



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

**PENGARUH *HEAT INPUT* PENGELASAN
GTAW PADA *STAINLESS STEEL 316*
TERHADAP LAJU KOROSI DI MEDIA
SODIUM HIPOKLORIT DENGAN
KONSENTRASI BERBEDA**

ACHMAD FICHRI RACHMADHANI
NRP 02111440000142

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR - TM 184835

**PENGARUH *HEAT INPUT* PENGELASAN
GTAW PADA *STAINLESS STEEL 316*
TERHADAP LAJU KOROSI DI MEDIA
SODIUM HIPOKLORIT DENGAN
KONSENTRASI BERBEDA**

**ACHMAD FICHRI RACHMADHANI
NRP 02111440000142**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - TM 184835

**INFLUENCE OF GAS TUNGSTEN ARC WELDING
HEAT INPUT TO THE CORROSION RATE OF 316
STAINLESS STEEL IN SODIUM HYPOCHLORITE
WITH VARIOUS CONCENTRATION**

**ACHMAD FICHRI RACHMADHANI
NRP 02111440000142**

**Advisor
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute of Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

**PENGARUH HEAT INPUT PENGELASAN GTAW PADA
STAINLESS STEEL 316 TERHADAP LAJU KOROSI DI MEDIA
SODIUM HIPOKLORIT DENGAN KONSENTRASI BERBEDA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

ACHMAD FICHRI RACHMADHANI
NRP. 02111440000142

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA** (Pembimbing)
NIP. 196308151989032001
2. **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.** (Penguji I)
NIP. 197407032000031001
3. **Suwarno, ST., MSc., PhD.** (Penguji II)
NIP. 198005202005011003
4. **Ir. Hari Subiyanto, Msc.** (Penguji III)
NIP. 196006231988031002

**SURABAYA
JANUARI, 2019**

**PENGARUH *HEAT INPUT* PENGELASAN GTAW PADA
STAINLESS STEEL 316 TERHADAP LAJU KOROSI DI
MEDIA SODIUM HIPOKLORIT DENGAN
KONSENTRASI BERBEDA**

Nama Mahasiswa : Achmad Fichri Rachmadhani
NRP : 02111440000142
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C.Kis Agustin,DEA

ABSTRAK

Stainless steel 316 merupakan salah satu jenis baja yang sering diaplikasikan pada berbagai kebutuhan karena sifat tahan karatnya yang baik, salah satunya dalam proses pengolahan air bersih. Dalam proses tersebut, dilakukan pemurnian air dengan pemberian senyawa sodium hipoklorit (NaClO). Adanya kandungan ion hipoklorit (ClO^-) pada sistem pengolahan air bersih dapat menghambat proses pengolahan dikarenakan adanya reaksi antara pipa dengan ion hipoklorit sehingga menyebabkan pipa terkorosi. Dalam pengaplikasian *stainless steel*, proses pengelasan digunakan untuk menyambungkan pipa. Adanya pengaruh *heat input* menyebabkan material rentan terkena korosi selama penggunaan, sehingga mengakibatkan kerusakan pada daerah lasan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi *heat input* pengelasan GTAW pada *stainless steel 316* terhadap laju korosi di media sodium hipoklorit. Variasi *heat input* yang digunakan adalah 83, 9 J/mm, 118,8 J/mm, 124,8 J/mm, dan 134,4 J/mm. Variasi konsentrasi NaClO yang digunakan adalah 250 ppm, 325 ppm, 425 ppm, dan 500 ppm. Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan. Pengujian polarisasi linier dengan bantuan potensiostat

dilakukan untuk mendapatkan kurva polarisasi. Dari kurva polarisasi yang telah didapat, dilakukan ekstrapolasi tafel untuk mendapatkan nilai arus korosi (I_{corr}) dan potensial korosi (E_{corr}). Dengan menggunakan persamaan laju korosi, nilai arus korosi yang telah didapatkan digunakan untuk menentukan nilai laju korosi material.

Berdasarkan penelitian, material yang mengalami proses pengelasan memiliki daerah las yang lebih luas dan struktur butir yang lebih besar. Laju korosi pada daerah las memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan nilai laju korosi pada base metal. Laju korosi pada base metal mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaClO. Peningkatan laju korosi juga terjadi pada material dengan heat input 134,4 J/mm, sedangkan pada material dengan heat input 83,9 J/mm dan 124,8 J/mm mengalami penurunan.

Kata kunci : Stainless Steel 316, GTAW, NaClO, Arus Korosi (I_{corr}), Laju Korosi

INFLUENCE OF GAS TUNGSTEN ARC WELDING HEAT INPUT TO THE CORROSION RATE OF 316 STAINLESS STEEL IN SODIUM HYPOCHLORITE WITH VARIOUS CONCENTRATION

Name : Achmad Fichri Rachmadhani
NRP : 02111440000142
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ir. H. C.Kis Agustin,DEA

ABSTRACT

Stainless steel 316 is one type of steel which is frequently used in various conditions because of its good corrosion resistance, such as water refinery system. Water refinery uses sodium hypochlorite (NaClO) in its process to produce clean water. Hypochlorite ion which is contained in water refinery sistem could affect the refinery process because hypochlorite ion could react to supply pipe and make it corroded. In the application of stainless steel, welding process is used to connect pipes. Heat input in welding process affects the materials to be less corrosion resistance while being used, and could damage the material, mainly in the weld metal.

This research was conducted to investigate the influence of gas tungsten arc welding heat input towards the corrosion rate of 316 stainless steel in sodium hypochlorite media. Heat input variation which is used in this research are 83, 9 J/mm, 118,8 J/mm, 124,8 J/mm, and 134,4 J/mm. NaClO concentration variation which is used are 250 ppm, 325 ppm, 425 ppm, and 500 ppm. Microstructure observations are carried out to observe the changes in microstructures which occurred as a result of welding process. Linear polarization testing using a three electrode potentiostat is performed to obtain the polarization curve. After polarization curve has been obtained, tafel extrapolation is

carried out to obtain the corrosion current density (I_{corr}) and corrosion potential (E_{corr}). By using corrosion rate equation, the corrosion current density (I_{corr}) that have been obtained are used to determine the corrosion rate of material.

From this research, it is known that material undergoing the welding process has a wider welded area and larger grain structure. Corrosion rate in the weld area has higher value than the corrosion rate on the base metal. The corrosion rate on the base metal is increased as the increasing concentration of NaClO. An increase in corrosion rate also occurred in materials with heat input 134,4 J/mm, while materials with heat input 83,9 J/mm and 124 J/mm are decreased.

