



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI KERENTANAN KOROSI BAJA AISI 304L
AKIBAT PENGARUH DARI Pengerolan
DINGIN DAN PENGELASAN GTAW DENGAN
MENGUNAKAN POTENSIOSTAT**

NIKO ARIANTO
NRP 2114 105 027

Dosen Pembimbing
Suwarno, ST., MSc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI KERENTANAN KOROSI BAJA AISI 304L
AKIBAT PENGARUH DARI Pengerolan
DINGIN DAN PENGELASAN GTAW DENGAN
MENGUNAKAN POTENSIOSTAT**

NIKO ARIANTO
NRP 2114 105 027

Dosen Pembimbing
Suwarno, ST., MSc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT - TM141585

**STUDY OF CORROSION STEEL 304L
VULNERABILITY DUE TO THE EFFECT OF
COLD ROLLING AND WELDING GTAW USING
POTENSIOSTAT**

NIKO ARIANTO
NRP 2114 105 027

Advisor Lecturer
Suwarno, ST., MSc., Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KERENTANAN BAJA AISI 304I AKIBAT PENGARUH DARI Pengerolan Dingin dan PENGELASAN GTAW DENGAN MENGGUNAKAN POTENSIOSTAT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NIKO ARIANTO
NRP. 2114 105 027

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Suwarno, ST., MSc., Ph.D** (Pembimbing)
NIP. 198005202005011003
2. **Indra Sidharta, ST., MSc.** (Penguji 1)
NIP. 198006192006041004
3. **Wahyu Wijanarko, ST., MSc.** (Penguji 2)
NIP. 198202092012121001
4. **Ir. Hari Subiyanto, MSc.** (Penguji 3)
NIP. 196006231988031002

SURABAYA
Januari 2017

STUDY OF CORROSION AISI 304L VULNERABILITY DUE TO THE EFFECT OF COLD ROLLING AND WELDING GTAW USING POTENSIOSTAT

Name : Niko Arianto
NRP : 2114105027
Major : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecturer : Suwarno, S.T. M.Sc. Ph.D

Abstract

Corrosion is an event of material damage due to chemically react with the environment. Stainless steel is widely used in the industrial world, an example austenitic stainless steel 304L. Problems still arise in 304L stainless steel is corrosion at the grain boundaries (intergranular corrosion). Sensitization process occurs when the steel is heated at a temperature of 480 – 680°C resulted in the formation of chromium carbide precipitation. Sensitization of austenitic stainless steel can occur time of welding process that can cause damage to the welds. Cold working on a metal deformation processes conducted at temperatures below the recrystallization temperature. As a result of cold working a steel will deform.

The study was conducted to determine the effect of variation rolling and GTAW welding is performed to determine the result of microstructure, in the hope after the process of cold roll rate of corrosion of steel AISI 304L that welding can be decreased. Rolling is done through cold working with variation in the workpiece reduction of 20%, 40%, and 60%. Welding is performed by current variation of 50, 65, and 80 with the welding time 5 and 10 seconds. Test the corrosion rate using a potentiostat with the help of software Nova 1.8, namely to get the data current density (I_{corr}) and potential (E_{corr}).

The research showed that the more time and greater heat input welding, the HAZ formed will increasingly wide, resulting

in weld decay around the area. The microstructure combination of rolling and welding process is formed equaxial with grain bigger and formed twin-boundary which could affect corrosion resistance at the grain boundaries.

Key words: Cold working, GTAW welding, corrosion rate, steel AISI 304L

STUDI KERENTANAN KOROSI BAJA AISI 304L AKIBAT PENGARUH DARI Pengerolan DINGIN DAN PENGELASAN GTAW DENGAN MENGUNAKAN POTENSIOSTAT

Nama Mahasiswa : Niko Arianto
NRP : 2114105027
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Suwarno, S.T. M.Sc. Ph.D

Abstrak

Korosi merupakan peristiwa kerusakan material akibat bereaksi secara kimia dengan lingkungan. Stainless steel (baja tahan karat) merupakan baja yang banyak digunakan dalam pada dunia industri, contoh Austenitic Stainless steel tipe 304 L. Permasalahan yang masih timbul pada Stainless steel 304 L adalah korosi pada batas butir (intergranular corrosion). Proses sensitisasi terjadi saat baja dipanaskan pada temperatur 480 - 680°C mengakibatkan terbentuknya presipitasi karbida krom. Sensitisasi dari austenitic stainless steel dapat terjadi pada waktu proses pengelasan yang dapat menyebabkan kerusakan pada lasan. Pengerjaan dingin (cold working) pada logam merupakan proses deformasi yang dilakukan pada temperatur di bawah temperatur rekristalisasi. Akibat pengerjaan dingin suatu baja akan mengalami deformasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi Pengerolan dan pengelasan GTAW dilakukan untuk mengetahui hasil mikrostruktur, dengan harapan setelah dilakukan proses cold roll laju korosi pada baja AISI 304L yang dilakukan pengelasan bisa menurun. Pengerolan yang dilakukan dengan proses cold working (pengerjaan dingin) dengan variasi reduksi benda kerja yaitu 20%, 40%, dan 60%. Pengelasan yang dilakukan dengan variasi arus 50, 65, dan 80 dengan waktu pengelasan 5 dan 10 detik. Uji laju korosi menggunakan potensiostat dengan bantuan

software NOVA 1.8 yaitu untuk mendapatkan data kerapatan arus (I_{corr}) dan potensial (E_{corr}).

Dari penelitian didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu dan semakin besar heat input pengelasan maka HAZ yang terbentuk akan semakin lebar, sehingga terjadi weld decay di sekitar daerah tersebut. Struktur mikro kombinasi dari proses pengerolan dan pengelasan terbentuk equiaxial dengan butiran yang lebih besar dan terbentuk twin-boundary yang dapat mempengaruhi ketahanan korosi pada batas butir.

Kata kunci : Cold working, las GTAW, laju korosi, baja AISI 304L

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

“STUDI KERENTANAN KOROSI BAJA AISI 304L AKIBAT PENGARUH DARI Pengerolan DINGIN DAN PENGELASAN GTAW DENGAN MENGGUNAKAN POTENSIOSTAT”

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkuliahan.

Adapun keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Ayah dan Ibu** ku telah memberikan banyak dukungan, doa dan dengan kerja keras beliau saya bisa melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi.
2. Bapak **Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran serta bimbingannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc,Eng,Ph.D** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak **Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME.** selaku dosen wali yang telah memberi bimbingannya selama kuliah di Teknik Mesin.

5. Bapak **Suwarno, ST., MSc., PhD**, Bapak **Ir. Hari Subiyanto, MSc**, Bapak **Wahyu Wijanarko, ST., MSc**, dan Bapak **Indra Sidharta, ST., M.Sc** yang memberikan saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. **Pak Mantri, Pak Endang, Pak Gatot, Pak Budi dan Mas Agus** atas batuan yang telah diberikan.
7. **Kakak dan adik** saya atas dukungan dan doanya.
8. **Teman – teman seperjuangan Lintas Jalur angkatan 2014** atas segala canda,tawa,dan ilmu dibagikan selama ini.
9. **Galih Nugroho** sebagai “Partner” tugas akhir atas bantuan dan kerjasamanya.
10. **Kiki, Ica, Bagus, Ricky dan Alif** yang selalu memberikan motivasi.
11. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Judul Tugas Akhir	i
<i>Title of Final Project</i>	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Klasifikasi Baja Tahan Karat	6
2.2.1. Baja Tahan Karat Austenitik.....	8
2.2.2. Pengaruh Unsur Paduan Baja Tahan Karat Austenitik	8
2.3. Korosi.....	9
2.3.1. Pengertian Korosi	9
2.3.2. Korosi Batas Butir.....	9
2.3.3. Pembentukan Karbida pada Baja Tahan Karat.....	10
2.3.4. Pencegahan dan Kontrol Korosi Batas Butir	11
2.3.5. Unsur Paduan	12
2.4. Potensiostat	13
2.5. Struktur Kristal dan Deformasi	15

2.5.1.	Struktur Kristal	15
2.5.2.	Deformasi dengan <i>Twinning</i>	16
2.6.	Pengaruh Pengerjaan Dingin	17
2.6.1.	<i>Cold Rolling</i>	18
2.7.	Las	19
2.7.1.	Proses Pengelasan.....	19
2.7.2.	Pengelasan pada Austenitik <i>Stainless Steel</i>	20
2.7.3.	Input Panas	21
2.7.4.	Heat Affected Zone (HAZ)	23
2.7.5.	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).....	25
BAB 3. METODE PENELITIAN		29
3.1.	Alur Proses Penelitian	29
3.2.	Spesimen Uji	30
3.3.	Alat-Alat yang Digunakan	30
3.4.1.	Peralatan Potong.....	30
3.4.2.	Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	30
3.4.3.	Peralatan Uji Etsa (Etching)	31
3.4.4.	Peralatan Pengamatan Struktur Mikro....	32
3.4.5.	Pengerolan Dingin.....	33
3.4.6.	Las GTAW	34
3.4.7.	Peralatan Uji Korosi	34
3.5.	Rancangan Eksperimen	39
BAB 4. DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN.....		39
4.1.	Komposisi Kimia	39
4.2.	Pengerolan Dingin.....	40
4.2.1.	Analisa Pembahasan.....	41
4.3.	Pengamatan Secara Makro.....	41
4.3.1.	Analisa Pembahasan.....	42
4.4.	Pengujian Laju Korosi.....	42
4.4.1.	Pengujian I_{corr} pada HAZ	45
4.4.2.	Perhitungan Laju Korosi HAZ	50

4.5.	Pengaruh Laju Korosi Terhadap Tiap Reduksi Pengerolan Material	52
4.5.1.	Pengaruh Laju Korosi Terhadap Material Pengerolan dengan Reduksi 20%, 40%, dan 60% dengan Waktu Pengelasan 5 Detik ..	52
4.5.2.	Pengaruh Laju Korosi Terhadap Material Pengerolan dengan Reduksi 20%, 40%, dan 60% dengan Waktu Pengelasan 10 Detik .	53
4.6.	Pengaruh Laju Korosi Terhadap Arus Las pada Tiap Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan	54
4.6.1.	Pengaruh Laju Korosi Terhadap Arus Las Tiap Reduksi Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 5 Detik.....	54
4.6.2.	Pengaruh Laju Korosi Terhadap Arus Las Tiap Reduksi Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 10 Detik.....	55
4.7.	Pembahasan Struktur Mikro.....	56
4.7.1.	Struktur Mikro Pembanding.....	56
4.7.2.	Struktur Mikro Data	59
4.8.	Hasil Pengujian Statistik	60
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	66

**DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh Korosi Pada Baja Tahan Karat	9
Gambar 2.2	Korosi Batas Butir pada Baja Tahan Karat	10
Gambar 2.3	Pengaruh Kadar Karbon (C) terhadap Presipitasi Karbida ($Cr_{23}C_6$) atau Sensitasi.....	11
Gambar 2.4	Rangkaian Potensiostat dengan Tiga Elektroda (Trethewey, 1991).....	14
Gambar 2.5	Bentuk Struktur Kristal	16
Gambar 2.6	<i>Twin-Boundary</i>	17
Gambar 2.7	Proses Pengerolan pada Benda Kerja.....	18
Gambar 2.8	Proses Sensitasi pada Austenitic Stainless Steel: (a) Diagram fase: (b) Siklus Termal: (c) Struktur Mikro .	20
Gambar 2.9	Diagram Schaeffler dari Logam Lasan dalam Pengelasan Baja Tahan Karat	21
Gambar 2.10	Efisiensi Sumber Panas untuk Beberapa Proses Pengelasan	22
Gambar 2.11	Efek Heat Input pada Proses Pengelasan: (a) Hubungan dengan lebar HAZ: (b) Siklus Termal Dekat Batas Fusion: (c) Kekuatan dan Kekerasan yang dihasilkan	23
Gambar 2.12	<i>Heat Affected Zone (HAZ)</i>	23
Gambar 2.13	Siklus Termal dan Cacat Las pada <i>Austenitic Stainless Steel 304</i>	25
Gambar 2.14	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)	26
Gambar 2.15	Diagram Rangkaian Listrik dari Mesin Las Listrik DC.....	27
Gambar 2.16	Pengaruh Polaritas pada Pengelasan GTAW	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Penelitian.....	29
Gambar 3.2	Alat Potong Spesimen (a) Gerinda Tangan dan (b) Gergaji Mesin	30
Gambar 3.3	Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	31
Gambar 3.4	Proses Uji Etsa (etching).....	31
Gambar 3.5	Mikroskop Optik.....	32
Gambar 3.6	Mesin Cold Roll.....	33

Gambar 3.7	Mesin Las TIG	34
Gambar 3.8	Alat Uji Korosi Potensiostatik	35
Gambar 3.9	(a) Benda Uji Korosi sebagai Elektroda Kerja (Working Electrode), (b) Elektroda Pembantu (Counter Electrode), (c) Elektroda Acuan.....	36
Gambar 3.10	Pemasangan rangkaian pengujian ; WE (merah), RE (biru), dan CE (hitam).....	37
Gambar 4.1	Kurva Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja AISI 304L dengan Arus Pengelasan 65 Amper, Reduksi Pengerolan 60%, dan Waktu Pengelasan 10 detik	43
Gambar 4.2	Kurva Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja AISI 304L dengan Arus Pengelasan 65 Amper, Reduksi Pengerolan 40%, dan Waktu Pengelasan 10 detik	44
Gambar 4.3	Kurva Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja AISI 304L dengan Arus Pengelasan 65 Amper, Reduksi Pengerolan 60%, dan Waktu Pengelasan 10 detik	45
Gambar 4.4	Spesimen Uji Korosi	46
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Laju Korosi pada Material Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 5 Detik.....	52
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Laju Korosi pada Material Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 10 Detik.....	53
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Laju Korosi Terhadap Arus las Tiap Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 5 Detik	54
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Laju Korosi Terhadap Arus las Tiap Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 10 Detik	55
Gambar 4.9	Struktur Mikro untuk Material Tanpa Pengerolan, (a) Sebelum Pengelasan; (b) Pengelasan dengan Arus 50 Amper untuk Waktu 5 detik; (c) Pengelasan dengan Arus 80 Amper untuk Waktu 5 detik	57
Gambar 4.10	Struktur Mikro Material Setelah Pengerolan Dingin dan Pengelasan.....	58
Gambar 4.11	Terbentuk Twin Boundary	59

- Gambar 4.12** Struktur Mikro untuk Material Tanpa Pengerolan dengan Arus 80 Amper Waktu 10 detik, (a) Daerah fusion line dengan Logam Induk; (b) HAZ 59
- Gambar 4.13** Struktur Mikro untuk Material Tanpa Pengerolan dengan Arus 50 Amper Waktu 10 detik, (a) Daerah fusion line dengan Logam Induk; (b) HAZ 60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Seri pada Baja Tahan Karat Austenitik.....	7
Tabel 2.2 Pengaruh Unsur Paduan.....	8
Tabel 2.3 Penggunaan Las TIG untuk Beberapa Logam	28
Tabel 3.1 Rancangan Eksperimen Pengujian Laju Korosi dengan Pengerolan	37
Tabel 3.2 Rancangan Eksperimen Pengujian Laju Korosi Tanpa Pengerolan	38
Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Kimia Material	39
Tabel 4.2 Hasil Pengerolan Dingin	40
Tabel 4.3 Contoh Hasil Pengelasan GTAW	41
Tabel 4.4 Pengamatan Secara Makro.....	42
Tabel 4.5 Hasil Pengujian I_{corr} Total untuk Pengerolan	46
Tabel 4.6 Hasil Pengujian I_{corr} Total untuk Tanpa Pengerolan ..	47
Tabel 4.7 Hasil Pengujian I_{corr} pada <i>Weld Metal</i>	47
Tabel 4.8 Hasil Pengujian I_{corr} pada Logam Induk	48
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan I_{corr} HAZ dengan Reduksi Pengerolan	48
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan I_{corr} HAZ Tanpa Pengerolan	49
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Laju Korosi dengan Reduksi Pengerolan	50
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Laju Korosi Tanpa Pengerolan	51
Tabel 4.13 <i>Between-Subjects Factors</i>	61
Tabel 4.14 <i>Test of Between-Subjects Effect</i>	61
Tabel 4.15 Hasil Tes Terhadap Pengaruh Arus Pengelasan	63
Tabel 4.16 Hasil Tes Terhadap Pengaruh Reduksi Pengerolan ..	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan peristiwa perusakan atau degradasi material logam akibat bereaksi secara kimia dengan lingkungan. Korosi menjadi salah satu aspek pertimbangan penting dalam pemilihan material fabrikasi, karena korosi dapat menyebabkan kerugian. Baja merupakan logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. *stainless steel* (baja tahan karat) merupakan baja yang banyak digunakan dalam pada dunia industri, contoh *Austenitic Stainless steel* tipe 304L. Meskipun alasan utama penggunaan *stainless steel* adalah ketahanan korosinya, tetapi pemilihan *stainless steel* yang tepat mesti disesuaikan dengan aplikasi yang tepat.

Permasalahan yang masih timbul pada *Stainless steel* 304L adalah korosi pada batas butir (*intergranular corrosion*). Dimana pada saat pendinginan perlahan dari suhu 480 - 680⁰C terjadi sensitisasi yang akan mengakibatkan terbentuknya presipitasi karbida krom. Sensitisasi dari *austenitic stainless steel* salah satunya dapat terjadi pada waktu proses pengelasan yang dapat menyebabkan kerusakan pada lasan. Kerusakan pada lasan disebabkan oleh *intergranular corrosion* pada HAZ (*Heat Affected Zone*). Hal tersebut terjadi apabila kandungan Cr dibawah 12% maka baja tidak tahan terhadap korosi karena terjadi kekosongan kromium pada batas butir. HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena perubahan struktur dan perubahan sifat terjadi di daerah ini. Secara umum struktur dan sifat daerah panas efektif dipengaruhi dari lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk itu sendiri.

