | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| | | jam ke-1 | Jam ke-2 | jam ke-3 | jam ke-4 | jam ke-5 | jam ke-6 | jam ke-7 | jam ke-8 | jam ke-9 |
| 30% | Foto |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 29 | 37 | 44 | 50 | 55 | 40 | 38 | 29 | 21 |
| | \varnothing pitting terbesar | 229.25 μm | 315.37 μm | 371.12 μm | 414.13 μm | 451.22 μm | 486.82 μm | 525.97 μm | 569.22 μm | 571.51 μm |
| 40% | Foto |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 15 | 18 | 20 | 18 | 11 | 9 | 8 | 5 | 10 |
| | \varnothing pitting terbesar | 178.07 μm | 214.06 μm | 286.62 μm | 297.03 μm | 332.11 μm | 371.65 μm | 402.92 μm | - | - |
| 50% | Foto |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Jumlah pitting $\varnothing > 100\mu\text{m}$ | 45 | 52 | 68 | 63 | 53 | 51 | 56 | 24 | 16 |
| | \varnothing pitting terbesar | 306.77 μm | 429.73 μm | 504.88 μm | 532.82 μm | 576.68 μm | 629.31 μm | 664.82 μm | 681.26 μm | - |

RIWAYAT HIDUP



Surya Ginanjar dilahirkan di Bandung pada tanggal 24 September 1990. Penulis merupakan putra kedua dari empat bersaudara.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Babakan Tarogong Bandung dan lulus pada tahun 2002, lalu melanjutkan studi ke SMP Negeri 10 Bandung dan lulus pada tahun 2005, kemudian penulis melanjutkan studi ke SMAT Krida

Nusantara angkatan 10 Bandung dan lulus pada tahun 2008. Setelah masa studi SMA selesai, penulis melanjutkan studi program Diploma ke Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) dengan jurusan Teknik Mesin dan lulus pada tahun 2011. Setelah lulus penulis bekerja pada salah satu perusahaan distributor alat berat PT United Tractors Tbk dan Pada tahun 2013 penulis memutuskan untuk melanjutkan program sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan jurusan Teknik Mesin dan mengambil bidang studi *Metallurgy*. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir dengan judul “ Studi Ketahanan Korosi Dan Kerentanan Terhadap *Pitting Corrosion* Paduan Aluminium Hasil Pengerolan Dingin”. Penulis memiliki harapan agar ilmu yang telah didapatkan dapat berguna untuk agama dan negara. Penulis dapat dihubungi melalui email dibawah ini:

suryaginajar01@gmail.com