Keywords : 316 Stainless Steel, Gas Tungsten Arc Welding, NaClO, Corrosion Current Density (I_{corr}), Corrosion Rate.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh *Heat Input* Pengelasan GTAW Pada *Stainless Steel* 316 Terhadap Laju Korosi Di Media Sodium Hipoklorit Dengan Konsentrasi Berbeda”. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak **Sunarto** dan Ibu **Umiarsih** yang selalu memberikan bantuan baik dalam hal doa, materi, motivasi, dan kesabaran dalam membimbing hingga sekarang. Serta saudara kandung penulis, Mas **Anggit Cahyo Aji** dan Mbak **Astrid Cahya Adiesti** yang selalu memberikan bantuan baik dalam hal doa, materi, dan motivasi.
2. Ibu **Dr. Ir. H. C.Kis Agustin, DEA** selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan tidak henti-hentinya memberikan arahan, dukungan, motivasi, pengalaman, dan ilmu yang tak ternilai sehingga Penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT., PhD., Indra Sidharta, ST., M.Sc.,** dan **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.,** selaku dosen penguji seminar proposal tugas akhir, dan bapak **Suwarno, ST., M.Sc.,** selaku dosen penguji sidang tugas akhir atas semua kritik, saran, dan masukan serta meluangkan banyak waktu bagi penulis sehingga penulisan tugas akhir ini bisa lebih baik.
4. Bapak **Moch. Solichin, ST., MT.,** dan **Ary Bachtiar K.P., ST., MT., PhD.** Selaku dosen wali Penulis selama di Teknik Mesin FTI-ITS, yang karena jasanya penulis bisa mengejar ketertinggalan penulis dalam bidang akademik dan menyelesaikan studi.

5. **Ilma Tamarina Arba** yang telah menemani dan menjadi tempat Penulis untuk mencurahkan seluruh ide dan pikiran, memberikan dukungan dan motivasi Penulis.
6. **Nurfitri Octaviana** selaku *partner* Penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang telah bersabar dan memotivasi Penulis supaya giat menyusun tugas akhir.
7. Seluruh **dosen** dan **karyawan** jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
8. **Keluarga M57** Teknik Mesin ITS selaku teman seperjuangan Penulis mulai dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
9. **Grup Berang-Berang (Bernard, Leo, Ayu, Mbak Astri)** yang membantu dalam segala aspek, terutama dalam kesabaran dalam menghadapi dan menyusun tugas akhir.
10. **Keluarga Laboratorium Metalurgi** yang selalu memberi masukan dan dukungan kepada Penulis.
11. **Pengurus MMC 2015** yang telah memberikan pelajaran berharga mengenai kehidupan berorganisasi, bermusik, dan berkeluarga sehingga dapat menghadapi setiap persoalan.
12. **Seluruh SMRM** yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama Penulis menjalani masa studi sehingga membentuk pribadi yang lebih baik.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Baja Tahan Karat Austenitik (<i>Austenitic Stainless Steel</i>)	5
2.2 Proses Pengelasan	7
2.2.1 Pengelasan GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)	8
2.2.2 <i>Heat Input</i>	10
2.2.3 <i>Cooling Rate</i>	11
2.3 Metalurgi Las	12
2.4 Korosi	14
2.4.1 Laju Korosi	17
2.4.2 Sodium Hipoklorit (NaClO)	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Alur Proses Penelitian	23

3.2	Peralatan Penelitian	24
3.2.1	Peralatan Potong.....	24
3.2.2	Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	24
3.2.3	Peralatan Pengamatan Struktur Mikro	24
3.2.4	Mesin Las GTAW	25
3.2.5	Peralatan Uji Polarisasi (Potensiostat)	25
3.3	Pelaksanaan Penelitian.....	26
3.3.1	Persiapan	26
3.3.2	Proses Pengelasan.....	26
3.3.3	Proses Pengujian.....	28
BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN		33
4.1	Proses Pengelasan.....	33
4.2	Pengamatan Struktur Mikro	34
4.3	Pengujian Polarisasi Linier	38
4.4	Perhitungan <i>Icorr</i> Pada Daerah Las	45
4.5	Perhitungan Nilai Laju Korosi	47
4.6	Pengaruh <i>Heat Input</i> Terhadap Laju Korosi Daerah Las Pada Larutan NaClO	49
4.7	Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		57
BIODATA PENULIS.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Gas-Tungsten Arc Welding</i>	8
Gambar 2.2 Tiga Jenis Polaritas Arus Listrik GTAW Dan Pengaruhnya Terhadap Bentuk Serta Penetrasi Logam Las	9
Gambar 2.3 Hubungan <i>Heat Input</i> Terhadap Laju Pendinginan. 12	
Gambar 2.4 Pengaruh Besar Butir Terhadap Perbedaan Jarak Dari Sumber Panas.	13
Gambar 2.5 Pengaruh <i>Heat Input</i> Terhadap Hasil Pengelasan. .	14
Gambar 2.6 Analogi Perubahan Energi Bebas.	15
Gambar 2.7 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi.	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian	23
Gambar 3.2 Mikroskop Optik dan Komputer	24
Gambar 3.3 Mesin Las GTAW	25
Gambar 3.4 Alat Uji Polarisasi.....	26
Gambar 3.5 Desain Spesimen Las	27
Gambar 3.6 Rancangan Desain Spesimen Uji Potensiostat	29
Gambar 3.7 Spesimen Uji Yang Sudah Disambungkan Dengan Kawat Tembaga Dan Telah Dilakukan <i>Mounting</i> Menggunakan Resin	29
Gambar 3.8 Rangkaian <i>Dummy Cell</i> Untuk Proses Kalibrasi Yang Telah Dipasang Kabel	30
Gambar 3.9 Rangkaian Pengujian Potensiostat	31
Gambar 3.10 Pengaturan Nilai <i>OCP Determination</i> dan <i>LSV Staircase</i> Pada Opsi <i>Linear Polarization</i>	31
Gambar 3.11 Kurva Polarisasi Hasil Pengujian Polarisasi Linier	32

Gambar 3.12 Kurva Polarisasi Hasil Pengujian Polarisasi Linier Setelah Dilakukan Ekstrapolasi Tafel	32
Gambar 4.1 Hubungan Nilai <i>Heat Input</i> Terhadap Nilai Laju Korosi Daerah Las Pada Konsentrasi NaClO Berbeda	50
Gambar 4.2 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Pada <i>Base Metal</i>	51
Gambar 4.3 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Daerah Las	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu.....	2
Tabel 2.1 Komposisi <i>Austenitic Stainless Steels</i>	6
Tabel 2.2 <i>Properties</i> Gas Pelindung.....	10
Tabel 2.3 Laju Korosi Beberapa Material Pada Larutan Sodium Hipoklorit.....	21
Tabel 3.1 Komposisi Kimia <i>Filler</i> ER316L	25
Tabel 3.2 Parameter Proses Pengelasan.....	27
Tabel 4.1 Parameter Pengelasan <i>GTAW</i>	33
Tabel 4.2 Struktur Hasil Pengelasan Dengan Perbesaran 50x	34
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Secara Memanjang Dengan Perbesaran 200x	36
Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Dengan Perbesaran 200x, 500x dan 1000x	37
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 250 ppm.....	39
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 325 ppm.....	41
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 425 ppm.....	42
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 500 ppm.....	44
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Luas Daerah Las Pada Spesimen Pengujian Polarisasi Linier.....	46

Tabel 4.10 Nilai *I_{corr}* Pada Daerah Las Dengan Berbagai *Heat Input* dan Konsentrasi NaClO.....47

Tabel 4.11 Nilai Laju Korosi Pada *Base Metal* dan Daerah Las.49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan salah satu jenis baja yang sering diaplikasikan pada berbagai kebutuhan, terutama pada lingkungan korosif. Salah satunya dalam proses pengolahan air bersih, dimana untuk mendapatkan air bersih dilakukan sejumlah proses pemurnian air dengan pemberian senyawa sodium hipoklorit (NaClO). Namun adanya kandungan ion hipoklorit (ClO^-) pada sistem pengolahan air bersih dapat menyebabkan proses pengolahan menjadi tidak optimal, dimana terdapat korosi pada pipa penyaluran air akibat ion tersebut. Oleh sebab itu, penggunaan *stainless steel* dilakukan untuk menghindari terhambatnya produktivitas.

Baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan jenis baja paduan yang memiliki ketahanan korosi serta sifat mekanik yang baik. Salah satu jenis *stainless steel* yang sering digunakan adalah *austenitic stainless steel*, dimana material ini sering digunakan untuk material *heat exchanger*, industri peternakan, industri makanan, serta industri pengolahan air. *Austenitic stainless steel*, khususnya *stainless steel 316* merupakan baja tahan karat yang memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Selain itu, *austenitic stainless steel 316* juga memiliki mampu las yang baik. Namun meskipun memiliki mampu las yang baik, tidak jarang dalam proses pengelasan masih dijumpai cacat dan kerusakan, terutama pada daerah lasan.

Permasalahan yang sering timbul akibat proses pengelasan pada *stainless steel 316* utamanya disebabkan karena adanya perubahan struktur mikro pada material. Perlakuan panas berupa pemberian *heat input* pada material menyebabkan ukuran butir semakin membesar seiring dengan meningkatnya panas yang diberikan (Kou, *Welding Metallurgy*, 2003). Perubahan ukuran butir inilah yang menyebabkan material rentan terkena

korosi selama penggunaan, sehingga akan mengakibatkan kerusakan pada daerah lasan.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai pengaruh pengelasan terhadap kecenderungan perilaku korosi pada *stainless steel* ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Tahun	Penelitian	Hasil
Galih Nugroho	2017	pengaruh pengerolan dingin dan pengelasan GTAW terhadap kerentanan korosi batas butir baja AISI 316L	Pada pengelasan titik selama 5 detik, laju korosi terendah didapatkan pada arus pengelasan 65 ampere yaitu 0,001 mm/tahun, sedangkan laju korosi tertinggi didapatkan pada arus pengelasan 80 ampere yaitu 0,13 mm/tahun. Pada pengelasan titik selama 10 detik, laju korosi terendah didapatkan pada arus pengelasan 50 ampere yaitu 0,001 mm/tahun, sedangkan laju korosi tertinggi didapatkan pada arus pengelasan 80 ampere yaitu 0,098 mm/tahun
M. Dafdar	2006	pengaruh pengelasan TIG terhadap kecenderungan korosi pada <i>stainless steel</i> 316L	ketahanan korosi pada <i>base metal</i> ($i_{corr} = 265 \text{ nA cm}^{-2}$) lebih rendah dibandingkan pada <i>weld metal</i> ($i_{corr} = 136 \text{ nA cm}^{-2}$)
Maman Kartaman	2014	studi sensitisasi baja tahan karat tipe 316 sebagai bahan kelongsong dan struktur <i>fast breeder reactors</i>	Material yang diberi perlakuan <i>solution treatment</i> , memiliki laju korosi yang lebih rendah (1,437 mm/tahun) bila dibandingkan dengan material tanpa perlakuan <i>solution treatment</i> (1,940 mm/tahun). Kemudian, seiring dengan meningkatnya temperatur <i>aging</i> yang diberikan, laju korosi yang dihasilkan akan semakin meningkat.

Pada penelitian diatas disebutkan bahwa proses pengelasan GTAW dan kandungan dari media korosif memiliki pengaruh terhadap perilaku korosi *stainless steel*. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dilakukan eksperimen mengenai pengaruh variasi arus pengelasan GTAW dan variasi konsentrasi NaClO terhadap laju korosi pada *Stainless Steel* 316.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Struktur mikro mengalami perubahan akibat variasi arus pengelasan GTAW sehingga mengakibatkan laju korosi berubah.
2. Penggunaan *stainless steel* 316 pada lingkungan yang mengandung NaClO dengan konsentrasi berbeda akan mempengaruhi laju korosi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh *heat input* pengelasan GTAW terhadap laju korosi pada material *austenitic stainless steel 316*.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi NaClO terhadap laju korosi hasil pengelasan GTAW pada material *austenitic stainless steel 316*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan terfokus pada tujuan yang diinginkan, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan dalam kondisi baik.
2. Variasi kondisi lingkungan saat proses pengelasan tidak berpengaruh pada proses pengelasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat untuk penelitian selanjutnya dan bagi dunia industri, adapun manfaat tersebut yaitu:

1. Menambah pengetahuan pembaca dan sebagai referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan terutama di bidang pengelasan dan korosi.
2. Dapat digunakan sebagai alternatif pemilihan parameter pengelasan GTAW terutama pada media korosif.

Dapat menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya mengenai pengelasan pada media korosif.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja Tahan Karat Austenitik (*Austenitic Stainless Steel*)

Stainless steels adalah paduan yang mengandung besi dengan kadar *chromium* minimum 12% untuk ketahanan korosi (George J. Fischer; Robert J. Maciag). Ketahanan korosi diperoleh dari lapisan oksida (terutama *chromium*) yang melindungi logam terhadap reaksi dengan lingkungannya. *Chromium* adalah elemen reaktif sehingga ketika mengalami kontak dengan udara sekitar, maka akan bereaksi membentuk oksida *chromium* (Cr_2O_3) yang sangat padat dan stabil sehingga menghalangi reaksi logam dibawahnya dengan udara sekitar. Begitu lapisan ini tergores, dengan cepat *chromium* yang tersedia akan bereaksi kembali untuk membentuk lapisan oksida. Lapisan ini sangat tipis dan tidak dapat dilihat secara langsung oleh mata manusia. Efek perlindungan oksida *chromium* ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar *chromium* rendah dan hanya tampak nyata pada kadar *chromium* yang tidak kurang dari 11% (Lippold & Damian, 2005).

Klasifikasi *stainless steel* dilakukan berdasarkan fasa dominan yang terbentuk. *American Iron and Steel Institute* (AISI) mengklasifikasikan *stainless steel* menjadi lima jenis, sebagai berikut:

1. *Austenitic stainless steels*
2. *Ferritic stainless steels*
3. *Martensitic stainless steels*
4. *Duplex stainless steels*
5. *Precipitation hardening stainless steels*

Oleh AISI, *austenitic stainless steels* diklasifikasikan dalam seri 200 dan 300. Seri 200 memiliki kandungan *carbon*, *manganese*, dan *nitrogen* yang tinggi untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan gores. Paduan ini juga memiliki kandungan nikel lebih rendah untuk mengimbangi kandungan

karbon dan nitrogen yang tinggi. Sedangkan seri 300 lebih banyak digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang lebih baik bila dibandingkan seri 200 (Lippold & Damian, 2005).