Pengerjaan dingin (*cold working*) pada logam merupakan proses deformasi yang dilakukan pada temperatur di bawah temperatur rekristalisasi. Pada material yang sudah di dingin, maka akan mengakibatkan timbulnya distorsi pada butir. Dengan

terjadinya distorsi pada butir, maka butir yang terbentuk akan lebih pipih/panjang (*elongated grain*) dan lebih rapat sehingga kekuatan material akan meningkat, lebih keras, dan lebih getas. Hal yang lebih penting yaitu ketahanan baja terhadap korosi akan semakin baik. Pada proses *cold rolling* (*rolling* dingin) juga dapat memperbaiki kemampuan permesinan, meningkatkan ketelitian dimensi, dan menghaluskan permukaan logam.

Pada penelitian Gerald Oxtoviaendrew Picarima [1] dengan judul “*Pengaruh arus, kecepatan las dan jarak penyemprotan media pendingin terhadap pembentukan presipitasi karbida krom pada SS 304 dengan pengelasan GTAW*”. Dengan menggunakan baja SS 304 sebagai material uji dan parameter penelitian berupa arus pengelasan serta kecepatan pengelasan. Dengan parameter tersebut maka diperoleh hasil bahwa jika arus pengelasan semakin rendah maka terbentuknya presipitasi karbida krom semakin tinggi, dan apabila kecepatan las semakin tinggi maka kuantitas presipitasi karbida krom akan semakin tinggi.

Setiawati Ainur Ridho [2] dengan judul penelitian “*Pengaruh Pengerolan Dingin Dan Temperatur Annealing Terhadap Ketahanan Korosi Integranular Pada Austenitic Stainless Steel Tipe 304*”. Pada penelitiannya melakukan pengerolan dingin dan temperatur annealing untuk ketahanan SS 304 terhadap ketahanan korosi integranular, mendapatkan hasil bahwa hasil struktur mikro sangat berpengaruh terhadap ketahanan korosi dari *austenit stainless steel* dalam hal ini yaitu AISI 304. Untuk material yang mengalami pengerjaan dingin dan annealing diatas temperatur rekristalisasi maka terbentuk *twin-boundary* yang lebih tahan terhadap korosi intergranular.

Andi Nugraha [3] dengan penelitian “*Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Ketahanan Korosi Stainless Steel 316 L Sebagai Material Implan Medis*”. Parameter penelitian yang digunakan adalah pengaruh dari derajat deformasi pada pengerolan dingin terhadap ketahanan korosi. Hasil yang didapat yaitu dimana pada proses pengerolan dingin meningkatkan kekuatan pada material dalam hal ini material SS 316L. Sehingga

terjadi penurunan laju korosi pada stainless steel yang mengalami pengerjaan dingin seiring dengan bertambahnya derajat deformasi. Hal ini diperkirakan sebagai akibat dari semakin stabilnya lapisan oksida pasif pada permukaannya sebagai akibat dari proses pengerjaan dingin yang dilakukan.

Pada penelitian diatas, dimana pada proses pengelasan jika arus yang digunakan semakin rendah maka baja stainless steel akan terbentuk karbida krom pada batas butir semakin tinggi. Sedangkan pada proses pengerolan dingin, material yang digunakan akan semakin rentan terhadap korosi. Pengerjaan dingin dan annealing diatas temperatur rekristalisasi maka terbentuk *twin-boundary* dan pengaruh derajat deformasi yang terbentuk akibat semakin stabilnya lapisan oksida pasif pada permukaan yang di rol akan lebih tahan terhadap korosi batas butir.

Sehingga tugas akhir ini akan meneliti tentang pengaruh variasi reduksi pengerolan dingin (cold rolling) terhadap kerentanan laju korosi pada baja AISI 304L yang diakibatkan proses pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana struktur mikro pada baja AISI 304L setelah melalui pengerolan dingin.
2. Bagaimana pengaruh pengerolan dingin terhadap laju korosi baja AISI 304L.
3. Bagaimana pengaruh pengelasan GTAW terhadap laju korosi pada material yang telah melalui pengerolan dingin pada baja AISI 304L.

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang tertera, maka tujuan penelitian yaitu:

1. Mengetahui struktur mikro baja AISI 304L setelah pengerolan dingin.
2. Mengetahui pengaruh pengerolan dingin terhadap laju korosi pada baja AISI 304L.
3. Mengetahui pengaruh pengelasan terhadap laju korosi pada material yang telah melalui pengerolan dingin pada baja AISI 304L.

1.4 Batasan Masalah

Supaya penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan untuk pengerolan dan pengelasan dalam kondisi baik.
2. Tidak memperhitungkan proses pengerolan dan waktu pengerolan dianggap konstan.
3. Saat proses pengelasan, daerah di sekitar las dalam keadaan kering .

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi dunia industri, manfaat dari hasil penelitian ini adalah sbb:

1. Menambah pengetahuan tentang laju korosi pada baja tahan karat, khususnya pada *austenitic stainless steel*.
2. Dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya dalam bidang korosi.
3. Sebagai pertimbangan pemilihan bahan yang baik dalam dunia industri.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Berikut ini penelitian yang digunakan sebagai acuan:

- Gerald Oxtoviandrew Picarima, “*Pengaruh arus, kecepatan las dan jarak penyemprotan media pendingin terhadap pembentukan presipitasi karbida krom pada SS 304 dengan pengelasan GTAW*”. Dalam tugas akhir saudara Gerald menganalisa pengaruh pengelasan GTAW terhadap pembentukan presipitasi karbida krom *stainless steel*. Hasil yang diperoleh yaitu bahwa jika arus pengelasan semakin rendah maka terbentuknya presipitasi karbida krom semakin tinggi, dan apabila kecepatan las semakin tinggi maka kuantitas presipitasi karbida krom akan semakin tinggi.
- Setiawati Ainur Ridho, “*Pengaruh Pengerolan Dingin Dan Temperatur Annealing Terhadap Ketahanan Korosi Integranular Pada Austenitic Stainless Steel Tipe 304*”. Pada penelitiannya melakukan pengerolan dingin dan temperatur annealing untuk ketahanan SS 304 terhadap ketahanan korosi integranular, mendapatkan hasil bahwa hasil struktur mikro sangat berpengaruh terhadap ketahanan korosi dari *austenit stainless steel* dalam hal ini yaitu AISI 304. Untuk material yang mengalami pengerjaan dingin dan annealing diatas temperatur rekristalisasi maka terbentuk twin-boundary yang lebih tahan terhadap korosi intergranular.
- Andi Nugraha, “*Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Ketahanan Korosi Stainless Steel 316 L Sebagai Material Implan Medis*”. Pada penelitian saudara Andi menganalisa pengaruh dari derajat deformasi pada pengerolan dingin

terhadap ketahanan korosi. Hasil yang dapat yaitu dimana pada proses pengerolan dingin meningkatkan kekuatan pada material dalam hal ini material SS 316L. Sehingga terjadi penurunan laju korosi pada stainless steel yang mengalami pengerjaan dingin seiring dengan bertambahnya derajat deformasi. Hal ini diperkirakan sebagai akibat dari semakin stabilnya lapisan oksida pasif pada permukaannya sebagai akibat dari proses pengerjaan dingin yang dilakukan.

2.2 Klasifikasi Baja Tahan Karat

Baja tahan karat merupakan kelompok dari baja paduan yang mempunyai sifat atau karakterisasi khusus. Ciri umum dari baja tahan karat adalah kadar kromium (Cr) yang tinggi, tidak kurang dari 12%. Kromium dengan besi (Fe) dalam baja membentuk larutan padat atau solid solution. Berdasarkan klasifikasinya baja tahan karat di klasifikasikan menjadi:

1. Baja tahan karat feritik, 12-30% Cr
2. Baja tahan karat austenitik, 17-25% Cr ; 8-20% Ni
3. Baja tahan karat martensitik, 12-17% Cr ; 0.1-1% C
4. Baja tahan karat *duplex*, 23-30% Cr ; 2.5-7% Ni dengan penambahan unsur titanium (Ti) dan molibdenum (Mo).
5. Baja tahan karat *precipitation hardening*, mempunyai struktur martensit atau austenit dan penambahan unsur tembaga (Cu), titanium (Ti), aluminium (Al), molibdenum (Mo), niobium (Nb), atau nitrogen (N).

Selain unsur kromium, dan unsur yang biasa ditambahkan dalam baja tahan karat seperti nikel (Ni), titanium (Ti), molibdenum (Mo), niobium (Nb), vanadium (V) merupakan penyempurnaan kemampuan baja tahan karat baik sifat mekanik maupun ketahanan terhadap korosi.

2.2.1 Baja Tahan Karat Austenitik

Baja tahan karat austenitik (austenitic stainless steel) memiliki paduan yang cukup untuk menstabilkan austenit pada suhu ruang. Baja ini didapatkan dengan menambahkan elemen penyetabil austenit seperti Ni atau Mn pada paduan besi *chromium*. Jika mangan ditambahkan dalam jumlah yang cukup maka daerah austenit akan bertambah luas dan sebaliknya akan memperkecil pembentukan ferrit. Baja tahan karat austenitik memiliki sifat mampu bentuk dan keuletan pada suhu rendah yang sangat baik. Baja tahan karat jenis ini sangat cocok diterapkan pada sistem dengan suhu tinggi. Di sisi lain baja tahan karat austenitik relatif memiliki kekuatan *yield* yang rendah dan hanya dapat ditingkatkan kekuatannya dengan pengerjaan dingin (*cold working*), *precipitation hardening*, atau *substitutional solid solution strengthening*. Selain itu baja tahan karat austenitik juga memiliki sifat mampu las dan ketahanan karat yang sangat baik.

Menurut standar AISI-SAE, AISI seri 300 memiliki sifat non-magnetik. Baja tahan karat austenitik umumnya memiliki nomor 3xx. Material AISI-SAE 3xx merupakan paduan ferro-karbon-chromium-nickel dengan kandungan chromium sebesar 16%-26% dan kandungan nickel sebesar 6%-22%. Baja tahan karat austenitik yang digunakan adalah tipe AISI-SAE 304L, di mana mengandung 18.7% Cr, 8.67% Ni dan 0,0413% C.

Tabel 2.1 Seri pada Baja Tahan Karat Austenitik

AISI Type	C %	Cr %	Ni %	Other dalam %
201	0,15	16 – 18	3,5 – 5,5	N. 0,25 ; Mn. 5,5 – 7,5 ; P. 0,06
202	0,15	17 – 19	4,0 – 6,0	N. 0,25 ; Mn. 7,5 – 10 ; P. 0,06
301	0,15	16 – 18	6,0 – 8,0	-
302	0,15	17 – 19	8,0 – 10,0	-
304	0,08	18 – 20	8,0 – 12,0	-
304 L	0,03	18 – 20	8,0 – 12,0	-
308	0,08	19 – 21	10,0 – 12,0	-
309	0,20	22 – 24	12,0 – 15,0	-
310	0,25	24 – 26	19,0 – 22,0	-
316	0,08	16 – 18	10,0 – 14,0	-
316 L	0,03	16 – 18	10,0 – 14,0	-
317	0,08	18 – 20	11,0 – 15,0	Si. 1,50

2.3 Pengaruh Unsur Paduan Baja Tahan Karat Austenitik

Baja tahan karat austenitik terjadi pada sistem larutan padat Fe-Cr ditambahkan unsur penstabil austenite seperti nikel (Ni) atau mangan (Mn). Kedua unsur ini berpengaruh sebagai unsur yang menstabilkan austenit dan menambah luas daerah fasa austenit dan mempersempit daerah ferit.

Jika pada paduan Fe-Cr ditambahkan nikel (Ni) dengan kadar 8%, maka akan terbentuk struktur atau fasa austenit yang stabil pada temperatur ruang. Baja tahan karat ini dapat ditingkatkan kekuatannya dengan melakukan pengerjaan dingin atau dengan menambahkan unsur paduan tertentu untuk dapat meningkatkan kekuatannya.

Tabel 2.2 Pengaruh Unsur Paduan

Element	Types or Grades of Steel	Effects
Carbon	All types	Strongly promotes the formation of austenite. Can form a carbide with chromium that can lead to intergranular corrosion.
Chromium	All types	Promotes formation of ferrite. Increases resistance to oxidation and corrosion.
Nickel	All types	Promotes formation of austenite. Increases high-temperature strength, corrosion resistance, and ductility.
Nitrogen	XXXN	Is a very strong austenite former. Like carbon, nitrogen is many times as effective as nickel in forming austenite. Increases strength, especially at cryogenic temperatures. Increases resistance to pitting corrosion.
Niobium	347	Added primarily to combine with carbon to reduce susceptibility to intergranular corrosion. Acts as a grain refiner. Promotes the formation of ferrite. Improves creep strength, but decreases creep ductility.
Manganese	20X	Promotes the stability of austenite at or near room temperature but forms ferrite at high temperatures. Inhibits hot shortness by forming manganese sulfide.
Molybdenum	316, 317	Improves strength at high temperatures. Improves corrosion resistance to reducing media. Promotes the formation of ferrite.
Selenium or Sulfur	303, 303Se	Increases machinability but promotes hot cracking during welding. Lowers corrosion resistance slightly. Increases weld penetration in gas tungsten arc welding.
Silicon	209B	Increases resistance to scaling. Promotes formation of ferrite, and of sigma when greater than 1%. Small amounts are added to all grades for deoxidizing purposes. Increases fluidity including wetting of weld metal to base metal.
Titanium	321	Added primarily to combine with carbon to reduce susceptibility to intergranular corrosion. Acts as a grain refiner. Promotes the formation of ferrite. Improves creep strength.
Copper	CN-714	Generally added to stainless steels to increase corrosion resistance to certain environments. Decreases susceptibility to stress-corrosion cracking and provides age-hardening effects.

2.3 Korosi

2.3.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah penurunan mutu dari suatu peralatan logam. Secara umum korosi dapat digolongkan berdasarkan rupanya, keseragamannya atau keserbanekaanya, baik secara mikroskopis maupun makroskopis. Dua jenis mekanisme utama dari korosi adalah berdasarkan reaksi kimia secara langsung dan reaksi elektrokimia.

Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Klasifikasi korosi menurut mekanisme terjadinya yaitu ada dua. Pertama korosi temperatur rendah, atau *electrochemical corrosion* misalnya yang terjadi pada media yang mengandung uap air atau di media elektrolit. Kedua korosi temperatur tinggi atau korosi kering, misalnya korosi yang terjadi pada ruang bakar atau sudu turbin gas.



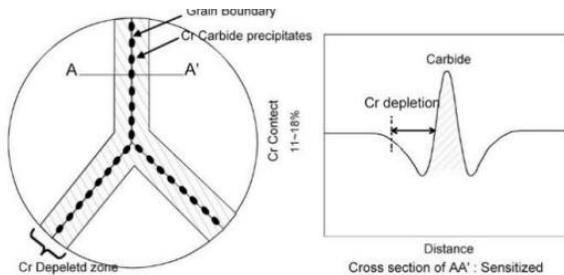
Gambar 2.1 Contoh Korosi Pada Baja Tahan Karat

2.3.2 Korosi Batas Butir

Korosi batas butir merupakan korosi yang secara lokal menyerang batas butir logam, sehingga kekuatan mekanik dari logam akan berkurang. Korosi ini disebabkan adanya kotoran (impurity) batas butir, adanya unsur yang berlebih pada sistem perpaduan atau penghilangan salah satu unsur pada daerah batas butir. *Intergranular corrosion* (IGC) adalah bentuk penyerangan

terhadap batas butir atau daerah sekitarnya pada material dalam lingkungan korosif tetapi hanya sebagian kecil korosi menyerang butir material itu sendiri. *Intergranular corrosion* juga dikenal sebagai *intergranular attack* (IGA).

Presipitasi karbida ($M_{23}C_6$) sering di sebut sebagai sensitisasi, dimana saat dipanaskan dan dibiarkan dingin secara perlahan maka karbon akan menarik krom untuk membentuk partikel kromium karbida didaerah batas. Formasi kromium karbida yang terkonsentrasi pada batas butir akan menghilangkan/mengurangi sifat perlindungan kromium pada daerah tengah butir.



Gambar 2.2 Korosi Batas Butir pada Baja Tahan Karat

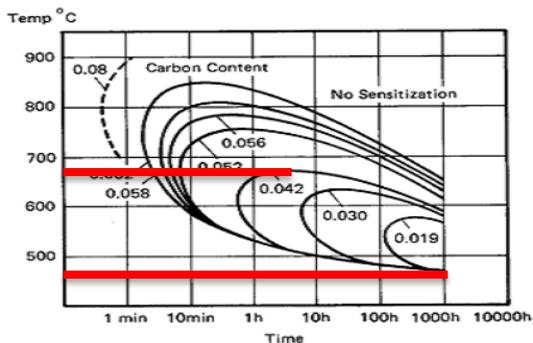
2.3.3 Pembentukan Karbida pada Baja Tahan Karat

Apabila baja tahan karat cukup banyak mengandung kromium dan dipanaskan pada temperatur sensitasi, maka akan terjadi proses presipitasi. Pada suhu cukup tinggi tersebut, memberikan energi yang cukup bagi atom kromium untuk berdifusi dengan bebas, maka terbentuklah presipitasi karbida. Korosi tidak menyerang karbida yang sudah terbentuk, melainkan menyerang daerah yang memiliki kadar krom lebih sedikit.

Terbentuknya presipitasi karbida ini merupakan penyebab terjadinya korosi batas butir (*intergranular corrosion*). Batas butir merupakan daerah yang mempunyai energi tinggi, karena atom-atom di dalam ini tidak terikat dalam suatu ikatan yang rapat. Adanya energi yang lebih besar pada batas butir

memungkinkan terjadinya presipitasi karbida. Jika karbida krom yang terbentuk cukup banyak maka baja ini akan mudah terserang korosi batas butir. Perbedaan kadar kromium antara daerah sekitar batas butir menyebabkan terbentuknya suatu sel dengan material yang berbeda. Sehingga proses pengkorosian dapat berlangsung. Dengan menurunkan kadar karbon maksimal sampai 0.03% diharapkan dapat mencegah terbentuknya presipitasi karbida.

Kecepatan pendinginan sangat berpengaruh dalam proses terbentuknya presipitasi krom ini. Jika kecepatan pendinginan pada kisaran temperatur 480 - 680°C sangat cepat, maka presipitasi karbida tidak akan terbentuk.



Gambar 2.3 Pengaruh Kadar Karbon (C) terhadap Presipitasi Karbida ($Cr_{23}C_6$) atau Sensitasi.