Rentang komposisi kimia *austenitic stainless steels* menurut standar AISI adalah: 16-25% Cr, 8-20% Ni, 1% N, 0-0,2% Ti dan Nb. Pada tabel 2.1 ditampilkan beberapa jenis *austenitic stainless steels* berdasarkan standar AISI sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi *Austenitic Stainless Steels* (Lippold & Damian, 2005)

Type	UNS No.	Composition (wt%)*									
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Other
201	S20100	0.15	5.5-7.5	0.06	0.03	1.0	16.0-18.0	3.5-5.5	—	0.25	—
302	S30200	0.15	2.0	0.045	0.03	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	—	—	—
304	S30400	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	8.0-10.5	—	—	—
304L	S30403	0.03	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	8.0-12.0	—	—	—
304H	S30409	0.04-0.1	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	8.0-10.5	—	—	—
308	S30800	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	19.0-21.0	10.0-12.0	—	—	—
309	S30900	0.20	2.0	0.045	0.03	1.0	22.0-24.0	12.0-15.0	—	—	—
310	S31000	0.25	2.0	0.045	0.03	1.0	24.0-26.0	19.0-22.0	—	—	—
316	S31600	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	—	—
316L	S31603	0.03	2.0	0.045	0.03	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	—	—
317	S31700	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	11.0-15.0	3.0-4.0	—	—
321	S32100	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	17.0-19.0	9.0-12.0	—	—	Ti: 5 × C-0.70
330	S33000	0.10	2.0	0.045	0.03	0.75-1.5	17.0-20.0	34.0-37.0	—	—	—
347	S34700	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	17.0-19.0	9.0-13.0	—	—	Nb: 10 × C-1.00

*A single value is a maximum.

Tipe *austenitic stainless steels* adalah kelompok *stainless steels* yang paling banyak diaplikasikan bila dibandingkan dengan tipe *stainless steels* lain. Tipe ini memiliki ketahanan korosi yang baik dan *yield strength* yang baik pada suhu kamar, berkisar 210 Mpa (30 ksi). Temperatur penggunaan *austenitic stainless steel* dapat mencapai 760°C atau lebih tinggi, tetapi kekuatan dan ketahanan oksidasinya terbatas pada suhu yang tinggi. Secara umum kemampuan las dari tipe ini baik (*weldable*) dengan memperhatikan secara seksama spesifikasi prosedur pengelasan.

Unsur *nickel* ditambahkan pada paduan dengan jumlah yang tinggi (umumnya diatas 8%) sebagai penstabil fase *austenite*. Unsur karbon ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan pada suhu tinggi. *Nitrogen* ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan pada suhu *cryogenic* dua kali lebih besar dibandingkan efek yang diberikan oleh karbon.

Adanya *nitrogen* juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap *pitting corrosion* (Lippold & Damian, 2005).

Jenis *austenitic stainless steels* yang sering digunakan adalah tipe 18-8, dimana tipe ini memiliki kandungan 18% *chromium* dan 8% *nickel*. Salah satu tipe yang sering digunakan adalah SS 316. Tipe ini merupakan pengembangan dari tipe SS 304, dengan penambahan unsur *molybdenum* sekitar 2%. Penambahan unsur *molybdenum* ini dimaksudkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap *pitting corrosion* dan *crevice corrosion*. Selain itu, unsur ini juga meningkatkan kekuatan dari *stainless steels* pada suhu tinggi (Lippold & Damian, 2005).

2.2 Proses Pengelasan

Menurut *American Welding Society (AWS)*, pengelasan adalah proses penyambungan material yang berbeda dengan memanaskan material pada temperatur pengelasan, dengan atau tanpa mengaplikasikan tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Secara umum, terdapat beberapa poin penting yang dilakukan selama proses pengelasan. Pertama, panas diaplikasikan untuk meningkatkan temperatur sehingga cukup tinggi untuk melunakkan atau melelehkan material supaya material bisa menyambung. Kedua, apabila diperlukan, tekanan yang cukup digunakan untuk memaksa material supaya menyambung. Ketiga, panas dan tekanan yang cukup diaplikasikan secara bersamaan untuk menyambung material menjadi satu. *Filler* dapat digunakan atau tidak sesuai dengan kebutuhan (Jeffus, *Welding Principles and Applications*, 2011).

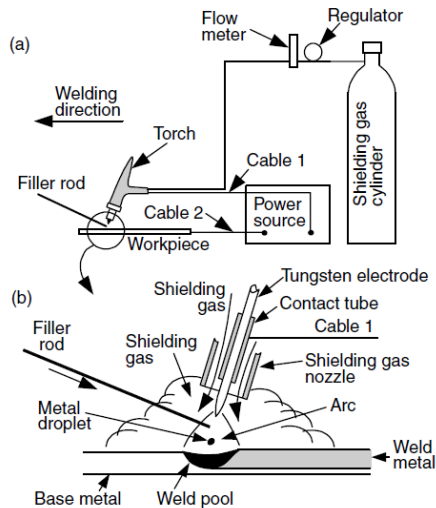
Terdapat berbagai jenis pengelasan yang dapat digunakan, namun beberapa yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Oxyacetylene Welding (OAW)*
2. *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*
3. *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*
4. *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

5. Flux Cored Arc Welding (FCAW)
6. Torch or Oxyfuel Brazing (TB)

2.2.1 Pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)

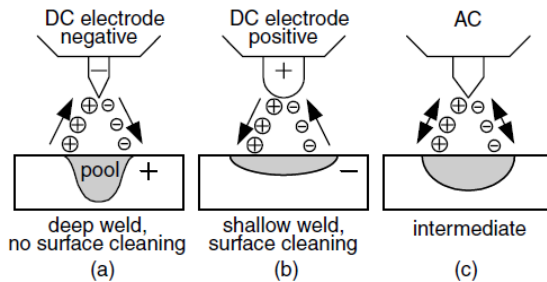
Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau sering disebut dengan *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*arc welding*) yang menggunakan *inert gas* sebagai pelindung dengan *tungsten* atau *wolfram* sebagai elektroda. Skema GTAW dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pengelasan ini dapat dikerjakan secara manual dan otomatis (Kou, *Welding Metallurgy*, 2003).



Gambar 2.1 *Gas-Tungsten Arc Welding*: (a) proses secara keseluruhan (b) perbesaran pada daerah pengelasan (Kou, *Welding Metallurgy*, 2003)

Elektroda pada GTAW merupakan elektroda tidak terumpan (*non-consumable*) yang berfungsi sebagai tempat tumpuan terjadinya busur listrik. GTAW mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam las mampu las.

Sumber listrik GTAW dapat menggunakan generator AC maupun DC. Untuk polaritas arus DC dibedakan menjadi dua, yaitu polaritas lurus atau *Direct Current Straight Polarity* (DCSP) dan polaritas balik atau *Direct Current Reverse Polarity* (DCRP). Sedangkan untuk AC tidak dibedakan berdasarkan polaritasnya. Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan penggunaan jenis arah aliran listrik yang digunakan dalam pengelasan (Kou, *Welding Metallurgy*, 2003).