2.3.4 Pencegahan Korosi Batas Butir

Pengendapan atas beberapa karbida sering disebut sebagai sensitisasi. Sensitisasi merupakan penyebab terjadinya serangan korosi batas butir. Sensitisasi terjadi saat pendinginan perlahan dari suhu 480 - 680°C. Sensitisasi pada baja tahan karat dapat dicegah dengan cara:

1. Baja dipanaskan temperatur diatas 1000 - 1100^o C kemudian dilakukan pendinginan secara cepat didalam air. Akibatnya kromium karbida akan larut ke dalam

butiran dan tidak sempat terjadi presipitasi. Metode ini dinamakan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT).

2. Menambahkan unsur titanium (Ti), niobium (Nb), titanium dan niobium adalah pembentuk karbida yang kuat. Mereka bereaksi dengan karbon membentuk karbida yang sesuai sehingga mencegah deplesi kromium.
3. Memperpanjang waktu penahanan pada proses homogenisasi, sehingga konsentrasi krom merata disetiap titik.
4. Menggunakan baja tahan karat dengan grade karbon rendah, contoh tipe 304L dan 316L. Baja tahan karat tersebut mempunyai kadar karbon $>0,035\%$ untuk mengurangi kerentanan pada proses sensitasi.

2.3.5 Unsur Paduan

Untuk mendapatkan sifat mekanis yang sesuai dengan kebutuhan khusus maka perlu menambahkan unsur paduan tertentu agar diperoleh spesifikasi baja dengan sifat mekanis yang diperlukan. Tujuan penambahan unsur paduan adalah untuk meningkatkan sifat mampu keras baja, kekuatan pada temperatur normal, sifat mekanik antara temperatur rendah atau tinggi, ketangguhan, tahan aus, dan tahan korosi:

a. Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4-1%. Silikon meningkatkan kelarutan dalam matrik dan meningkatkan kekerasan setelah pendinginan. Silikon mempunyai pengaruh menaikkan kekerasan, kekuatan, kemampuan untuk dikeraskan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan korosi.

b. Mangan (Mg)

Unsur Mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxidizer* (pengikat O_2) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Mangan dalam baja

dapat meningkatkan kedalaman pengerasan karena membentuk karbida mangan (Mn_3C) kekuatan, kemampuan di temper dan ketahanan aus.

c. Nikel (Ni)

Nikel memberi pengaruh sama seperti Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Nikel membuat struktur butiran menjadi halus sehingga menambah keuletan, dan kekuatan tahan karat.

d. Krom (Cr)

Unsur krom merupakan penstabil ferit. Meningkatkan kekerasan, kekuatan, ketahanan aus, kemampuan dikeraskan, ketahanan panas, kerak, dan karat.

e. Molibdenum (Mo)

Unsur paduan ini ditambahkan ke dalam baja dengan tujuan menaikkan *hardenability*. Molibdenum terkadang dipadukan dengan baja dalam ikatan bersama-sama Cr, Ni, dan V yang dapat menghalangi pertumbuhan butir sehingga diperoleh butiran halus. Meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan panas, dan batas leleh.

f. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbida yang sangat keras dan meningkatkan tahan aus pada baja, kemampuan potong dan daya tahan panas, untuk pahat potong dengan kecepatan tinggi.

2.4 Potensiostat

Potensiostat dengan tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan yang merupakan kesempurnaan dari sel korosi basah (Trethewey, 1991). Gambar 2.8 menunjukkan contoh rangkaian pada peralatan tersebut. Tiga elektroda yang bekerja dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Elektroda Kerja (Working Electrode)

Elektroda kerja merupakan istilah yang dipakai untuk menggantikan elektroda yang sedang diteliti. Elektroda

kerja dapat disiapkan dengan cara memasang sebuah spesimen dalam resin, dan disambung dengan kawat tembaga untuk menghubungkan arus listrik.

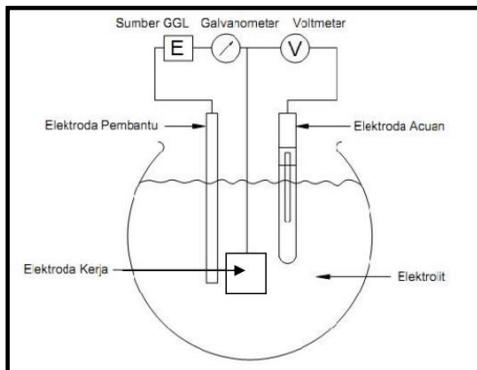
2. Elektroda Pembantu (Counter Electrode)

Elektroda pembantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian, akan tetapi elektroda pembantu tidak dapat digunakan untuk pengukuran potensial. Bahan dari elektroda pembantu ini biasanya menggunakan batang karbon, selain batang karbon bisa juga menggunakan platina dan emas.

3. Elektroda Acuan (Reference Electrode)

Elektroda acuan merupakan titik dasar untuk mengacu pengukuran elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus kecil bila tidak bila tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel, sehingga potensialnya tidak lagi konstan.

Polarisasi terjadi ketika suatu logam tidak berada dalam keseimbangan dengan larutan yang mengandung ion, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas (Trethewey, 1991). Polarisation merupakan fenomena dalam korosi yang bisa dimanfaatkan untuk menentukan laju korosi logam.



Gambar 2.4 Rangkaian Potensiostat dengan Tiga Elektroda (Trethewey, 1991).

Laju korosi dapat diartikan sebagai laju penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Metode yang dapat digunakan untuk menghitung laju korosi adalah dengan menggunakan metode berat dan memanfaatkan metode berdasar prinsip-prinsip elektrokimia. Metode elektrokimia merupakan metode yang digunakan untuk mencari nilai laju korosi. Dengan laju korosi diukur menggunakan metode elektrokimia maka dapat menggunakan persamaan hukum Faraday, sbb:

$$CR = \frac{0,00327 \cdot I \cdot EW}{D}$$

Dimana:

- CR = Corrothion Rate (mm/year)
- I = Current Density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
- EW = Equivalent Weight (gram/mol)
- D = Density (gram/cm^3)

2.5 Struktur Kristal dan Deformasi

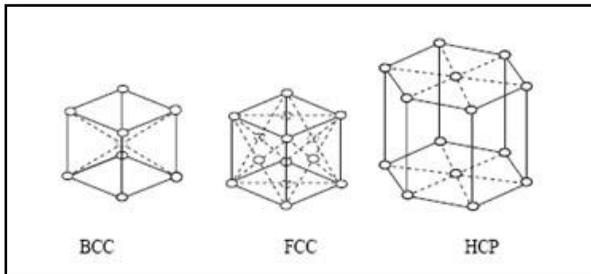
2.5.1 Struktur Kristal

Kristal adalah susunan atom-atom dalam tiga dimensi menurut suatu pola tertentu. Bila dari inti-inti atom dalam suatu kristal ditarik garis – garis imajiner melalui inti atom tetangganya maka akan diperoleh suatu kerangka dimensi yang disebut *space lattice* (kisi ruang). *Space lattice* tersusun dari sejumlah besar *unit cell* (sel satuan). *Unit cell* merupakan bagian terkecil dari *space lattice*, yang bila disusun ke arah sumbunya akan membentuk *space lattice*.

Ada 7 macam sistem kristal, yaitu *cubic*, *tetragonal*, *orthorhombic*, *monoclinic*, *triclinic*, *hexagonal*, dan *rhombohedral*. Dari ketujuh sistem kristal tersebut ada 14 jenis bentuk *space lattice* yang mungkin terjadi. Dari keempat belas jenis tersebut ternyata hanya 3 yang sering dijumpai pada logam yang biasa digunakan, yaitu:

1. *Face centered cubic* (FCC) atau kubus pemusatan sisi (KPS).

2. *Body centered cubic* (BCC) atau kubus pemusatan ruang (KPR).
3. *Hexagonal close-packed* (HCP) atau hexagonal tumpukan padat (HTP).



Gambar 2.5 Bentuk Struktur Kristal

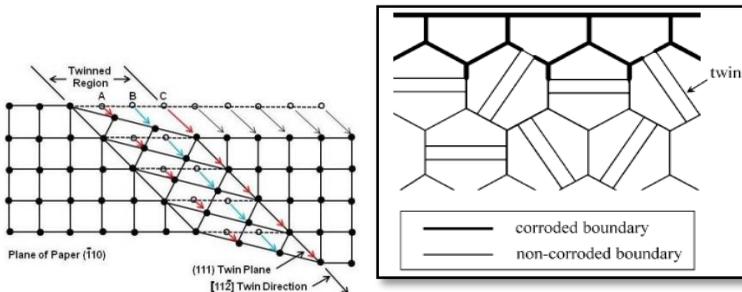
Logam dengan struktur kristal BCC mempunyai kerapatan atom yang lebih rendah dibandingkan logam dengan struktur kristal FCC. Perbedaan kerapatan atom itu dapat dilihat dari jumlah bidang gesernya, dikarenakan susunan atom-atom dalam struktur kristal sangat menentukan sifat-sifat logamnya. Logam dengan struktur kristal BCC membutuhkan energi lebih besar untuk mengerakkan dislokasi di banding FCC sebab struktur kristal BCC jumlah bidang gesernya lebih sedikit, sehingga kemampuan atom-atom untuk bergeser lebih sulit. Hal ini yang menyebabkan logam dengan struktur kristal BCC lebih sulit dibentuk jika dibandingkan logam dengan struktur kristal FCC yang mempunyai kekuatan rendah tetapi memiliki keuletan yang tinggi.

2.5.2 Deformasi dengan *Twinning*

Twin-boundary merupakan suatu bagian kristal yang berubah orientasi membentuk kembaran simetris terhadap kisi semula. Bagian kristal *twinning* merupakan bayangan terbalik dari kristal induk akibat tegangan geser yang bekerja. Kristal

daerah sebelah kanan tidak terbentuk. Sebelah kiri bidang ini, bidang atom mengalami geseran sedemikian rupa, sehingga membuat kisi bayangan sepanjang bidang *twinning*. Dalam kisi sederhana seperti ini, tiap atom dalam daerah *twinning* bergerak karena geseran homogeny sepanjang jarak yang sepadan dengan jaraknya dari bidang *twinning* [Dieter,1993]. *Twinning* dapat terjadi bila kemungkinan untuk slip kecil, yaitu bila pada slip system terbatas seperti pada logam dengan kristal HCP. Karena itu *twinning* biasanya tidak terjadi pada BCC dan FCC. *Twinning* dapat terjadi sebagai akibat gaya mekanik, disebut *mechanical twins*, dan dapat terjadi pada kristal yang telah dideformasi lalu di *anneal*, disebut *annealing twins*.

Twin-boundary dapat mempengaruhi ketahanan korosi batas butir dikarenakan mempunyai energi batas (twin) yang sangat rendah, sehingga menahan keterikatan antara presipitasi karbida terhadap *twin-boundary* [Shimada, 2002].



Gambar 2.6 *Twin-Boundary*.

2.6 Pengaruh Pengerjaan Dingin

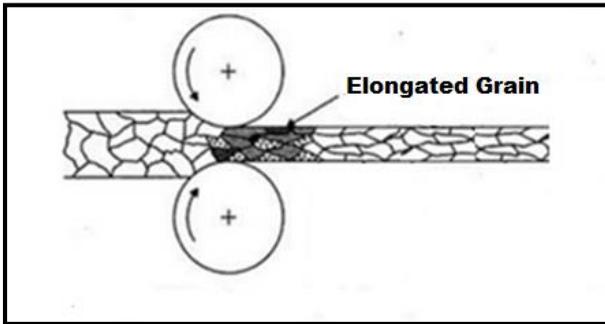
Pengerjaan dingin (cold working) pada logam merupakan proses deformasi yang dilakukan pada temperatur di bawah temperatur rekristalisasi. Pada temperatur ini, deformasi akan menyebabkan benda kerja mengalami pengerasan regang dan perubahan struktur butiran. Benda kerja menjadi lebih keras dan kuat dengan struktur yang mengandung sejumlah regangan.

Benda kerja kehilangan sebagian besar keuletannya sehingga menjadi getas.

Peningkatan kekuatan menyebabkan logam menjadi sulit dideformasi lebih lanjut. Dalam keadaan yang ekstrim benda kerja menjadi tidak dapat dibentuk dan mejadi getas, Peningkatan kekuatan pengerjaan dingin terkait dengan peningkatan kerapatan dislokasi pada logam tersebut. Semakin besar deformasi yang diberikan, maka semakin tinggi kerapatan dislokasinya dan semakin keras logam yang dihasilkan.

2.6.1 Cold Rolling

Rolling adalah proses pembentukan dengan cara reduksi ketebalannya atau mengubah penampang benda kerja panjang dengan kekuatan tekan diterapkan melalui suatu rangkaian gulungan. (Serope Kalpakjian). Cold rolling dilakukan pada suhu ruang, sehingga memerlukan energi yang besar selama pengerolan. Proses *rolling* juga proses pembentukan logam melalui deformasi dengan cara melewati logam pada satu pasang *roll* yang berputar berlawanan arah dengan kondisi logam tanpa pemanasan terlebih dahulu .



Gambar 2.7 Proses Pengerolan pada Benda Kerja.

Pada material yang sudah di roll dingin, maka akan mengakibatkan timbulnya distorsi pada butir. Dengan terjadinya distorsi pada butir, maka butir yang terbentuk akan lebih

pipih/panjang (elongated grain) dan lebih rapat sehingga kekuatan material akan meningkat, lebih keras, dan lebih getas. Hal yang lebih penting yaitu ketahanan baja terhadap korosi akan semakin baik. Pada proses *cold rolling* (pengerolan dingin) juga dapat memperbaiki kemampuan permesinan, meningkatkan ketelitian dimensi, dan menghaluskan permukaan logam.

Deformasi plastis dapat menghasilkan kenaikan energi pada logam atau dikenal dengan energi aktivasi dalam bentuk kerapatan logam yang lebih tinggi (Siswosuwarno, 1985). Semakin besar terjadi deformasi pada benda kerja, maka semakin besar pula penurunan rekristalisasinya. Karena itu temperatur rekristalisasi pada pengerjaan dingin biasanya dinyatakan dengan suatu daerah bertemperatur sekitar 40% - 50% dari temperatur cairnya.

2.7 Las

2.7.1 Proses Pengelasan

Pengelasan (welding) adalah suatu proses penyambungan plat atau logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa tekanan. Yaitu dengan cara logam yang akan disambung dipanaskan terlebih dahulu hingga meleleh, kemudian baru disambung dengan bantuan kawat las (filler). Sesuai dengan temperatur pengelasan, dikenal pengelasan dengan peleburan dan pengelasan dalam keadaan padat. Pada pengelasan, suhu yang digunakan yaitu antara 1500 - 1600°C. Berdasarkan pelaksanaannya las dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Pengelasan Cair

Dimana logam induk dan bahan tambahan dipanaskan hingga mencair, kemudian membiarkan keduanya membeku sehingga membentuk sambungan.

2. Pengelasan Tekan

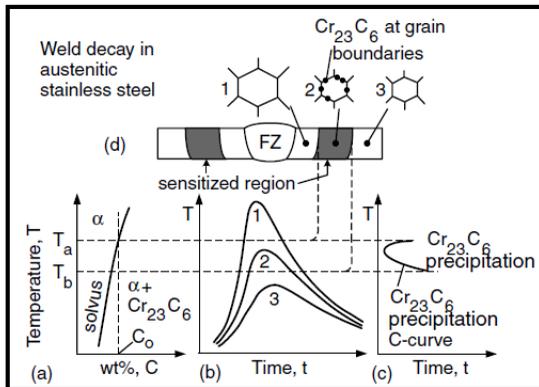
Proses dimana kedua logam yang disambung, dipanaskan hingga meleleh, lalu keduanya ditekan hingga menyambung.

3. Pematrian

Merupakan proses seperti pengelasan cair, akan tetapi bedanya adalah penggunaan bahan tambahan/*filler* yang mempunyai titik leleh dibawah titik leleh logam induk.

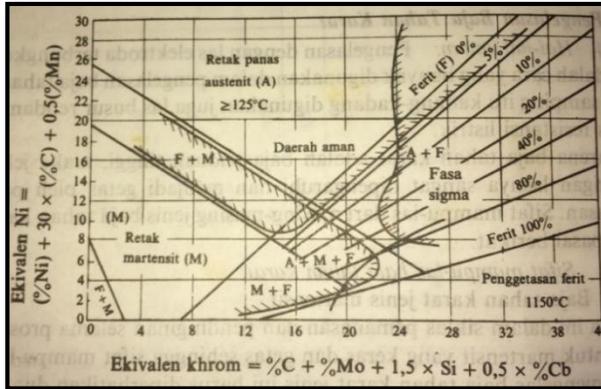
2.7.2 Pengelasan pada Austenitic Stainless Steel

Baja tahan karat jenis ini mempunyai sifat mampu las yang lebih baik bila dibanding dengan kedua jenis baja yang lainnya (ferritic dan martensitic). Tetapi walaupun demikian pada pendinginan lambat dari 480 - 680°C akan terbentuk karbida krom yang mengendap di antara butir. Endapan ini dapat menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya.



Gambar 2.8 Proses Sensitasi pada Austenitic Stainless Steel: (a) Diagram fase: (b) Siklus Termal: (c) Struktur Mikro.

Sifat mekanik dan sifat tahan karat dari logam las sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur. Hubungan antara komposisi kimia dalam bentuk ekivalen Ni dan ekivalen Cr serta struktur mikro yang terjadi ditunjukkan dengan diagram Schaeffler. Karena semua jenis baja tahan karat dalam pengelasan akan mengalami penggetasan dan peretakan, maka harus dijaga agar logam las selalu terletak pada daerah aman.



Gambar 2.9 Diagram Schaeffler dari Logam Lelasan dalam Pengelasan Baja Tahan Karat.

2.7.3 Input Panas

Sumber energi panas yang bersumber dari energi listrik memanfaatkan fenomena *short circuits*, sehingga akan menimbulkan panas yang tinggi yang mampu mencairkan logam yang akan disambung. Besarnya energi yang akan digunakan disesuaikan dengan kebutuhan material yang akan disambung dan juga konstruksi mesin lasnya. Secara umum pengelasan dengan bergerak dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \eta \frac{E \cdot I}{v}$$

Dimana :

H = Heat Input (Joule/mm)

η = Efisiensi

E = Voltase (volt)

I = Arus (ampere)

v = gerakan maju pengelasan (mm/detik)

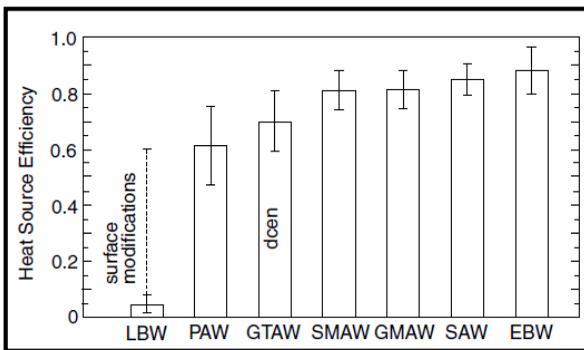
Sedangkan untuk pengelasan diam dapat dirumuskan:

$$H = \eta \cdot E \cdot I \cdot t$$

Dimana :

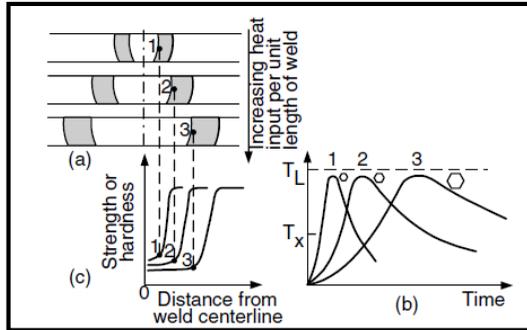
t = waktu pengelasan diam (detik)

Las yang digunakan yaitu GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) sehingga memiliki efisiensi yang berbeda dibandingkan pengelasan dengan yang lainnya. Dari gambar dibawah didapatkan efisiensi pengelasan GTAW yaitu sekitar 0,7.



Gambar 2.10 Efisiensi Sumber Panas untuk Beberapa Proses Pengelasan

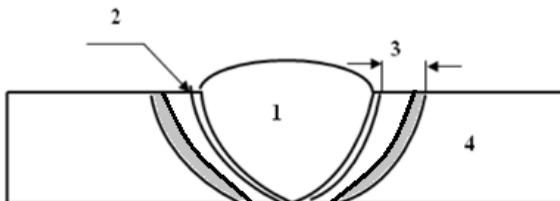
Input panas yang diberikan akan merambat secara konveksi maupun konduksi material yang dilas, sehingga menimbulkan daerah-daerah tertentu yang dibagi menurut perubahan-perubahan struktur mikronya. Secara umum akibat input panas material sekitar lasan dibagi dalam tiga kategori umum daerah lasan (fusion zone), daerah pencairan sebagian (partially melted zone) dan daerah pengaruh panas (Heat Affected Zone). Besarnya atau luasnya daerah tersebut sangat dipengaruhi oleh energi density yang dikenakan pada material.



Gambar 2.11 Efek Heat Input pada Proses Pengelasan: (a) Hubungan dengan lebar HAZ: (b) Siklus Termal Dekat Batas Fusion: (c) Kekuatan dan Kekerasan yang dihasilkan.

2.7.4 Heat Affected Zone (HAZ)

Struktur mikro disekitar daerah lasan akan mengalami perubahan karena akibat dari logam mengalami pengaruh pemanasan. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada arus, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut *Heat Affected Zone* (HAZ) atau daerah pengaruh panas. Berikut hasil yang akan kita temui bila kita melakukan pengelasan, sbb :

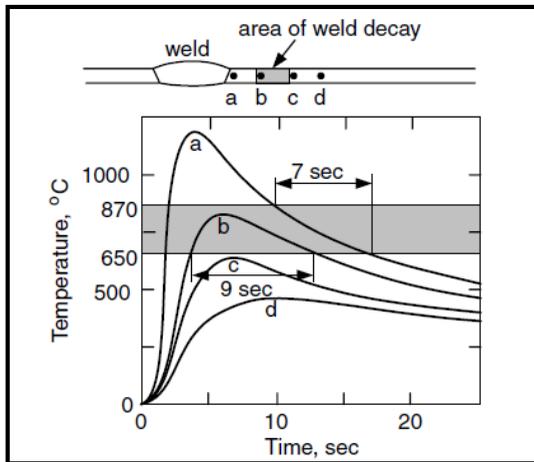


Gambar 2.12 *Heat Affected Zone* (HAZ).

Keterangan :

1. Logam Las (Weld Metal) adalah daerah dimana terjadi pencairan logam dan dengan cepat kemudian membeku. Disebut juga daerah lasan (*fusion zone*). merupakan daerah yang mengalami pencairan, mengalami pemanasan yang paling tinggi hingga melebihi temperatur cair.
2. PMZ (Partially Melted Zone) adalah daerah dekat diluar logam lasan dimana pencairan dapat terjadi selama pengelasan berlangsung. Daerah ini merupakan daerah sempit antara *weld metal* dan HAZ, dan merupakan daerah temperatur tertinggi yang memiliki dua fasa cair dan padat sehingga sering kali terjadi retakan.
3. HAZ (Heat Affected Zone) adalah merupakan daerah paling kritis pada daerah las karena terjadi perubahan sifat dan struktur terjadi di daerah ini. Dimana sifat struktur daerah pengelasan dipengaruhi dari lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk. Oleh karena itu daerah ini merupakan daerah sensitasi dimana presipitasi karbida krom terbentuk.
4. Logam Induk (Parent Metal) merupakan *base metal* dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.

HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena perubahan struktur dan perubahan sifat terjadi di daerah ini. Secara umum struktur dan sifat daerah panas efektif dipengaruhi dari lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk itu sendiri. Proses las terjadi setelah proses pemanasan dan juga pendinginan maka dapat dikatakan proses las juga proses *heat treatment* hanya saja terjadinya lokal, tidak seperti proses *heat treatment* pada umumnya. Untuk melihat fenomena proses tersebut dapat dilihat pada grafik siklus *thermal* las. Siklus *thermal* las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi pada daerah lasan.



Gambar 2.13 Siklus Termal dan Cacat Las pada *Austenitic Stainless Steel 304*.

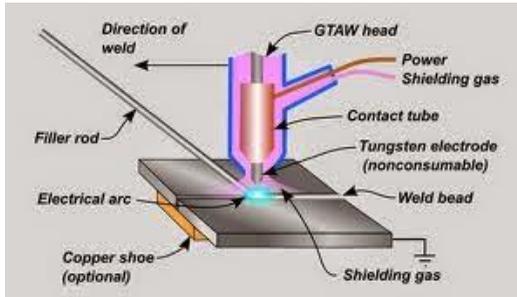
Dari gambar diatas dengan baja yang digunakan AISI 304L, maka cacat las yang terjadi di kisaran temperatur 480 - 680°C. Karena pada temperatur tersebut terjadi sensitsi yang dapat mengakibatkan cacat pada daerah hasil pengelasan.

2.7.5 GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)

Las Argon atau las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) atau sering disebut las busur gas elektroda tungsten. Pengertian Las Argon ini adalah salah satu metode yang termasuk paling penting dalam pekerjaan baja paduan tinggi atau *high alloy* dan logam bukan besi atau *non ferrous* misalnya aluminium, titanium, tembaga, molibdenum dan paduannya.

Dengan stabilitas busur yang tinggi, maka las argon atau GTAW atau Las TIG (Tungsten Inert Gas Welding) adalah terbaik dari pada proses las listrik modern lainnya. Hal tersebut terjadi karena penyebaran panas yang berlebihan pada benda kerja dikurangi dengan penambahan gas pelindung inert yang juga sekaligus gas pendingin. Pengelasan TIG termasuk dalam

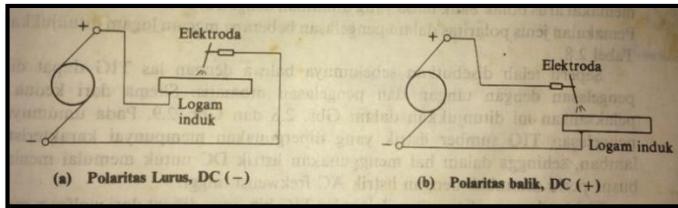
pengelasan elektroda tidak terumpan (non consumable) dimana busur terjadi antara elektroda tungsten dengan material dalam lingkungan inert gas, argon atau helium.



Gambar 2.14 GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).

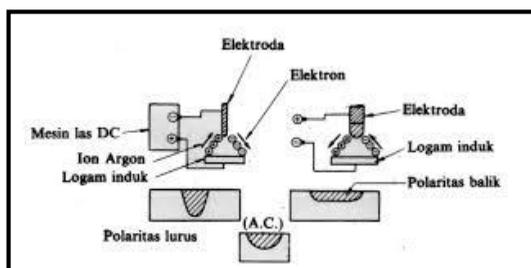
Penggunaan las TIG mempunyai dua keuntungan, yaitu pertama kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur semuanya. Cara pengaturan ini memungkinkan las GTAW dapat digunakan pada pelat baja tipis maupun pelat baja tebal. Kedua adalah kualitas yang lebih baik di daerah las. Akan tetapi jika dibandingkan dengan las MIG, las GTAW memiliki efisiensi yang rendah dan biaya operasinya masih tinggi. Oleh karena itu dapat digunakan untuk pengelasan baja tahan karat (stainless steel), dan hasilnya akan lebih bersih karena tidak menimbulkan percikan logam maupun kerak.

Sumber arus listrik yang digunakan untuk las TIG yaitu ada arus AC dan DC, dimana arus DC rangkaiannya dapat dibagi menjadi dua yaitu polaritas lurus dan polaritas balik. Polaritas lurus disebut juga *Direct Current Straight Polarity* (DCSP) pada kutub positif (+) dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif (-) pada batang elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut polaritas balik atau *Direct Current Revers Polarity* (DCRP).



Gambar 2.15 Diagram Rangkaian Listrik dari Mesin Las Listrik DC.

Dalam DCSP elektron bergerak dari elektroda dan menumbuk logam induk dengan kecepatan tinggi sehingga dapat terjadi penetrasi yang dalam. Karena pada elektroda tidak terjadi tumbukan elektron maka sedara relatif suhu elektroda tidak terlalu tinggi, karena itu dengan polaritas ini dapat digunakan arus yang besar. Sedangkan pada DCRP elektroda menjadi panas sekali, sehingga arus listrik yang dapat dialirkan menjadi rendah. Karena bila arus terlalu besar maka ujung elektroda akan ikut mencair dan mengubah komposisi logam cair yang dihasilkan. Dengan polaritas balik penetrasi kedalam logam induk menjadi lebih dangkal dan lebar. Terjadi proses ionisasi pada gas argon yang menyelubunginya dan terbentuk ion-ion Ar positif, yang menumbuk logam dasar dan dapat melepaskan lapisan oksida yang ada di permukaannya.



Gambar 2.16 Pengaruh Polaritas pada Pengelasan GTAW.

Bila menggunakan listrik AC maka proses yang terjadi akan sama dengan menggunakan arus searah dengan polaritas lurus dan polaritas balik yang digunakan secara bergantian. Karena hal ini perbedaan arus AC dan DC polaritas lurus maupun polaritas balik adalah terletak pada penggunaannya

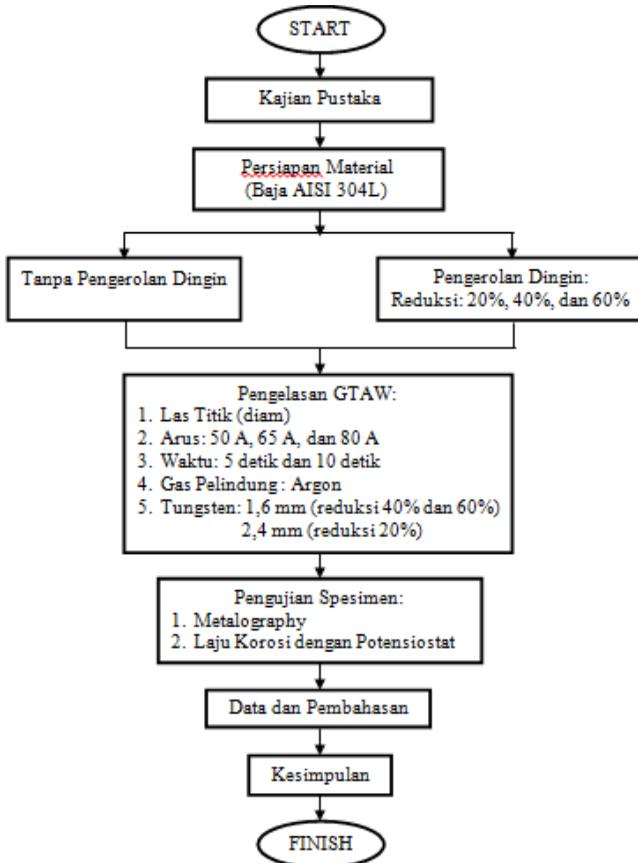
Tabel 2.3 Penggunaan Las TIG untuk Beberapa Logam

Logam	Listrik AC frekwensi tinggi	Listrik DC polaritas lurus	Listrik DC polaritas balik
Baja	terbatas	sesuai	—
Baja tahan karat	terbatas	sesuai	—
Besi cor	terbatas	sesuai	—
Aluminium dan paduannya	sesuai	—	dapat untuk pelat tipis
Magnesium dan paduannya	sesuai	—	dapat untuk pelat tipis
Tembaga dan paduannya	terbatas	sesuai	—
Aluminium brons	sesuai	terbatas	—

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Proses Penelitian

Tahap observasi yang dilaksanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir proses berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

Data yang di dapat pada penelitian terdahulu bertujuan sebagai acuan untuk proses penelitian dengan tujuan yang sama yaitu parameter yang digunakan saat pengelasan dan terhadap derajat presipitasi karbida.

3.2 Spesimen Uji

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah baja tahan karat (*stainless steel*) dengan tipe 304 L. Nantinya benda kerja tersebut akan digunakan sebagai spesimen uji.

3.3 Alat-Alat yang Digunakan

3.4.1 Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk menyediakan spesimen uji adalah gergaji mesin, *cutting wheel*, gerinda tangan, dan gerinda duduk milik Laboratorium Metallurgi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



(a)



(b)

Gambar 3.2 Alat Potong Spesimen (a) Gerinda Tangan dan (b) Gergaji Mesin

3.4.2 Mesin *Grinding* dan *Polishing*

Mesin *grinding* digunakan untuk menghaluskan atau meratakan permukaan spesimen yang nanti akan di celupkan ke larutan korosif dan untuk pengamatan struktur mikro. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan

tingkat grid dari terkecil ke grid yang besar dan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus.

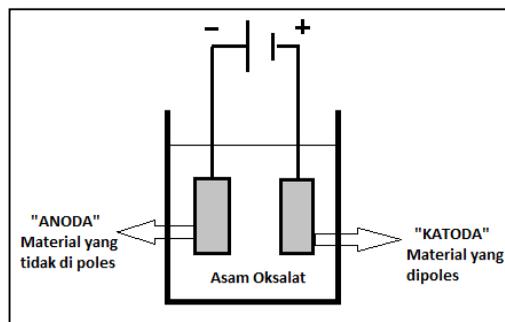
Sedangkan mesin *polishing* menggunakan kain wol yang ditaburi bubuk alumina atau *metal polishing* dan dialiri air sampai permukaan spesimen menjadi halus dan mengkilap.



Gambar 3.3 Mesin *Grinding* dan *Polishing*

3.4.3 Peralatan Uji Etsa (Etching)

Proses etsa dilakukan dengan maksud untuk menkorosikan bagian permukaan spesimen sehingga mendapatkan struktur mikro spesimen. Pada proses etsa ini *etching reagent* yang digunakan adalah “asam oksalit” yang dilarutkan pada Aquades (H_2O) dalam tabung reaksi.



Gambar 3.4 Proses Uji Etsa (*etching*)

3.4.4 Peralatan Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium metalurgi dimana peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mikroskop dengan kamera digital.
- Satu unit computer.

Gambar struktur mikro yang diperoleh dari mikroskop dikirim ke *digital still recorder* melalui kamera. Gambar ini kemudian direkam oleh *digital still recorder* kemudian disimpan oleh komputer dalam bentuk file. Peralatan ini dapat melakukan pengamatan dengan pembesaran 100X sampai dengan 1000X sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.5 Mikroskop Optik

Adapun langkah – langkah untuk melakukan uji metalografi sebagai berikut:

1. Lakukan langkah-langkah 1 – 3 untuk spesimen sebelum proses pengerolan di banding spesimen dengan variasi proses pengerolan masing- masih sudah di las GTAW.
2. *Grinding*, specimen dihaluskan kembali dengan mesin grinding dengan kekasaran dari kertas amplas sebesar 600 - 1500.

3. *Polishing*, specimen uji dipoles dengan *metal polishing* dan kain bludru hingga permukaan material yang dipoles mengkilap tanpa goresan.
4. Spesimen dietsa menggunakan asam oksalat ($H_2C_2O_4$) dan air mineral (Aquadess) 50 ml di aduk hingga homogen. Dengan durasi waktu pengetsaan selama 5 menit.
5. Spesimen diamati struktur mikro dan fasa yang terjadi menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 100X, 500X, dan 1000X.
6. Ulangi langkah 1 – 5 untuk setiap pesimen uji.

3.4.5 Pengerolan Dingin (Cold Rolling)

Pengerolan dingin (*Cold Rolling*) merupakan suatu alat untuk mereduksi ketebalan dari spesimen uji. Spesimen uji disini berupa Stainless Steel 304L yang akan direduksi Pengerolan yang dilakukan dengan proses *cold working* (pengerjaan dingin) dengan reduksi benda kerja 0,1-0,5 mm dilakukan pada setiap presentase reduksi yaitu 20%, 40%, dan 60%. Melakukan pengujian laju korosi kembali untuk mengetahui hasil yang diakibatkan proses variasi pengerolan dan variasi pengelasan. Dimana setelah mereduksi spesimen uji, selanjutnya akan dilakukan proses pengelasan menggunakan GTAW untuk dilakukan pengujian laju korosi.