Gambar 2.2 Tiga Jenis Polaritas Arus Listrik GTAW Dan Pengaruhnya Terhadap Bentuk Serta Penetrasi Logam Las; (a) DCSP (b) DCRP (c) AC (Kou, *Welding Metallurgy*, 2003)

Perbedaan dari ketiga polaritas arus listrik yang digunakan adalah, untuk DCSP dua pertiga konsentrasi panas yang dihasilkan disalurkan ke benda kerja sehingga menghasilkan penetrasi yang dalam dan terpusat, untuk DCRP dua pertiga konsentrasi panas yang dihasilkan disalurkan ke elektroda *tungsten* sehingga menghasilkan penetrasi yang melebar dan tidak terlalu dalam, sedangkan untuk AC, konsentrasi panas seimbang untuk benda kerja dan elektroda. Konsentrasi panas ditimbulkan karena benturan elektron pada benda kerja atau elektroda *tungsten* (Kou, *Welding Metallurgy*, 2003).

Selain polaritas arus listrik, hal lain yang perlu diperhatikan dalam pengelasan GTAW adalah penggunaan gas pelindung. Fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi

logam las dari kontaminasi udara luar dan sebagai fluida pendingin elektroda *tungsten*. Gas pelindung yang umum digunakan berupa gas mulia yang sulit sekali bereaksi dengan udara luar, seperti *Argon (Ar)*, *Helium (He)*, atau campuran keduanya dengan tingkat kemurnian 99,995%. Tabel 2.2 berikut menunjukkan *properties* dari gas pelindung (Kou, Welding Metallurgy, 2003).

Tabel 2.2 *Properties* Gas Pelindung (Kou, Welding Metallurgy, 2003)

Gas	Chemical Symbol	Molecular Weight (g/mol)	Specific Gravity with Respect to Air at 1 atm and 0°C	Density (g/L)	Ionization Potential (eV)
Argon	Ar	39.95	1.38	1.784	15.7
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	1.53	1.978	14.4
Helium	He	4.00	0.1368	0.178	24.5
Hydrogen	H ₂	2.016	0.0695	0.090	13.5
Nitrogen	N ₂	28.01	0.967	1.25	14.5
Oxygen	O ₂	32.00	1.105	1.43	13.2

Source: Reprinted from Lyttle (6).

2.2.2 Heat Input

Heat Input (H_{net}) merupakan energi yang diberikan dari sumber panas pengelasan kepada material. Energi ini mempengaruhi distribusi panas pada proses pengelasan yang berdampak pada besarnya *peak temperature*, kecepatan pendinginan dan waktu solidifikasi. H_{net} dapat dinyatakan dalam persamaan (Kou, Welding Metallurgy, 2003):

$$H_{net} = \eta \frac{E \times I}{V} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- H_{net} : *heat input* (J/mm)
- η : efisiensi perpindahan panas
- E : tegangan (V)
- I : arus (A)
- V : kecepatan pengelasan (mm/s)

Berdasarkan persamaan yang telah disebutkan, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa parameter yang

mempengaruhi besar atau kecilnya *heat input* yang diberikan selama proses pengelasan, yaitu efisiensi perpindahan panas, arus listrik, tegangan, dan kecepatan pengelasan.

Efisiensi perpindahan panas (η) memiliki nilai tertentu, tergantung pada jenis pengelasan yang digunakan. Efisiensi perpindahan panas dianggap konstan apabila selama proses pengelasan digunakan jenis pengelasan yang sama. Semakin besar nilai efisiensi perpindahan panas menandakan bahwa proses perpindahan panas semakin baik, sehingga panas yang diterima material akan semakin besar nilainya. Pengelasan GTAW memiliki efisiensi perpindahan panas 0,6-0,8 (Kou, Welding Metallurgy, 2003).

Arus listrik (I) dalam pengelasan berpengaruh pada pancaran logam cair yang mengisi kampuh. Proses pemindahan logam las terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butiran-butiran yang kemudian mengisi *groove*. Sesuai dengan persamaan diatas, dimana arus berbanding lurus dengan H_{net} , maka jika arus semakin tinggi, H_{net} yang dihasilkan juga semakin tinggi.

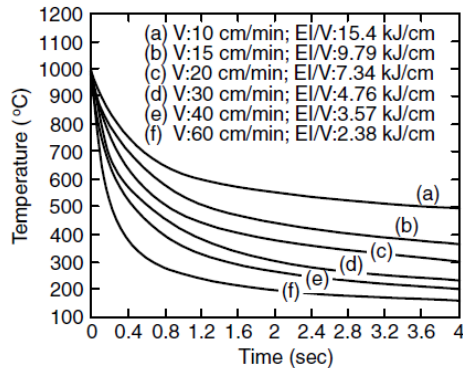
Heat Input (H_{net}) dalam proses pengelasan berbanding lurus dengan Tegangan (E) sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan 2.1, Sehingga dengan semakin besar tegangan yang digunakan maka H_{net} yang dihasilkan juga semakin besar.

Persamaan 2.1 juga menunjukkan bahwa kecepatan pengelasan (V) yang tinggi akan menghasilkan *heat input* yang rendah, dan begitu pula sebaliknya. Kecepatan pengelasan juga berhubungan dengan tersedianya kesempatan bagi logam cair untuk mengisi kampuh las. Semakin tinggi kecepatan pengelasan, maka kesempatan logam cair untuk mengisi kampuh las semakin sedikit, sehingga penetrasi pengelasan akan semakin dangkal (Kou, Welding Metallurgy, 2003).

2.2.3 *Cooling Rate*

Laju pendinginan merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan selama proses pengelasan karena mempengaruhi

hasil las. Parameter yang mempengaruhi laju pendinginan adalah *heat input*, ketebalan material dan proses *preheating*.



Gambar 2.3 Hubungan *Heat Input* Terhadap Laju Pendinginan (Kou, Welding Metallurgy, 2003)

Pada gambar 2.4 ditunjukkan hubungan antara *heat input* (EI/V) dengan laju pendinginan. Dari gambar tersebut, pada lokasi yang sama di HAZ, didapatkan bahwa semakin tinggi *heat input*, laju pendinginan yang terjadi akan semakin rendah, begitu pula sebaliknya (Kou, Welding Metallurgy, 2003).

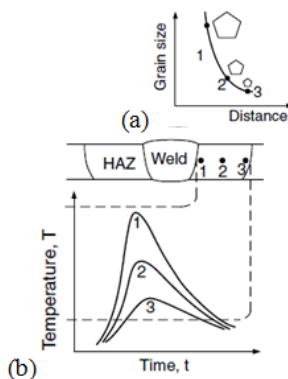
2.3 Metalurgi Las

Struktur mikro pada daerah las sangat dipengaruhi oleh proses pemanasan dan pendinginan. Penambahan logam pengisi yang berbeda dari logam induk pada proses pengelasan akan mengubah struktur mikro yang terbentuk pada daerah las sehingga akan berpengaruh pada sifat mekaniknya.

Daerah lasan dibagi menjadi 3 daerah yaitu logam las (*Weld Metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk (*Base Metal*). Logam las adalah logam pengisi (*filler*) yang menyatu dengan sebagian logam induk yang mencair dan kemudian membeku akibat proses pengelasan. HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas secara tidak langsung akibat proses

pengelasan. Logam induk adalah logam dasar yang tidak mengalami perubahan struktur mikro.