Gambar 3.6 Mesin Cold Roll

3.4.6 Las GTAW

Proses pengelasan GTAW pada penelitian ini yaitu tanpa menggunakan *filler* (kawat las). Variabel yang digunakan adalah besarnya arus yang dan lamanya waktu dari proses pengelasan. Pengerolan dan pengelasan GTAW dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui laju korosi, dengan harapan setelah dilakukan proses *cold roll* laju korosi pada pada baja AISI 304L yang dilakukan pengelasan bisa menurun. Pengelasan berupa las titik yang dilakukan dengan variasi arus 50, 65, dan 80 Ampere. Serta waktu pengelasan 5 dan 10 detik pada setiap spesimen reduksi pengerolan. Gas pelindung yang digunakan selama pengelasan yaitu gas Argon dan menggunakan arus polaritas lurus (DCSP).



Gambar 3.7 Mesin Las GTAW

Arus pengelasan dapat diatur melalui alat pengaturan yang sudah tersedia pada mesin las, dan lamanya waktu dari pengelasan dihitung menggunakan *stopwatch*.

3.4.7 Peralatan Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan sel tiga elektroda yang dilengkapi dengan perangkat *software* NOVA 1.8. Sel tiga elektroda berupa Elektroda Kerja (Working Electrode), Elektroda Pembantu (Counter Electrode), dan Elektroda Acuan (Reference Electrode). Pengujian menggunakan potensiostat dilakukan untuk mendapatkan data kerapatan arus

(I_{corr}) dan potensial (E_{corr}). Pengujian laju korosi pada penelitian ini dilakukan pada permukaan yang terkena proses.



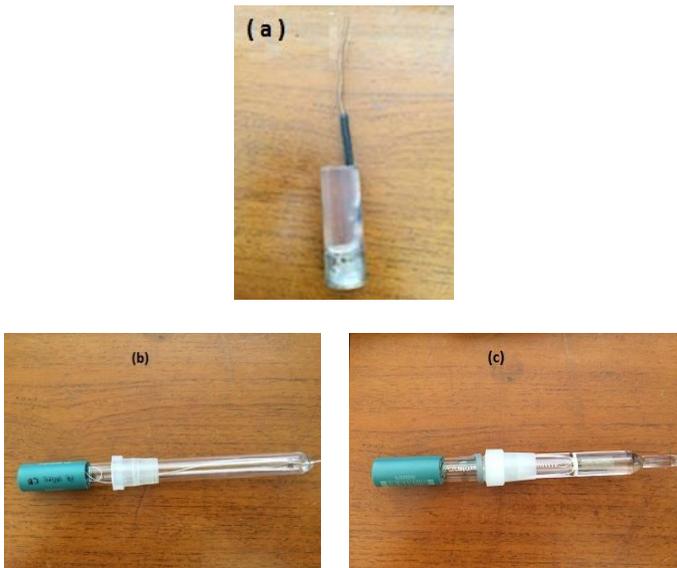
Gambar 3.8 Alat Uji Korosi Potensiostatik

Berikut merupakan langkah-langkah awal proses hingga menggunakan alat uji korosi Potensiostatik:

1. Material yang digunakan dengan dimensi awal yaitu 200mm x 50mm x 5mm. Kemudian dipotong dengan ukuran 10 x 10mm untuk pengujian menggunakan potensiostat.
2. Spesimen yang akan diuji disambung kawat tembaga, kemudian di *mounting* dengan menggunakan resin supaya pada saat pengujian hanya permukaan material yang bereaksi.
3. Menghaluskan permukaan spesimen uji dengan kertas gosok dengan tingkat kekasaran 600, 800, 1000 dan 1500. Hal ini berlaku untuk semua spesimen yang akan diuji karena perlakuan yang dilakukan haruslah sama.
4. Membuka aplikasi Nova 1.8.
5. Memasang rangkaian pegujian yaitu material uji sebagai elektoda kerja (working elektrode), elektroda pembantu (counter elektrode), dan elektroda acuan (refrence elektrode) pada tempat yang ditentukan dan

dicelupkan pada gelas ukur yang telah di isi larutan NaCl.

6. Membuat prosedur baru pada program autolab yaitu *linear polarization*.
7. Jalankan aplikasi hingga proses selesai, kemudian lihat view analysis dan memasukkan parameter yang akan digunakan yaitu massa jenis material, *equivalent weight*, dan luasan area yang akan diuji.
8. Memperkirakan nilai dari b_a (anodic) dan b_c (catodic) sebagai syarat untuk mendapatkan nilai E_{corr} Calc. dan E_{corr} Obs. dengan selisih min 0,1. Hal tersebut berpengaruh pada keakuratan nilai i_{corr} dan *corrosion rate* (mm/year) yang di dapat.



Gambar 3.9 (a) Benda Uji Korosi sebagai Elektroda Kerja (Working Electrode) (b) Elektroda Pembantu (Counter Electrode), (c) Elektroda Acuan.



Gambar 3.10 Pemasangan rangkaian pengujian ; WE (merah), RE (biru), dan CE (hitam).

3.5 Rancangan Eksperimen

Agar mempermudah memahami variabel proses yang divariasikan, pada penelitian ini dibuat Tabel 3.2 Rancangan Eksperimen Pengujian Laju Korosi dengan Pengerolan dan Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen Pengujian Laju Korosi dengan Pengerolan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rancangan Eksperimen Pengujian Laju Korosi dengan Pengerolan.

Samp le	Variabel Proses			Variabel Respon
	Reduksi Pengrollan	Waktu las diam (s)	Arus Las (A)	Laju Korosi (mm/year)
1	20%	5	50	
2			65	
3			80	
4		10	50	
5			65	

6			80	
1	40%	5	50	
2			65	
3			80	
4		10	50	
5			65	
6			80	
1	60%	5	50	
2			65	
3			80	
4		10	50	
5			65	
6			80	

Tabel 3.2 Rancangan Eksperimen Pengujian Laju Korosi Tanpa Pengerolan

Samp le	Variabel Proses			Variabel Respon
	Reduksi Pengrollan	Waktu las diam (s)	Arus Las (A)	Laju Korosi (mm/year)
1	Tanpa Pengerolan	5	50	
2			65	
3			80	
4		10	50	
5			65	
6			80	

BAB 4 DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

Material uji yang digunakan adalah baja AISI 304L dengan dilakukan proses pengerolan dingin (cold rolling) dan pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Setelah proses tersebut spesimen akan di lakukan uji korosi menggunakan potensiostat. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi reduksi pengerolan (20%, 40%, dan 60%) dan variasi pengelasan (arus las dan waktu las) terhadap respon laju korosi.

4.1 Komposisi Kimia Material

Sebelum melakukan penelitian, material yang akan digunakan dilakukan pengujian komposisi kimia. Mesin uji yang digunakan untuk pengujian komposisi kimia adalah mesin uji spektrometer. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Kimia Material

Baja	Komposisi Kimia (%)						
	C	Si	Mn	Ni	S	Cr	Fe
304 L	0,043-0,0395	0,435 - 0,429	1,68 - 1,91	8,53-8,81	0,0048 - 0,0055	18,6-18,8	70,0-69,2
<i>Average</i>	0,0413	0,432	1,81	8,67	0,0052	18,7	69,6

Pada tabel 4.1 berikut merupakan hasil pengujian komposisi kimia material AISI 304L. Dengan hasil komposisi kimia masih berupa kisaran (range) maka bisa di ambil rata-rata, sehingga hasil dapat digunakan sebagai acuan penelitian.

4.2 Pengerolan Dingin (Cold Rolling)

Tabel 4.2 Hasil Pengerolan Dingin

No.	Reduksi Pengerolan	Gambar	Keterangan
1.	20%		<ul style="list-style-type: none"> • Tebal material awal = 50 mm • Tebal setelah di reduksi = 42mm.
2.	40%		<ul style="list-style-type: none"> • Tebal material awal = 50 mm • Tebal setelah di reduksi = 32,5mm.
3.	60%		<ul style="list-style-type: none"> • Tebal material awal = 50 mm • Tebal setelah di reduksi = 24,5mm.

4.2.1 Analisa Pembahasan

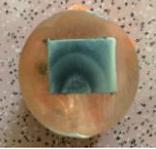
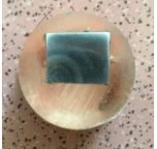
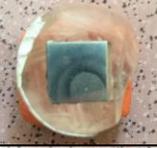
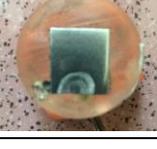
Hasil material yang telah di cold rolling dengan reduksi 20%, 40% dan 60%, memiliki ketebalan yang berbeda. Dari 3 proses reduksi yang dilakukan, material reduksi 20% mengalami kegagalan saat proses reduksi ketebalan sehingga bentuk material menjadi melengkung. Selain ketebalan yang berkurang, material juga semakin bertambah panjang.

4.3 Pengamatan Secara Makro

Tabel 4.3 Contoh Hasil Pengelasan GTAW

No.	Arus las/waktu las	Gambar Spesimen	No.	Arus las/waktu las	Gambar Spesimen
1.	80/10		4.	65/5	
2.	80/5		5.	50/10	
3.	65/10		6.	50/5	

Tabel 4.4 Pengamatan Secara Makro

No.	Arus las/waktu las Pengerolan	Gambar Spesimen	No.	Arus las/waktu las Pengerolan	Gambar Spesimen
1.	80/10 Reduksi 60%		4.	50/10 Reduksi 60%	
2.	80/5 Reduksi 60%		5.	50/5 Reduksi 60%	
3.	80/10 Tanpa roll		6.	50/10 Tanpa roll	

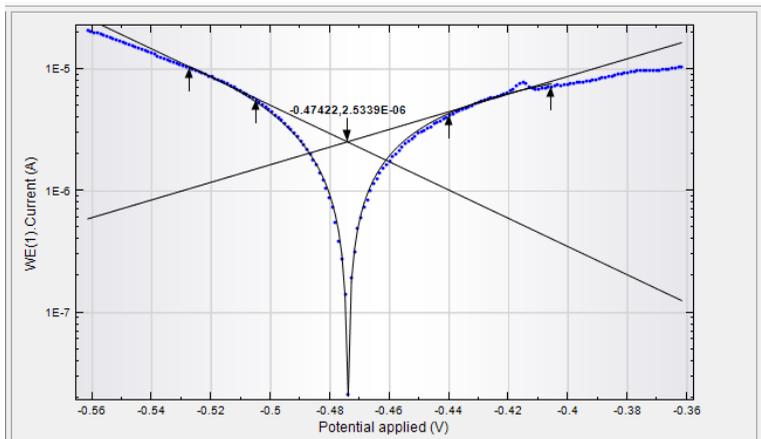
4.3.1 Analisa Pembahasan

Pada proses 80/10 reduksi 60% diketahui terbentuk HAZ yang lebih besar di banding 50/10 reduksi 60%. Hal ini juga tampak pada proses 80/5 reduksi 60% di banding 50/5 60% dan juga spesimen tanpa rol. Terbentuknya besar kecilnya korona diakibatkan dari heat input pengelasan yang diberikan. Jika heat input pengelasan semakin besar maka hasil HAZ yang dihasilkan juga akan semakin besar.

4.4 Pengujian Laju Korosi

Proses pengujian laju korosi yaitu menggunakan potensiostat tiga elektroda. Parameter yang digunakan yaitu massa jenis (density) spesimen sebesar $7,9 \text{ g/cm}^3$, *Equivalent Weight* spesimen sebesar $25,974 \text{ g/mol}$, dan luasan area (surface area) spesimen sebesar 1 cm^2 . Berikut adalah contoh kurva hasil

pengujian laju korosi Baja AISI 304L dengan arus pengelasan dan pengerolan reduksi 60%, 40%, dan 20% untuk arus pengelasan 65 Amper waktu pengelasan 10 detik :

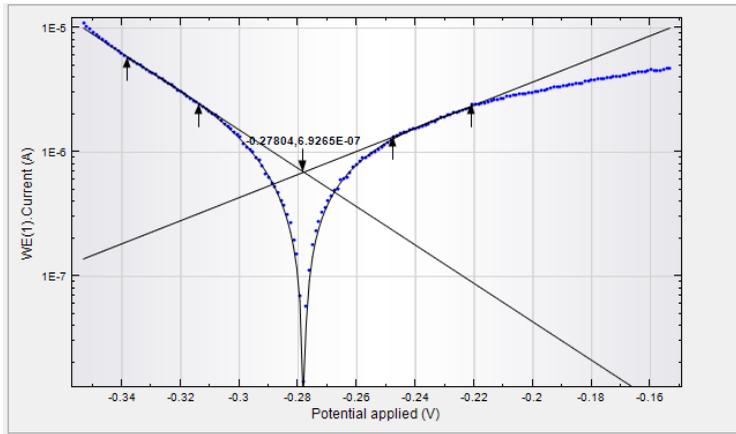


Gambar 4.1 Kurva Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja AISI 304L dengan Arus Pengelasan 65 Amper, Reduksi Pengerolan 60%, dan Waktu Pengelasan 10 detik.

Pada gambar 4.1 menunjukkan kurva polarisasi pengujian laju korosi baja AISI 304L dengan arus pengelasan 65 Amper, reduksi pengerolan 60%, dan waktu pengelasan 10 detik. Terbentuknya kurva tersebut karena selama proses pengujian terjadi proses reaksi Redoks (Reduksi-Oksidasi). Kurva anodik terjadi saat elektroda kerja (working electrode) dialiri oleh arus listrik dengan unsur logam yang tadinya netral kemudian melepaskan elektron-elektron untuk membentuk ion-ion. Sebaliknya pada kurva katodik reaksi yang terjadi adalah penangkapan elektron-elektron yang dilepaskan oleh reaksi anoda. Kurva polarisasi yang terbentuk harus di ekstrapolasi garis lurus agar dapat hasil pengujian dapat dibaca. Pada kurva polarisasi didapat nilai laju korosi ditentukan pada perpotongan

E_{cor} vs $\log I_{cor}$. Garis perpotongan antara $\log I_{cor}$ vs E_{cor} berada pada titik $(-0.47422, 2.5339E-06)$. Hasil pengujian menunjukkan laju korosi sebesar 0.1122 mm/year.

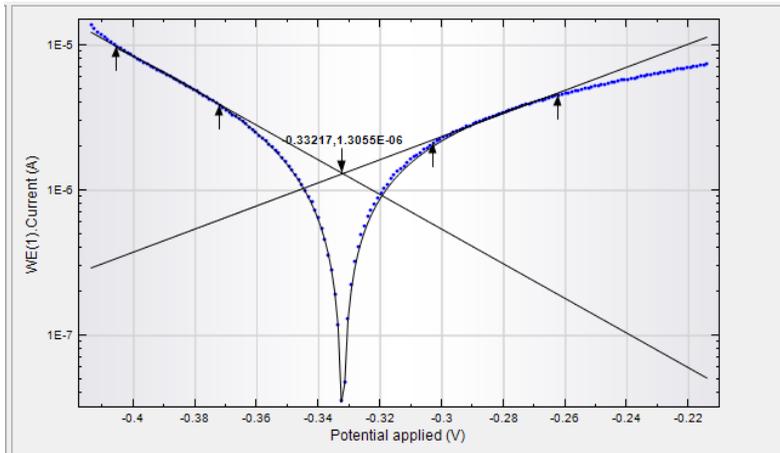
Untuk gambar 4.2 merupakan kurva polarisasi pengujian laju korosi baja AISI 304L dengan arus pengelasan 65 Amper, reduksi pengerolan 40%, dan waktu pengelasan 10 detik. Kurva polarisasi yang terbentuk harus di ekstrapolasi garis lurus agar dapat hasil pengujian dapat dibaca. Pada kurva polarisasi didapat nilai laju korosi ditentukan pada perpotongan E_{cor} vs $\log I_{cor}$. Garis perpotongan antara $\log I_{cor}$ vs E_{cor} berada pada titik $(-0.27804, 6.9265E-07)$. Hasil pengujian menunjukkan laju korosi sebesar 0.012734 mm/year.



Gambar 4.2 Kurva Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja AISI 304L dengan Arus Pengelasan 65 Amper, Reduksi Pengerolan 40%, dan Waktu Pengelasan 10 detik.

Gambar 4.3 merupakan kurva polarisasi pengujian laju korosi baja AISI 304L dengan arus pengelasan 65 Amper, reduksi pengerolan 20%, dan waktu pengelasan 10 detik. Pada kurva polarisasi didapat nilai laju korosi ditentukan pada perpotongan E_{cor} vs $\log I_{cor}$. Garis perpotongan antara $\log I_{cor}$ vs E_{cor} berada

pada titik $(-0.33227, 2.3055E-06)$. Hasil pengujian menunjukkan laju korosi sebesar 0.02685 mm/year .



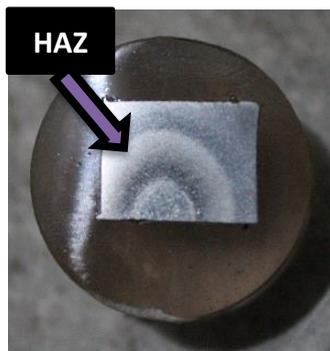
Gambar 4.3 Kurva Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja AISI 304L dengan Arus Pengelasan 65 Amper, Reduksi Pengerolan 60%, dan Waktu Pengelasan 10 detik.

Dari gambar 4.1, gambar 4.2, dan gambar 4.3 terdapat perbedaan hasil laju korosi. Dengan masing- masing waktu pengelasan 10 detik laju korosi material pengerolan reduksi 60% sebesar 0.1122 mm/year , 40% sebesar 0.012734 mm/year , dan 20% sebesar 0.02685 mm/year .

4.4.1 Pengujian I_{corr} pada HAZ

Untuk mengetahui hasil laju korosi yang akurat dari pengujian, maka pada spesimen uji perlu diketahui pada bagian mana yang akan di gunakan untuk pengujian. Gambar 4.8 merupakan contoh spesimen uji yang digunakan untuk mengetahui laju korosi menggunakan potensiostat. Dapat dilihat pada gambar terdapat bagian weld metal, HAZ, dan logam induk. Letak dari cacat las (weld decay) berupa korosi batas butir yaitu

berada di HAZ, oleh karena itu di lakukan pengujian di daerah tersebut.