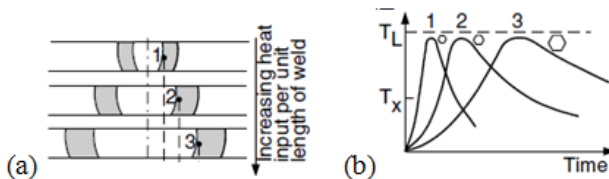
Panas dalam proses pengelasan dapat diperoleh dari energi listrik atau gas. Dengan pemberian panas, logam pada daerah las yang meliputi *weld metal* (WM) dan *heat affected zone* (HAZ) akan mengalami siklus termal yang menunjukkan perubahan temperatur sebagai fungsi waktu. Siklus termal yang dialami oleh daerah-daerah ini berbeda-beda sesuai dengan jarak daerah terhadap sumber panas. Siklus termal ditunjukkan seperti gambar 2.5.



Gambar 2.4 Pengaruh Besar Butir Terhadap Perbedaan Jarak Dari Sumber Panas; (a) Perbedaan Besar Butir Terhadap Jarak Dari Sumber Panas, (b) Perbedaan Suhu Yang Diterima Pada Tiap Daerah (Kou, Welding Metallurgy, 2003).

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa siklus termal mempengaruhi pertumbuhan besar butir akibat perbedaan jarak dari sumber panas. Daerah nomor satu merupakan daerah yang paling dekat dengan sumber panas, sehingga memiliki butiran yang lebih besar. Pada nomor dua, daerah yang menerima panas semakin menjauh sehingga butiran lebih kecil dibandingkan pada nomor satu. Sedangkan pada nomor tiga merupakan daerah paling jauh yang menerima panas sehingga butiran yang dihasilkan lebih

kecil dibandingkan nomor satu dan dua. Selain jarak terhadap sumber panas, perbedaan *heat input* juga mempengaruhi siklus termal yang diterima oleh material, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pengaruh *Heat Input* Terhadap Hasil Pengelasan; (a) Perbedaan Lebar HAZ; (b) Ukuran Butir di Daerah HAZ (Kou, Welding Metallurgy, 2003).

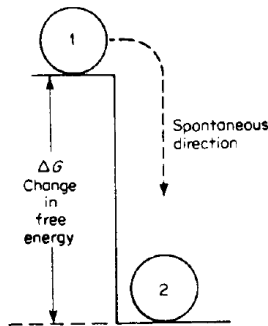
Gambar 2.5 menunjukkan pengaruh *heat input* terhadap mikrostruktur pada daerah las. Pada gambar (a) dapat dilihat bahwa seiring dengan meningkatnya *heat input*, *weld metal* dan HAZ akan semakin lebar. Hal ini diakibatkan karena semakin banyak panas yang diterima akan menyebabkan energi yang diterima juga semakin besar, sehingga daerah yang mengalami perubahan akan semakin luas. Sedangkan pada gambar (b) memperlihatkan bahwa dengan semakin meningkatnya *heat input* yang diterima, maka butiran yang dihasilkan akan semakin besar (Kou, Welding Metallurgy, 2003)

2.4 Korosi

Korosi adalah proses degradasi material akibat interaksi material dengan lingkungan. Korosi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu korosi basah dan korosi kering. Korosi basah adalah korosi yang terjadi akibat adanya zat cair, biasanya berupa larutan atau elektrolit. Contoh umum dari korosi basah adalah korosi pada baja akibat air hujan. Sedangkan korosi kering adalah korosi yang terjadi tanpa adanya zat cair, atau dapat juga disebut sebagai korosi suhu tinggi dimana suhu lingkungan berada diatas titik embun (*dew point*) lingkungan. Pada korosi ini,

penyebab korosi adalah uap dan gas. Contoh dari korosi kering adalah korosi pada pipa gas buang bersuhu tinggi.

Korosi merupakan proses yang terjadi secara spontan. Proses ini diakibatkan adanya energi bebas yang tersimpan di dalam sistem, dalam hal ini material. Energi bebas yang tersimpan diilustrasikan pada gambar 2.7. Kondisi 1 menunjukkan bahwa sistem memiliki energi bebas yang tersimpan di dalam sistem, sehingga energi bebas sistem bernilai positif atau lebih besar. Karena adanya energi bebas yang tersimpan, menyebabkan sistem cenderung melepas energi tersebut dan kembali ke keadaan ekuilibrium, yaitu energi terendahnya. Oleh sebab itu terjadi reaksi spontan, yaitu reaksi yang melepaskan energi yang tersimpan sehingga sistem akan berada di kondisi 2 atau kembali ke kondisi dengan energi terendahnya. Reaksi inilah yang disebut sebagai reaksi spontan. Pelepasan energi yang terjadi disertai dengan perubahan sistem, dalam hal ini adalah produk korosi pada material (Fontana M. , 1987).



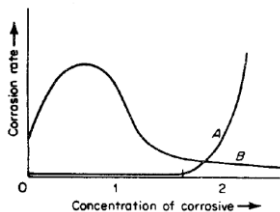
Gambar 2.6 Analogi Perubahan Energi Bebas (Fontana M. , 1987).

Selain reaksi spontan atau reaksi pelepasan energi, terdapat reaksi yang berkebalikan dengan reaksi spontan, yaitu reaksi tidak spontan. Reaksi tidak spontan adalah reaksi yang memberikan energi bebas ke dalam sistem dengan adanya gaya

atau perlakuan dari luar terhadap sistem, sehingga nilai energi bebas sistem akan meningkat. Contoh dari reaksi tidak spontan adalah proses *cold working* atau *hot working* terhadap material dan proses pengelasan. Dengan meningkatnya energi bebas di dalam sistem, sistem akan menjadi tidak stabil dan selanjutnya akan terjadi reaksi spontan (Fontana M. , 1987).

Proses korosi, seperti yang disebutkan sebelumnya, merupakan proses alami yang terjadi secara spontan dan tidak dapat dicegah, namun dapat dikendalikan. Terdapat tiga aspek utama dalam proses korosi, yaitu material, lingkungan, dan reaksi yang terjadi. Tanpa salah satu dari tiga aspek tersebut, proses korosi tidak akan terjadi. Aspek pertama yang mempengaruhi korosi adalah material. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yang terjadi. Diantaranya adalah besar butir, homogenitas atau adanya fasa yang lebih dari satu jenis, presipitasi karbida serta pemberian *cold* dan *hot working* yang mengakibatkan deformasi. Dari faktor yang telah disebutkan, semuanya menunjukkan adanya energi bebas gibbs berlebih yang terdapat pada material bila dibandingkan dengan kondisi ekuilibriumnya. Hal ini lah yang menyebabkan material cenderung bereaksi spontan sehingga lebih mudah untuk terkorosi.

Aspek kedua yang mempengaruhi korosi adalah lingkungan. Kondisi lingkungan yang berbeda mempengaruhi derajat korosifitas dan proses reaksi yang terjadi. Kondisi lingkungan ini dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah tingkat keasaman, suhu, ion yang terlarut, serta konsentrasi media korosif.



Gambar 2.7 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi (Fontana M. , 1987).