Gambar 4.4 Spesimen Uji Korosi

Tabel 4.5 Hasil Pengujian I_{corr} Total untuk Pengerolan

Sampel	Reduksi Pengerolan	Arus Las (A)/Waktu Las (s)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1.	20%	50/5	3.2418
2.		65/5	1.411
3.		80/5	3.543
4.		50/10	0.9827
5.		65/10	2.487
6.		80/10	3.6869
1.	40%	50/5	1.9154
2.		65/5	1.176
3.		80/5	0.8339
4.		50/10	1.2026
5.		65/10	1.1842
6.		80/10	2.1762
1.		50/5	0.9807

2.	60%	65/5	2.7425
3.		80/5	1.2376
4.		50/10	6.0119
5.		65/10	10.436
6.		80/10	25.817

Tabel 4.6 Hasil Pengujian I_{corr} Total untuk Tanpa Pengerolan

Sampel	Reduksi Pengerolan	Arus Las (A)/Waktu Las (s)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1.	Tanpa Reduksi	50/5	7.913
2.		65/5	1.874
3.		80/5	1.346
4.		50/10	5.472
5.		65/10	2.348
6.		80/10	2.258

Tabel 4.5 merupakan hasil I_{corr} total untuk pengerolan dan tabel 4.6 hasil I_{corr} total untuk tanpa pengerolan. Bagian yang diambil data yaitu pada HAZ (Heat Affected Zone). Dengan mengetahui pada spesimen terdapat bagian lain selain HAZ, maka perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui hasil I_{corr} *weld metal* dan I_{corr} logam induk. Agar mendapatkan hasil laju korosi yang tepat. Berikut merupakan hasil dari pengukuran I_{corr} *weld metal* dan I_{corr} logam induk ditunjukkan pada tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian I_{corr} pada *Weld Metal*

Sampel	Arus Las (A)/Waktu Las (s)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1.	50/5	5.467
2.	65/5	1.636
3.	80/5	17.896

4.	50/10	9.837
5.	65/10	1.167
6.	80/10	1.855

Tabel 4.8 Hasil Pengujian I_{corr} pada Logam Induk

Sample	Logam Induk	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1.	20%	6.735
2.	40%	0.175
3.	60%	0.424
4.	Tanpa reduksi	0.779

Dengan hasil I_{corr} pada tabel 4.7 untuk weld metal dan tabel 4.8 untuk logam induk, maka cara perhitungan untuk mendapatkan I_{corr} HAZ sebagai berikut:

$$I_{\text{corr}} \text{ HAZ} = I_{\text{corr}} \text{ Total} - I_{\text{corr}} \text{ Logam Induk} - I_{\text{corr}} \text{ Weld Metal} \dots \dots \dots (4.1)$$

Setelah dihitung menggunakan persamaan 4.1 maka hasil perhitungan I_{corr} dapat dilihat pada tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan I_{corr} HAZ dengan Reduksi Pengerolan

Sample	Reduksi Pengrollan	Waktu las (s)	Arus las (A)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1.	20%	5	50	8.7688
2.			65	6.679
3.			80	20.8963
4.		10	50	15.3976

5.			65	5.2137
6.			80	4.711
1.	40%	5	50	3.7159
2.			65	0.6236
3.			80	17.1716
4.		10	50	8.7984
5.			65	0.1472
6.			80	0.1567
1.	60%	5	50	4.8766
2.			65	0.7419
3.			80	17.0504
4.		10	50	4.2091
5.			65	8.8766
6.			80	23.5704

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan I_{corr} HAZ Tanpa Pengerolan

Sample	Reduksi Pengrollan	Waktu las (s)	Arus las (A)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1.	Tanpa Pengerolan	5	50	2.445
2.			65	0.2387
3.			80	16.55
4.		10	50	4.365
5.			65	1.1806
6.			80	0.4034

4.4.2 Perhitungan Laju Korosi HAZ

Setelah didapatkan Icorr pada HAZ selanjutnya dengan menggunakan persamaan 4.2, bisa didapatkan hasil perhitungan untuk mengetahui seberapa cepat laju korosi baja AISI 304L setelah pengelasan GTAW.

$$CR = \frac{0.00327 I EW}{D} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana: CR = Laju korosi (mm/year)

I = Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

EW = Berat *equivalent* (gram/mol)

D = Densitas material (gram/cm^3)

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Laju Korosi dengan Reduksi Pengerolan

Sample	Variabel proses			Variabel Respon
	Reduksi Pengrollan	Waktu las (s)	Arus las (A)	Laju Korosi (mm/year)
1	20%	5	50	0.094
2			65	0.073
3			80	0.225
4		10	50	0.063
5			65	0.056
6			80	0.166
1	40%	5	50	0.040
2			65	0.0072
3			80	0.185

4		10	50	0.023
5			65	0.0024
6			80	0.095
1	60%	5	50	0.052
2			65	0.086
3			80	0.0432
4		10	50	0.125
5			65	0.095
6			80	0.253

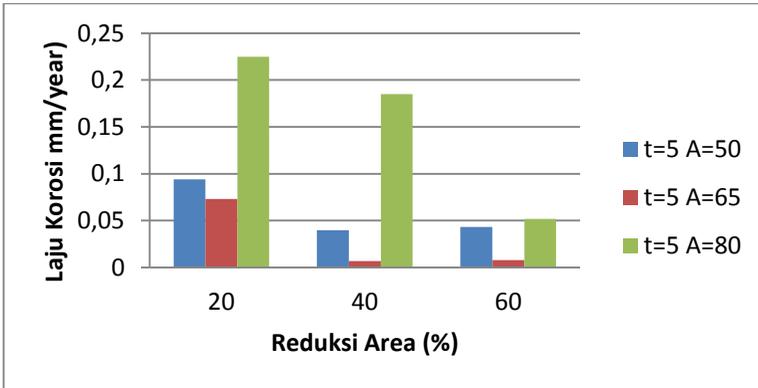
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Laju Korosi Tanpa Pengerolan

Sample	Variabel proses			Variabel Respon
	Reduksi Pengrollan	Waktu las (s)	Arus las (A)	Laju Korosi (mm/year)
1	Tanpa Pengerolan	5	50	0.026
2			65	0.0038
3			80	0.178
4		10	50	0.0044
5			65	0.013
6			80	0.047

Dari data tabel diatas dibuat grafik laju korosi terhadap arus las untuk material yang telah melalui proses pengerolan reduksi 20%, 40%, 60% untuk waktu 5,10 detik dan grafik laju korosi terhadap arus las untuk material yang telah melalui proses pengerolan reduksi 20%, 40%, 60% terhadap tanpa pengerolan masing- masing untuk waktu 5,10 detik.

4.5 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Tiap Reduksi Pengerolan Material

4.5.1 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Material Pengerolan dengan Reduksi 20%, 40%, dan 60% dengan Waktu Pengelasan 5 Detik



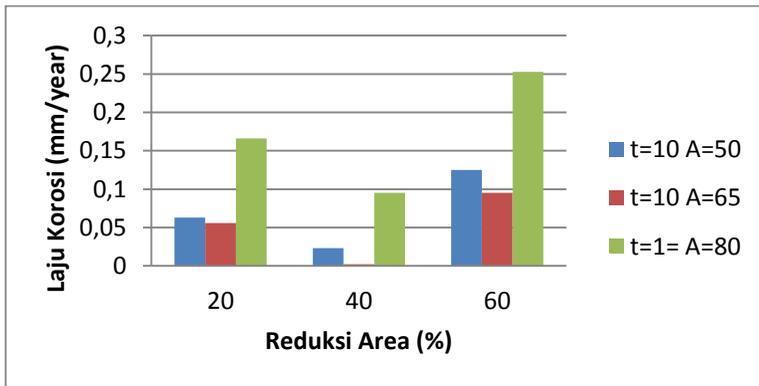
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Laju Korosi pada Material Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 5 Detik.

Gambar 4.5 menunjukkan grafik pengaruh laju korosi pada material pengerolan dengan waktu pengelasan 5 detik. Hasil pengujian menggunakan potensiostat didapatkan data tiap reduksi pengerolan dengan arus 80 Amper terus mengalami penurunan. Untuk material dengan pengelasan 65 Amper mempunyai nilai laju korosi paling rendah dibandingkan dengan arus 50 dan 80 Amper untuk setiap reduksi material pengerolan. Dapat dilihat hasil pengelasan dengan arus 80 Amper mengalami kenaikan laju korosi, hal tersebut berpengaruh dari *heat input* yang diberikan semakin besar sehingga terbentuk HAZ yang lebih lebar dan terjadi *weld decay* di sekitar daerah tersebut.

Laju korosi paling tinggi didapatkan dari material pengerolan reduksi 60% dengan arus pengelasan 80 Amper

sebesar 0,225 mm/year. Sedangkan laju korosi paling rendah didapatkan dari material pengerolan 40% dengan arus 65 Amper sebesar 0,0072 mm/year.

4.5.2 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Material Pengerolan dengan Reduksi 20%, 40%, dan 60% dengan Waktu Pengelasan 10 Detik



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Laju Korosi pada Material Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 10 Detik.

Dari gambar 4.6 menunjukkan grafik pengaruh laju korosi pada material pengerolan dengan waktu pengelasan 10 detik. Untuk material dengan pengelasan 65 Amper mempunyai nilai laju korosi paling rendah dibandingkan dengan arus 50 dan 80 Amper untuk setiap reduksi material pengerolan. Seperti pada hasil dengan pengelasan 5 detik, dapat dilihat hasil pengelasan dengan arus 80 Amper mengalami kenaikan laju korosi, hal tersebut berpengaruh dari *heat input* yang diberikan semakin besar sehingga terbentuk HAZ yang lebih lebar dan terjadi *weld decay* di sekitar daerah tersebut.

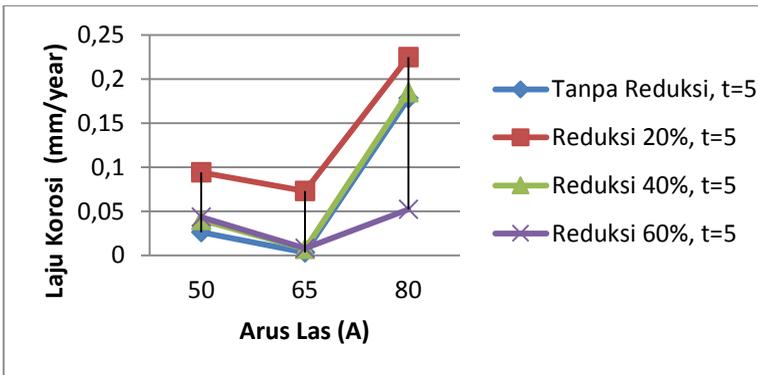
Laju korosi paling tinggi didapatkan dari material reduksi 60% dengan arus pengelasan 80 Amper sebesar 0,253 mm/year.

Sedangkan laju korosi paling rendah didapatkan dari spesimen reduksi 40% dengan arus 65 Amper sebesar 0,0024 mm/year.

4.6 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Arus Las pada Tiap Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan

4.6.1 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Arus Las Tiap Reduksi Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 5 Detik

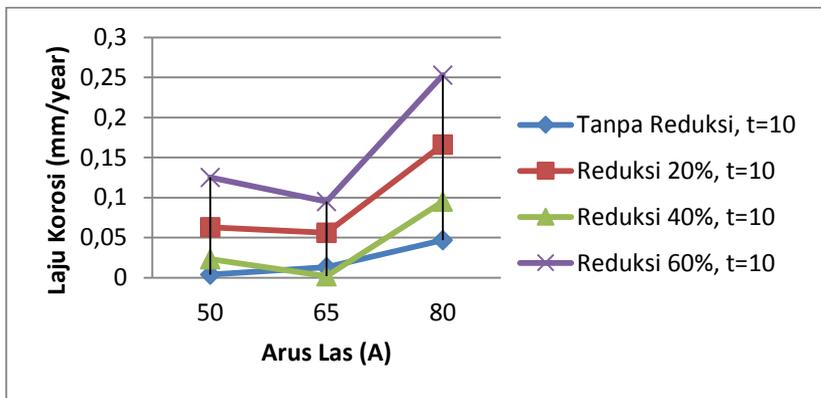
Gambar 4.7 menunjukkan grafik pengaruh laju korosi pada material pengerolan dan tanpa pengerolan dengan waktu pengelasan 5 detik. Hasil pengujian menggunakan potensiostat didapatkan data pada material tanpa melalui proses pengerolan dan melalui proses pengerolan sama-sama memiliki trendline saat material di las dengan arus 65 Amper maka akan mempunyai nilai laju korosi paling rendah dibanding dengan arus 50 Amper dan 80 Amper untuk masing-masing reduksi pengerolan material. Sehingga dapat ditarik kesimpulan awal bahwa jika ingin mendapatkan laju korosi yang rendah maka menggunakan arus pengelasan arus 65 Amper .



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Laju Korosi Terhadap Arus las Tiap Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 5 Detik.

Laju korosi paling tinggi didapatkan dari spesimen pengerolan dengan reduksi pengerolan 20% untuk arus pengelasan 80 Amper sebesar 0.225 mm/year. Sedangkan laju korosi paling rendah didapatkan dari material tanpa pengerolan dengan arus 65 Amper sebesar 0,0038 mm/year.

4.6.2 Pengaruh Laju Korosi Terhadap Arus Las Tiap Reduksi Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 10 Detik



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Laju Korosi Terhadap Arus las Tiap Material Pengerolan dan Tanpa Pengerolan dengan Waktu Pengelasan 10 Detik.

Dari gambar 4.8 menunjukkan grafik pengaruh laju korosi pada material pengerolan dan tanpa pengerolan dengan waktu pengelasan 10 detik. Tetapi hasil pengujian menggunakan potensiostat didapatkan data pada material tanpa melalui proses pengerolan memiliki nilai laju korosi yang terus menurun seiring dengan bertambahnya arus pengelasan. Hal ini dimungkinkan karena posisi jarak pengelasan berubah. Sehingga dapat

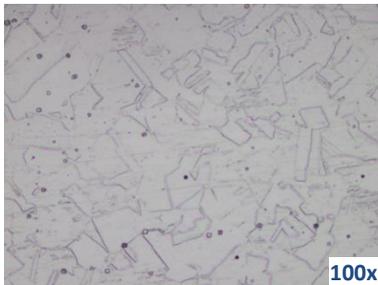
mempengaruhi daerah hasil pengelasan dan laju korosi pada material tersebut.

Laju korosi paling tinggi didapatkan dari material reduksi 60% dengan arus pengelasan 80 Amper sebesar 0,253 mm/year. Sedangkan laju korosi paling rendah didapatkan dari spesimen reduksi 40% dengan arus 65 Amper sebesar 0,0024 mm/year. Sampel dengan laju korosi paling rendah berarti memiliki ketahanan terhadap korosi paling tinggi.

4.7 Pembahasan Struktur Mikro

4.8.1 Struktur Mikro Pemandangan

Pengamatan struktur mikro digunakan untuk membandingkan hasil material pengerolan dan tanpa pengerolan. Letak pengamatan untuk struktur mikro yaitu terletak pada HAZ (Heat Affected Zone). Pengamatan pada HAZ terdapat penebalan karbida krom pada daerah batas butir (grain boundary) dikarenakan memiliki energi paling tinggi, sehingga krom menjadi terdifusi akibatnya kerentanan korosi suatu material akan semakin menurun dan dapat menyebabkan korosi pada batas butir (intergranular corrosion). Berikut hasil pengamatan struktur mikro :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.9 Struktur Mikro untuk Material Tanpa Pengerolan

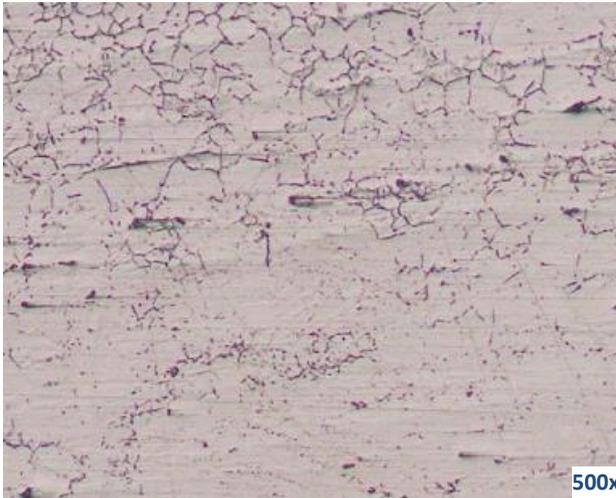
(a) Sebelum Pengelasan, ; (b) Pengelasan dengan Arus 50 Amper untuk Waktu 5 detik ;

(c) Pengelasan dengan Arus 80 Amper untuk Waktu 5 detik.

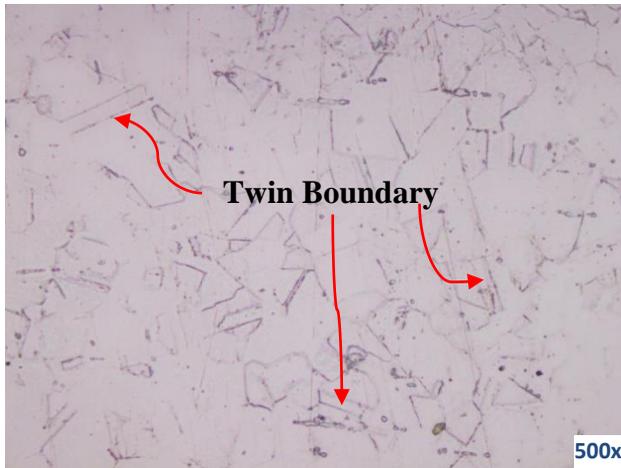
Pada gambar 4.9 (a) terlihat struktur mikro awal baja sebelum di roll, banyak sekali penebalan batas butir oleh karbida krom. Tetapi pada gambar 4.9 (b) dan (c) penebalan batas butir akibat karbida krom berkurang dibanding struktur mikro awal, hal ini dikarenakan dari proses pengelasan. Akan tetapi apabila *heat input* yang diberikan semakin besar maka terjadi pendinginan lambat mengakibatkan penebalan karbida krom semakin bertambah, sehingga semakin banyak terbentuk korosi pada batas butir. Gambar 4.9 (b) dan 4.9 (c) sama-sama menunjukkan terjadinya pengurangan penebalan karbida krom pada batas butir, tetapi pada gambar 4.9 (c) menunjukkan penebalan karbida krom lebih banyak dari pada gambar 4.9 (b) yang diakibatkan *heat input* pengelasan semakin tinggi.

Pada gambar 4.10 dapat dilihat setelah melalui proses pengerolan dan pengelasan butiran di sekitar HAZ yang berbentuk pipih (*elongated grain*) sudah tidak tampak. Dengan kombinasi dari proses pengerolan dan pengelasan, maka terbentuk *equiaxial* dengan butiran yang lebih besar dari material sebelum melalui proses apapun. Pada gambar 4.11 dapat dilihat terbentuk *twin-boundary*. *Twin-boundary* merupakan suatu bagian kristal yang berubah orientasi membentuk kembaran

simetris terhadap kisi semula. Bagian kristal *twinning* merupakan bayangan terbalik dari kristal induk akibat tegangan geser yang bekerja. Kristal daerah sebelah kanan tidak terbentuk. Sebelah kiri bidang ini, bidang atom mengalami geseran sedemikian rupa, sehingga membuat kisi bayangan sepanjang bidang *twinning*. Dalam kisi sederhana seperti ini, tiap atom dalam daerah *twinning* bergerak karena geseran homogeny sepanjang jarak yang sepadan dengan jaraknya dari bidang *twinning* [Dieter,1993]. *Twin-boundary* dapat mempengaruhi ketahanan korosi batas butir dikarenakan mempunyai energi batas (twin) yang sangat rendah, sehingga menahan keterikatan antara presipitasi karbida terhadap *twin-boundary* [Shimada, 2002].



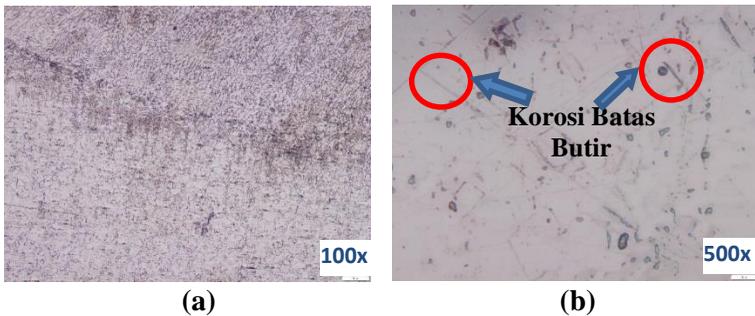
Gambar 4.10 Struktur Mikro Material Setelah Pengerolan Dingin dan Pengelasan.



Gambar 4.11 Terbentuk Twin Boundary.

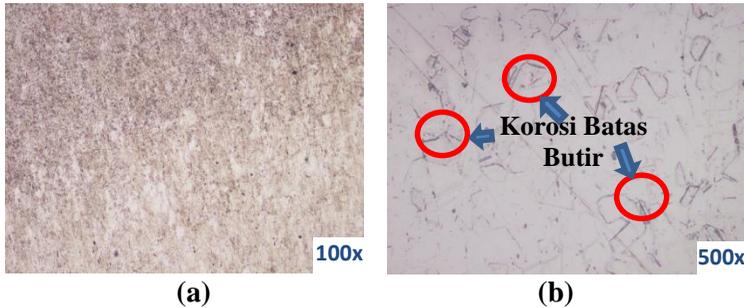
4.8.2 Struktur Mikro Data

Pada contoh hasil data untuk material reduksi tanpa pengerolan dengan waktu pengelasan 10 detik, di dapatkan hasil trendline yang berbeda dibandingkan dengan yang lain. Pembahasan struktur mikro sebagai berikut :



Gambar 4.12 Struktur Mikro untuk Material Tanpa Pengerolan dengan Arus 80 Amper Waktu 10 detik
 (a) Daerah fusion line dengan Logam Induk; (b) HAZ.

Gambar 4.12 (a) dan (b) merupakan struktur mikro pada sampel tanpa pengerolan dengan arus 80 Amper waktu 10 detik. Dapat dilihat struktur mikro pada gambar 4.12 (a) terdapat daerah fusion line sebagai batas dengan logam induk. Sedangkan gambar 4.12 (b) karbida krom yang menebal pada daerah batas butir di sekitar HAZ tidak terlalu terlihat jelas.



Gambar 4.13 Struktur Mikro untuk Material Tanpa Pengerolan dengan Arus 50 Amper waktu 10 detik
(a) Daerah fusion line dengan Logam Induk; (b) HAZ.

Sedangkan pada gambar 4.13 (a) dan (b) merupakan struktur mikro pada sampel tanpa pengerolan dengan arus 50 Amper waktu 10 detik. Dapat dilihat dengan jelas perbedaan gambar 4.13 (b) terdapat penebalan kabida krom pada batas butir lebih banyak di banding dengan gambar 4.12 (b). Sehingga dengan struktur mikro dapat dibandingkan hasil laju korosi ini telah sesuai dengan hasil laju korosi dari pengujian menunjukkan sampel tanpa pengerolan dengan arus 50 Amper waktu 10 detik mempunyai nilai laju korosi lebih tinggi dari pada sampel tanpa pengerolan dengan arus 80 Amper waktu 10 detik.

4.8 Hasil Pengujian Statistik

Pengujian statistik digunakan untuk mengetahui pengaruh reduksi pengerolan dingin (%), waktu pengelasan (detik), dan besar arus pengelasan (Amper) serta interksi ketiganya terhadap

laju korosi (mm/year) pada baja AISI 304L (austenitic stainless steel). Berdasarkan anova faktorial dengan menggunakan *software statistic* yaitu SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) maka didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.13 *Between-Subjects Factors*

		N
%	0	18
	20	18
	40	18
	60	18
A	50	24
	65	24
	80	24
s	5	36
	10	36

Tabel 4.14 *Test of Between-Subjects Effect*

Dependent Variable: mm/year

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	,839 ^a	24	,035	12835,749	,000
reduksi	,063	3	,021	7765,554	,000
arus	,172	2	,086	31599,272	,000
waktu	,001	1	,001	204,490	,000
reduksi * arus	,011	6	,002	652,194	,000
reduksi * waktu	,063	3	,021	7774,666	,000
arus * waktu	,002	2	,001	359,059	,000
reduksi * arus * waktu	,050	6	,008	3063,382	,000
Error	,000	48	2,722E-6		
Total	,839	72			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

Dari hasil pengujian statistik diatas, didapatkan pembahasan sebagai berikut:

- **Hipotesis Pengaruh Perubahan Arus Las**
 Ho : Tidak ada pengaruh perubahan arus
 H1: Minimal ada sepasang arus berpengaruh
 Karena $p = 0,000 < \alpha = 0,05$ Ho ditolak
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang arus yang berpengaruh
- **Hipotesis Pengaruh Perubahan Waktu**
 Ho : Tidak ada pengaruh perubahan Waktu
 H1: Minimal ada sepasang Waktu yang berpengaruh
 Karena $p = 0,000 < \alpha = 0,05$ Ho ditolak
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang Waktu yang berpengaruh
- **Hipotesis Pengaruh Perubahan Reduksi**
 Ho : Tidak ada pengaruh perubahan reduksi
 H1: Minimal ada sepasang reduksi yang berpengaruh
 Karena $p = 0,000 < \alpha = 0,05$ Ho ditolak
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang Waktu yang berpengaruh
- **Hipotesis Interaksi antara Arus*Reduksi**
 Ho : Tidak ada pengaruh Interaksi antara arus*reduksi
 H1: Minimal ada sepasang Interaksi antara arus*reduksi yang berpengaruh
 Karena $p = 0,000 > \alpha = 0,05$ H₁ diterima
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang pengaruh interaksi antara arus*reduksi
- **Hipotesis Interaksi antara Arus*Waktu**
 Ho : Tidak ada pengaruh Interaksi antara arus*waktu
 H1: Minimal ada sepasang Interaksi antara arus*waktu yang berpengaruh
 Karena $p = 0,000 > \alpha = 0,05$ H₁ diterima
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang pengaruh interaksi antara arus*waktu

- Hipotesis Interaksi antara Reduksi*Waktu**
 Ho : Tidak ada pengaruh Interaksi antara reduksi*waktu
 H1: Minimal ada sepasang Interaksi antara reduksi*waktu yang berpengaruh
 Karena $p = 0,000 > \alpha = 0,05$ H₁ diterima
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang pengaruh interaksi antara reduksi*waktu
- Hipotesis Interaksi antara Arus*Reduksi*Waktu**
 Ho : Tidak ada pengaruh Interaksi antara arus*reduksi*waktu
 H1: Minimal ada sepasang Interaksi antara arus*reduksi*waktu yang berpengaruh
 Karena $p = 0,000 > \alpha = 0,05$ H₁ diterima
 Kesimpulan : Minimal ada sepasang pengaruh interaksi antara arus*reduksi*waktu

Untuk mencari pasangan dari arus dan reduksi yang berpengaruh dilanjutkan dengan uji perbandingan ganda dengan Duncan.

Tabel 4.15 Hasil Tes Terhadap Pengaruh Arus Pengelasan

Duncan^{a,b}

A	N	Subset		
		1	2	3
65	24	,0421		
50	24		,0517	
80	24			,1503
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2,722E-6.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24,000.

b. Alpha = ,05.

Dari tabel 4.15 dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Besar arus berpengaruh terhadap laju korosi, terdapat 3 kelompok data laju korosi.
2. Kelompok data arus 65A menghasilkan laju korosi terendah.
3. Kelompok data arus 80A menghasilkan laju korosi tertinggi.

Tabel 4.16 Hasil Tes Terhadap Pengaruh Reduksi Pengerolan

Duncan^{a,b}

%	N	Subset			
		1	2	3	4
0	18	,0454			
40	18		,0588		
60	18			,1092	
20	18				,1121
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2,722E-6.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

b. Alpha = ,05.

Dari tabel 4.16 dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Besar reduksi berpengaruh terhadap laju korosi, terdapat 4 kelompok data laju korosi.
2. Kelompok data dengan reduksi 20% menghasilkan laju korosi paling tinggi.
3. Kelompok data dengan reduksi 60% menghasilkan laju korosi tertinggi ke dua.
4. Kelompok data dengan reduksi 40% menghasilkan laju korosi tertinggi ke tiga.
5. Kelompok data dengan reduksi 0% menghasilkan laju korosi terendah.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa hasil data dan pembahasan pada penelitian, ini maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil struktur mikro setelah proses pengerolan dan pengelasan yaitu butiran di sekitar HAZ yang berbentuk pipih (*elongated grain*) sudah tidak terlihat. Dengan kombinasi dari proses pengerolan dan pengelasan, maka terbentuk *equiaxial* dengan butiran yang lebih besar dan terbentuk juga *twin-boundary*.
2. Hasil pengujian laju korosi menggunakan potensiostat untuk material tanpa pengerolan dengan arus pengelasan 80 Amper waktu 10 detik mempunyai laju korosi lebih besar dibanding material tanpa pengerolan dengan arus 50 Amper waktu 10 detik. Hal tersebut sesuai dengan hasil struktur mikro untuk material tanpa pengerolan dengan arus pengelasan 80 Amper waktu 10 detik terdapat karbida krom yang menebal pada batas butir di sekitar HAZ tidak terlalu terlihat jelas, dibanding material tanpa pengerolan dengan arus 50 Amper waktu 10 detik terdapat penebalan karbida krom pada batas butir lebih banyak.
3. Dari hasil pengujian laju korosi didapat nilai tertinggi saat reduksi pengerolan 60% dengan arus pengelasan 80 Amper dan waktu pengelasan 10 detik sebesar 0.253 mm/year, sedangkan laju korosi terendah dengan reduksi pengerolan 40% pada arus pengelasan 65 Amper dan waktu pengelasan 10 detik sebesar 0.0024 mm/year.
4. Hasil dari pengujian statistik menggunakan *software* SPSS secara berurutan yang mempunyai laju korosi paling tinggi yaitu reduksi 20%, 60%, 40%, dan 0%.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian diatas, maka saran yang diberikam untuk pengembangan penelitian selanutnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya pada saat proses pengelasan titik, holder (tang las) di pasang pada jig agar parameter pengelasan dapat dikontrol. Sehingga hasil las yang didapat sesuai dengan yang diinginkan.
2. Hendaknya juga dilakukan pengujian kekerasan untuk setiap variasi pengelasan guna membuktikan apakah korosi batas butir juga mempengaruhi kekuatan dari material yang digunakan.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan lebih memperbanyak variasi arus pengelasan, agar data untuk laju korosi yang didapat lebih tepat.

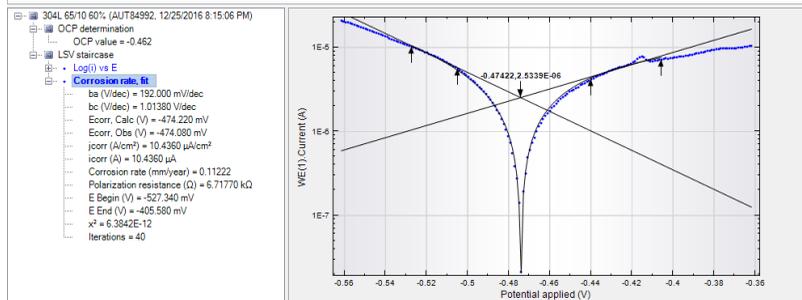
DAFTAR PUSTAKA

- Ainur Ridho, Setiawati (2007). “*Pengaruh Pengerolan Dingin Dan Temperatur Annealing Terhadap Ketahanan Korosi Integranular Pada Austenitic Stainless Steel Tipe 304*”. *Tugas Akhir*. Surabaya : ITS.
- Fontana, Mars. G, (1987). “*Corrosion Engineering*”. New York: Mc Graw – Hill Book Company.
- Kou, Sindo (2003). “*Welding Metallurgy*”. Second Edition. A Wiley-Interscience publication.
- Nugraha, Andi (2007) “*Pengaruh Pengerolan Dingin Terhadap Ketahanan Korosi Stainless Steel 316 L Sebagai Material Implan Medis Tugas Akhir*”. Bandung : ITB.
- Oxtoviandrew Picarima, Gerald (2005). “*Pengaruh arus, kecepatan las dan jarak penyemprotan media pendingin terhadap pembentukan presipitasi karbida krom pada SS 304 dengan pengelasan GTAW*”.
- Trethewey, K.R., (1991), Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Salvago, G., Fumagalli, G., & Sinigaglia, G. (1983). “*The Corrosion Behavior Of AISI 304L Stainless Steel In 0.1 M HCL At Room Temperature-II. The Effect Of Cold Working*”. Italy. 23, (5), 515-523.

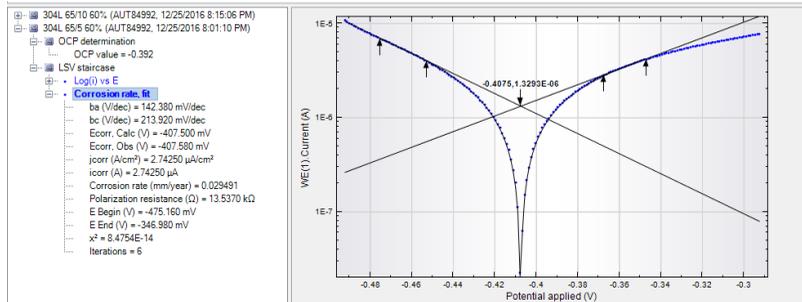
- Shimada, M., Kokawa, H., Wang, Z.J., Sato, Y.S., Karibe, I (2002). “*Optimization of grain boundary character distribution for intergranular corrosion resistant 304 stainless steel by twin-induced grain boundary engineering*”. Japan.
- Suwarno (2007). “*Investigasi Derajat Presipitasi Karbida Krom pada Baja Tahan Karat Austenitik dengan Pengamatan Makro*”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin FTI, ITS Surabaya.
- W. Giachino, Joseph., Weeks, Williams (1960-1971). “*Welding Skills and Practice*”. Western Michigan University.
- Wiryo Sumarto, Harsono., Okumura, Toshie (1996). “*Teknologi Pengelasan Logam*”. Pradnya Paramita : Jakarta.
- Zheng, Z.J., Gao, Y., Gui, Y., & Zhu, M. (2012). “*Corrosion behavior of nanocrystalline 304 stainless steel prepared by equal channel angular pressing*”. China. (54), 60-67.