Pada gambar 2.7 menjelaskan pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi, dimana pada kurva A menjelaskan bahwa beberapa material mengalami pasivasi pada penambahan konsentrasi larutan, seperti Ni pada larutan NaOH dan Ta pada larutan HCL. Kurva A juga menjelaskan material yang telah mengalami pasivasi, kemudian mengalami peningkatan laju korosi pada saat konsentrasi meningkat, seperti Pb pada H₂SO₄ dan Monel pada HCl. Perilaku larutan yang bersifat asam pada berbagai macam konsentrasi ditunjukkan pada kurva B. Semakin konsentrasi meningkat, laju korosi semakin meningkat. hal ini dikarenakan jumlah ion hidrogen yang semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi asam. Pada peningkatan konsentrasi, laju korosi mencapai nilai maksimum kemudian mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi asam yang tinggi, ionisasi semakin berkurang yang diakibatkan oleh beberapa asam inert pada kondisi konsentrasi murni (100%) (Fontana M. , 1987).

Aspek ketiga yang mempengaruhi korosi adalah reaksi yang terjadi. Pada proses korosi, reaksi yang terjadi adalah reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi reduksi atau juga bisa disebut sebagai reaksi katodik, adalah reaksi penangkapan ion negatif yang disertai dengan perpindahan elektron menuju katoda sehingga menghasilkan senyawa tertentu. Sedangkan reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron dari anoda yang disertai dengan ion negatif. Kedua reaksi ini dapat disebut juga sebagai reaksi redoks (reduksi dan oksidasi). Proses redoks dapat terjadi karena adanya perbedaan potensial pada satu material atau lebih sehingga menyebabkan daerah anoda dan katoda (Fontana M. , 1987).

2.4.1 Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan degradasi atau penurunan kualitas material terhadap satuan waktu. Satuan yang digunakan

adalah milimeter per tahun dan mil per tahun. Cara untuk mendapatkan nilai laju korosi adalah dengan metode hilang berat (*weight loss*) dan metode polarisasi linier. Untuk metode hilang berat dengan cara mencelupkan spesimen pada larutan korosif pada waktu tertentu. Dari pengujian yang dilakukan, akan didapatkan berat yang hilang karena terkorosi, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut (Fontana M. , 1987):

$$CR = \frac{534 \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

- W = hilang berat, mg
- D = densitas spesimen, g/cm³
- A = luas spesimen, in²
- T = waktu perendaman, jam

Dari persamaan diatas, akan didapatkan nilai laju korosi material dengan satuan mil per tahun. Sedangkan untuk metode polarisasi linear dilakukan dengan cara menguji spesimen menggunakan alat bantu potensiostat untuk mendapatkan densitas arus korosi (*I_{corr}*). Dari nilai *I_{corr}* yang didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut (Jones, Principles and Prevention of Corrosion, 1996):

$$CR = \frac{0.00327 \times I \times EW}{D} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

- CR = *Corrosion Rate* (mm/tahun)
- I = *Current Density* (μA/cm²)
- D = *Density* (gram/cm³)
- EW = *Equivalent Weight* (gram/mol)

Nilai densitas didapatkan dari material yang digunakan yaitu *stainless steel* 316, sedangkan nilai *equivalent weight* didapatkan dari perbandingan antara berat atom yang bereaksi pada material dengan jumlah elektron pada reaksi oksidasi, dengan rumus sebagai berikut:

$$EW = \frac{1}{Neq} \dots\dots\dots 2.3$$

$$N_{eq} = \sum (f_i \times n_i / AW) \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

f_i = Komposisi atom pada material

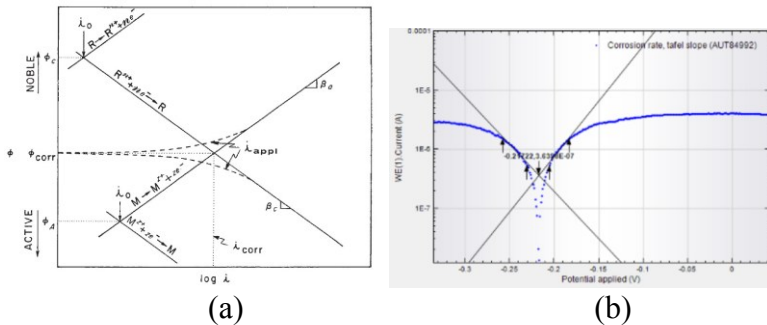
n_i = elektron valensi atom

AW = berat atom

Salah satu metode pengukuran laju korosi yang dilakukan adalah dengan pengujian polarisasi linier. Pengujian ini memanfaatkan prinsip polarisasi, yaitu perubahan potensial dari kondisi setimbangnya. Terdapat dua jenis polarisasi yang terjadi pada pengujian ini, yaitu polarisasi katodik dan polarisasi anodik. Pada polarisasi katodik, elektron disuplai ke permukaan sehingga terjadi penumpukan pada permukaan logam yang menyebabkan potensial di permukaan menjadi semakin negatif. Sedangkan pada polarisasi anodik, elektron dilepas dari logam sehingga menyebabkan perubahan potensial logam di permukaan menjadi positif. Pengujian polarisasi linier dilakukan menggunakan alat bantu potensiostat tiga elektroda (Jones, Principles and Prevention of Corrosion, 1996).

Potensiostat adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur nilai densitas arus korosi (I_{corr}) dan potensial korosi (E_{corr}) suatu material pada elektrolit tertentu. Potensiostat menggunakan tiga elektroda yang direndam pada larutan elektrolit. Tiga elektroda yang bekerja adalah elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembantu (*counter electrode*), dan elektroda acuan (*reference electrode*). Elektroda kerja merupakan sampel material yang diuji. Elektroda pembantu adalah elektroda yang mengangkut dan menyalurkan arus. Sedangkan elektroda acuan adalah elektroda yang memiliki potensial elektrokimia konstan, sehingga dijadikan acuan. Potensiostat bekerja dengan cara mengukur perbedaan tegangan antara elektroda kerja dengan elektroda acuan, serta mengukur densitas arus yang mengalir antara elektroda kerja dan elektroda pembantu. Pengukuran densitas arus yang mengalir dibantu dengan menggunakan *software*.

Selama pengujian berlangsung, spesimen akan direaksikan secara terus menerus dan menyebabkan laju pertukaran elektron meningkat. pada polarisasi katodik, meningkatnya pertukaran elektron ditandai dengan menumpuknya elektron di permukaan spesimen yang menyebabkan potensial di permukaan semakin negatif. Elektron semakin lama akan semakin menumpuk dan menyebabkan laju pertukaran elektron semakin melambat, sehingga kurva polarisasi $\log i$ vs E yang semula logaritmik menjadi linier. Begitu pula pada polarisasi anodik, meningkatnya pertukaran elektron ditandai dengan semakin berkurangnya elektron di permukaan spesimen sehingga menyebabkan potensial di permukaan semakin positif. Semakin sedikit suplai elektron menyebabkan spesimen semakin sulit bereaksi sehingga laju pertukaran elektron semakin melambat dan kurva polarisasi $\log i$ vs E yang semula logaritmik menjadi linier. Daerah linier pada kedua kurva ini disebut sebagai daerah tafel atau *tafel behavior*. Daerah tafel dari kurva polarisasi katodik dan anodik ini kemudian dilakukan ekstrapolasi dengan cara menarik garis lurus sehingga akan didapatkan perpotongan antara kurva polarisasi katodik dan anodik. Titik perpotongan ini menunjukkan nilai E_{corr} dan I_{corr} spesimen yang diujikan pada elektrolit. Hasil pengujian polarisasi ditampilkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.8 Kurva Polarisasi; (a) Teoritis; (b) Hasil Pengujian Potensiostat (Autolab, 2011)

2.4.2 Natrium Hipoklorit (NaClO)

Sodium hipoklorit adalah salah satu jenis senyawa basa yang digunakan pada proses penjernihan air bersih supaya air menjadi bersih dan siap pakai. Dalam aplikasinya, sodium hipoklorit digunakan dengan konsentrasi yang beragam sesuai dengan kebutuhannya. Senyawa ini merupakan salah satu senyawa basa yang bersifat korosif.