Lampiran 1a (Hasil Uji Potensiostat)

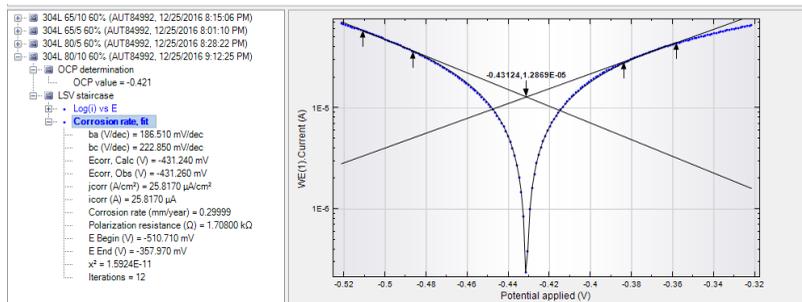
65/10 60%



65/5 60%

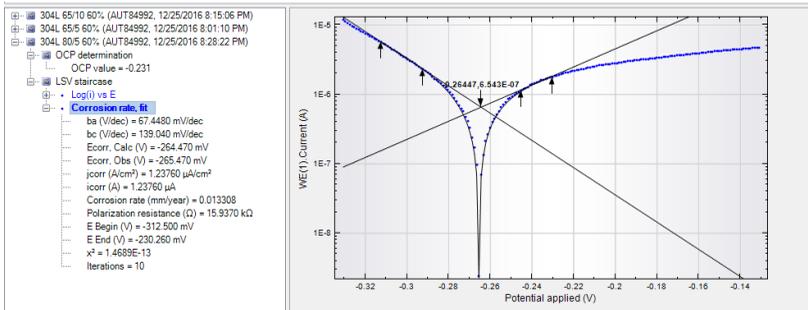


80/10 60%

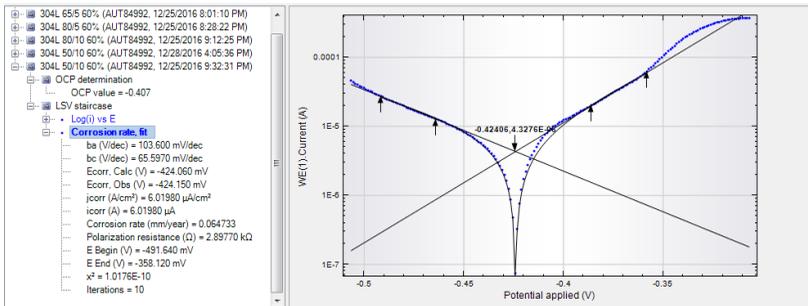


Lampiran 1b (Hasil Uji Potensiostat)

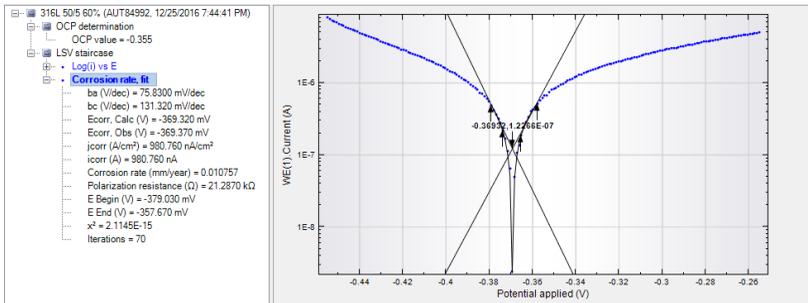
80/5 60%



50/10 60%

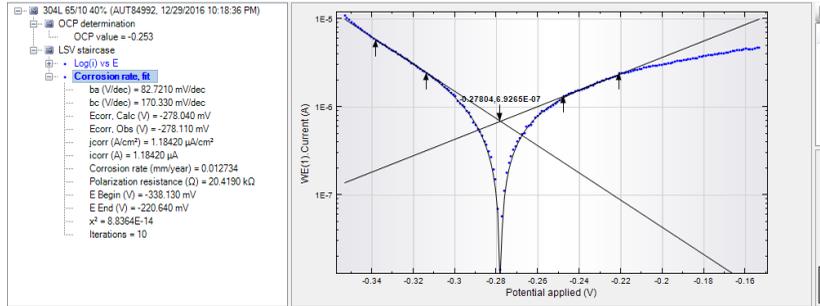


50/5 60%

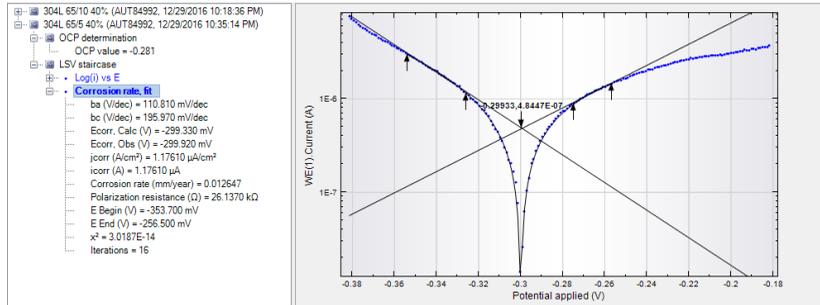


Lampiran 1c (Hasil Uji Potensiostat)

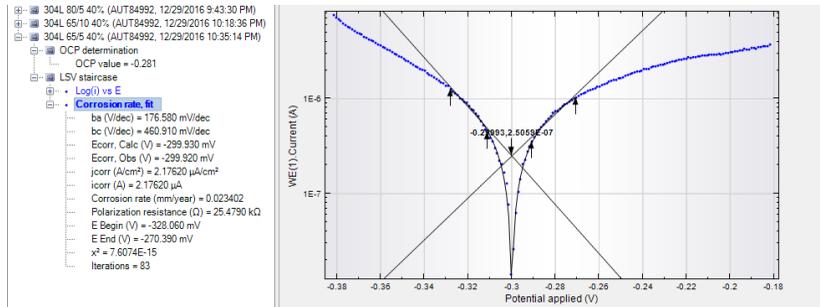
65/10 40%



65/5 40%



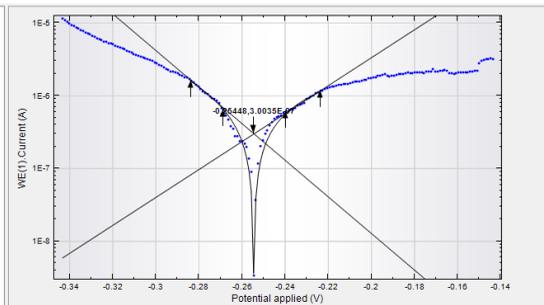
80/10 40%



Lampiran 1d (Hasil Uji Potensiostat)

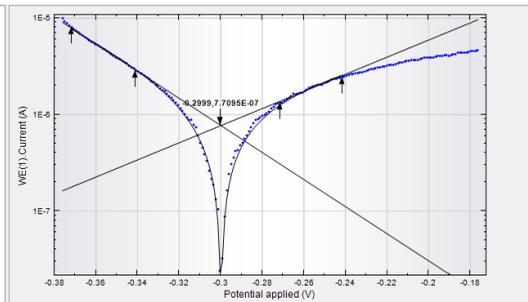
80/5 40%

304L 80/5 40% (AUT84992, 12/29/2016 9:43:30 PM)
 OCP determination
 OCP value = -0.243
 LSV staircase
 Log(I) vs E
 Corrosion rate, fit
 ba (V/dec) = 73.7130 mV/dec
 bc (V/dec) = 126.580 mV/dec
 Ecorr, Calc (V) = -254.480 mV
 Ecorr, Obs (V) = -254.580 mV
 jcorr (A/cm²) = 833.900 nA/cm²
 icorr (A) = 833.900 nA
 Corrosion rate (mm/year) = 0.0089672
 Polarization resistance (Ω) = 24.2620 kΩ
 E Begin (V) = -283.510 mV
 E End (V) = -223.690 mV
 x² = 1.6728E-13
 Iterations = 16



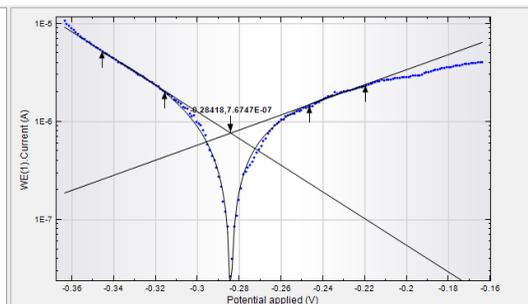
50/10 40%

304L 80/10 20% (AUT84992, 11/20/17 4:05:55 PM)
 304L 50/10 40% (AUT84992, 12/29/2016 1:37:39 AM)
 OCP determination
 OCP value = -0.276
 LSV staircase
 Log(I) vs E
 Corrosion rate, fit
 ba (V/dec) = 86.6790 mV/dec
 bc (V/dec) = 157.210 mV/dec
 Ecorr, Calc (V) = -299.900 mV
 Ecorr, Obs (V) = -299.840 mV
 jcorr (A/cm²) = 1.20260 μA/cm²
 icorr (A) = 1.20260 μA
 Corrosion rate (mm/year) = 0.012932
 Polarization resistance (Ω) = 20.1770 kΩ
 E Begin (V) = -371.860 mV
 E End (V) = -241.550 mV
 x² = 5.4274E-13
 Iterations = 8



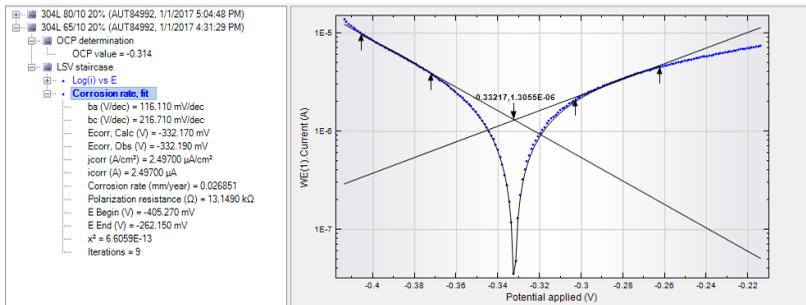
50/5 40%

304L 50/5 40% (AUT84992, 12/29/2016 11:09:20 PM)
 OCP determination
 OCP value = -0.264
 LSV staircase
 Log(I) vs E
 Corrosion rate, fit
 ba (V/dec) = 116.500 mV/dec
 bc (V/dec) = 374.360 mV/dec
 Ecorr, Calc (V) = -284.180 mV
 Ecorr, Obs (V) = -284.150 mV
 jcorr (A/cm²) = 1.91540 μA/cm²
 icorr (A) = 1.91540 μA
 Corrosion rate (mm/year) = 0.020597
 Polarization resistance (Ω) = 20.1450 kΩ
 E Begin (V) = -345.450 mV
 E End (V) = -219.420 mV
 x² = 4.0438E-13
 Iterations = 18

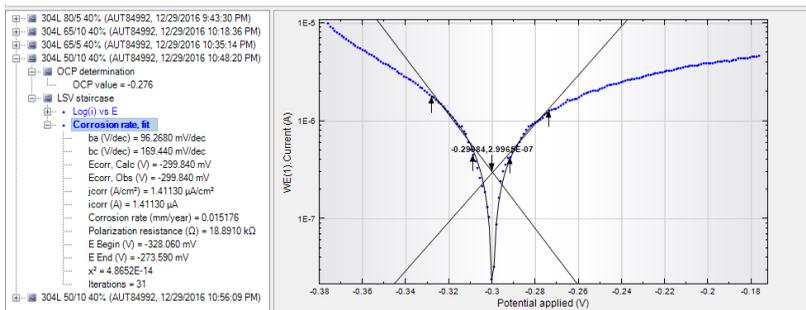


Lampiran 1e (Hasil Uji Potensiostat)

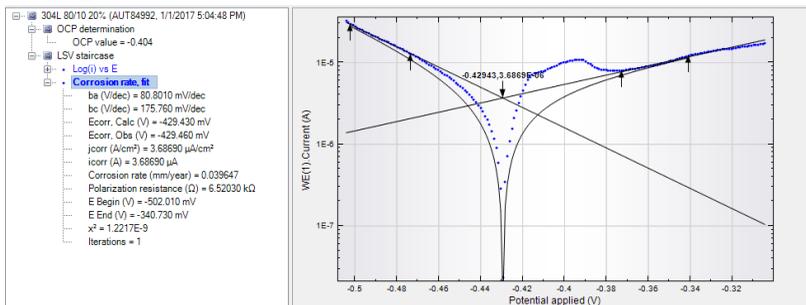
65/10 20%



65/5 20%

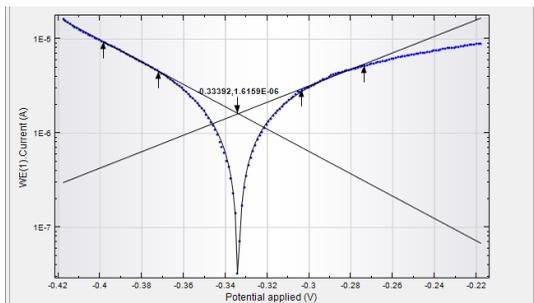
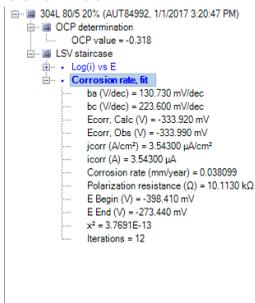


80/10 20%

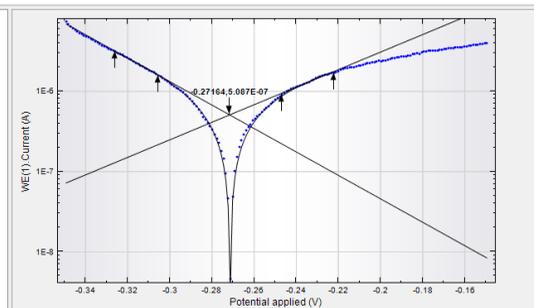
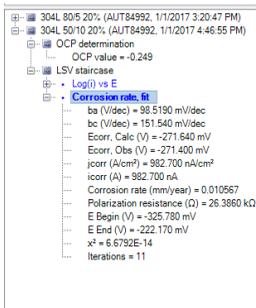


Lampiran 1f (Hasil Uji Potensiostat)

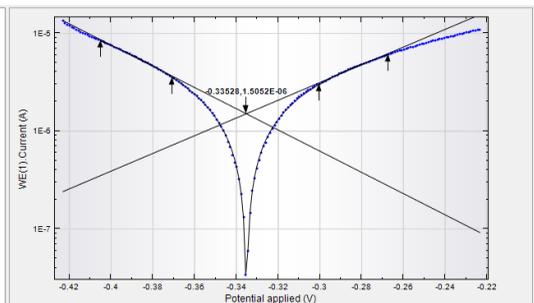
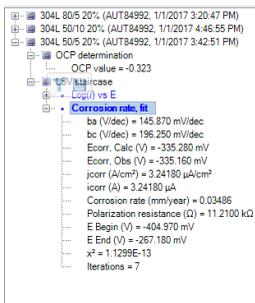
80/5 20%



50/10 20%

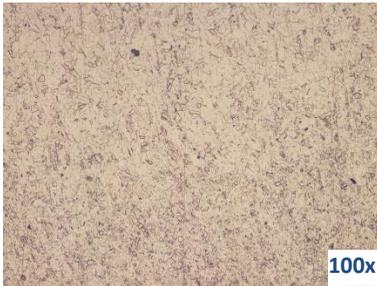


50/5 20%



Lampiran 2a (Hasil Struktur Mikro)

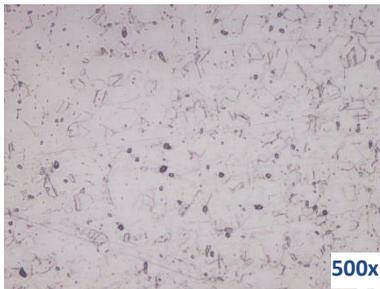
80/10 60%



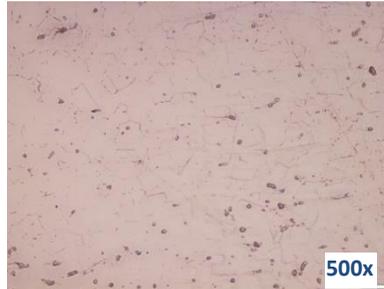
80/5 60%



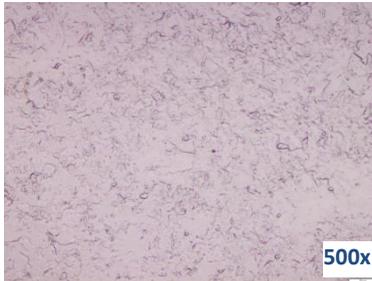
50/10 60%



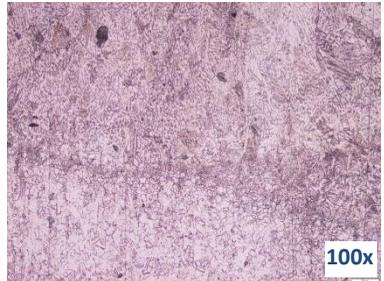
50/5 60%



80/10 40%



80/5 40%



Lampiran 2b (Hasil Struktur Mikro)

50/10 40%



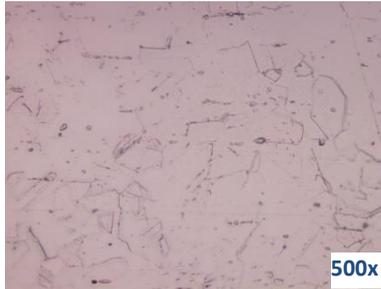
50/5 40%



80/10 20%



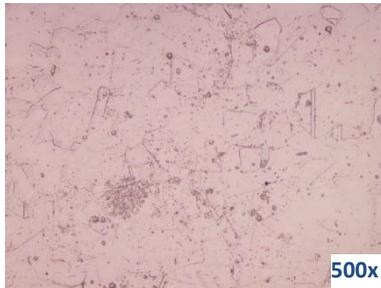
80/5 20%



50/10 20%



50/5 20%





barata indonesia
PT. KRASINDO

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : A 304 L

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No : 0610201600

Material :

Spektroanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	CE	MO	NI
1	70,0	0,0430	0,433	1,66	0,0309	0,0048	18,6	0,0856	8,53
2	69,2	0,0395	0,429	1,91	0,0300	0,0054	18,6	0,0931	8,81
Ave	69,6	0,0413	0,432	1,80	0,0305	0,0052	18,7	0,0894	8,67

	Al	CO	Cu	ND	Ti	V	W	BP	Sn
1	0,0060	0,134	0,0844	0,0764	0,0039	0,0908	0,0239	< 0,0025	0,0060
2	0,0066	0,170	0,0800	0,0845	0,0024	0,0948	0,0439	< 0,0025	0,0043
Ave	0,0063	0,152	0,0822	0,0804	0,0032	0,0978	0,0369	< 0,0025	0,0052

	B	Ca	SE	N
1	0,0006	0,0006	< 0,0035	0,107
2	0,0006	0,0002	< 0,0035	0,105
Ave	0,0006	0,0004	< 0,0035	0,106

Lampiran 3 (Hasil Uji Komposisi Kimia)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota surabaya pada tanggal 31 Januari 1993. Penulis merupakan anak ke 2 dari tiga (3) bersaudara. Pendidikan formal yang ditempuh penulis yaitu Tk Aisyah Bustanul Atfa Surabaya, Sd Negeri Baratajaya Surabaya, SMP Negeri 19 Surabaya, SMA Negeri 17 Surabaya, D3 Teknik Mesin FTI-ITS kemudian melanjutkan studi Lintas Jalur untuk program S1 Teknik Mesin FTI-ITS.

Penulis mempunyai hobi baca komik, browsing, dan bermain basket. Penulis pernah ikut menjuarai dbi pada saat masih SMP. Penulis aktif berorganisasi semenjak SMA sebagai anggota OSIS SMA Negeri 17 Surabaya pada kelas 11 dan 12. Dalam bidang akademik penulis tertarik pada bidang Manufaktur dan Metalurgi. Pada D3 Teknik Mesin penulis tertarik pada bidang Manufaktur, dan Pada Jurusan Teknik Mesin mengambil tugas akhir dengan bidang Metalurgi. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kedepannya.

Email : nikoarianto101@gmail.com

Tlp : 081230801276