Sodium hipoklorit memiliki ion hipoklorit (ClO^-) yang reaktif terhadap logam. Hanya beberapa logam yang memiliki ketahanan yang baik terhadap senyawa sodium hipoklorit, bahkan pada temperatur dan konsentrasi yang rendah. Sodium hipoklorit pada umumnya digunakan pada suhu rendah untuk mencegah terjadinya dekomposisi. Kondisi pada suhu dan konsentrasi larutan yang lebih tinggi dapat menyebabkan ketidakstabilan terhadap dekomposisi, sehingga memicu terjadi reaksi korosi. Menurut *ASM Handbook 13A*, laju korosi sodium hipoklorit di beberapa material dengan suhu tertentu dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Laju Korosi Beberapa Material Pada Larutan Sodium Hipoklorit (Cramer & Bernard S. Covino, 2003)

Material	Corrosion rate at 65–95 °C (150–200 °F)(a)		Relative corrosion rate at 50 °C (120 °F)(b)	
	mm/yr	mils/yr	mm/yr	mils/yr
Titanium	0.0025	0.1	0.000025	0.001
Remanit 2800	...	...	0.000025	0.001
E-Brite	...	...	0.00025	0.01
2Mo-0.4Cu stainless steel	...	...	0.00025	0.01
Type 317 stainless steel	...	...	0.00025	0.01
Inconel 600	...	...	0.005	0.02
Zirconium	0.1	4	...	...
Durichlor	0.18	7	...	...
Duriron	0.3	12	...	...
Incoloy 825	...	...	0.005	0.2
Hastelloy C	...	46	0.005	0.2
Type 316 stainless steel	1.2	100 (consumed)	0.008	0.3
Type 304 stainless steel	>2.5	...	0.025	1.0
Low-carbon steel	>5	>200 (consumed)	0.025	1.0

(a) 72-day test in 1.5–4% NaOCl with 12–15% NaCl and 1% NaOH (Ref 62). (b) NaOCl solution (pH 9) with 500 ppm active chlorine and 1.2% NaCl (Ref 213)

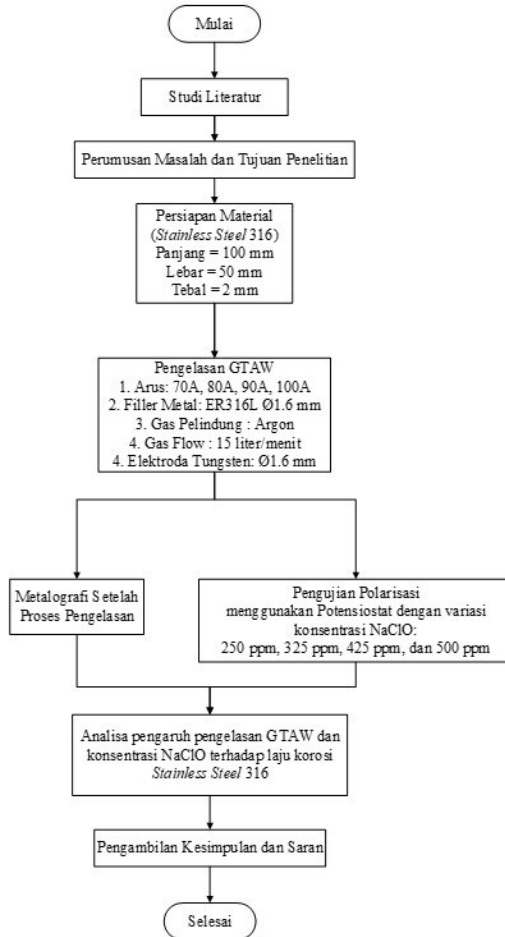
Dari tabel 2.3 dapat dilihat bahwa material yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda ketika diaplikasikan pada sodium hipoklorit dengan suhu tertentu. Contohnya seperti

stainless steel 316 dimana pada suhu 65-95°C memiliki laju korosi sebesar >2.5 mm/tahun, sedangkan pada suhu 50°C memiliki laju korosi sebesar 0.008 mm/tahun. Untuk mendapatkan nilai laju korosi suatu material pada lingkungan tertentu dapat digunakan beberapa cara, salah satunya adalah dengan pengujian polarisasi menggunakan alat bantu potensiostat. Metode ini seringkali digunakan dalam menentukan laju korosi sebelum melakukan pemilihan material, sehingga dapat mengetahui nilai kecenderungan laju korosi material dan meminimalkan terjadinya korosi ketika digunakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Proses Penelitian

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

3.2 Peralatan Penelitian

3.2.1 Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk persiapan spesimen uji adalah gergaji mesin, *cutting wheel*, gerinda tangan, dan gerinda duduk.

3.2.2 Mesin *Grinding* dan *Polishing*

Mesin *Grinding* digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen. Proses *grinding* dilakukan secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan grit 600, 800, 1000 dan 2000.

Sedangkan mesin *polishing* digunakan untuk menghilangkan goresan setelah dilakukan *grinding* dengan grit 2000, dimana proses *polishing* menggunakan kain bludru yang diberi *metal polishing* sambil dialiri air sampai tidak ada goresan yang tampak pada permukaan spesimen.

3.2.3 Peralatan Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin FTI – ITS, dimana peralatan yang digunakan adalah mikroskop digital yang tersambung dengan satu unit komputer seperti pada gambar 3.2. Gambar struktur mikro diamati secara langsung melalui layar komputer, kemudian disimpan pada komputer dalam bentuk dokumen. Peralatan ini dapat digunakan untuk mengamati dengan perbesaran 5x hingga 250x sesuai dengan kebutuhan pengamat.



Gambar 3.2 Mikroskop Optik dan Komputer

3.2.4 Mesin Las GTAW

Proses pengelasan GTAW pada penelitian ini menggunakan *filler* (kawat las) ER316L ($\text{\O}=1.6$ mm).

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Filler* ER316L

	%	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
ER316L	min	-	18.0	11.0	2.0	1.0	0.30	-	-	-
	max	0.03	20.0	14.0	3.0	2.5	0.65	0.03	0.03	0.75

Variabel pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah besarnya arus dari proses pengelasan, dengan nilai 70 A, 80 A, 90 A, dan 100A (Jeffus, *Welding Principles and Applications*, 2011). Gas pelindung yang digunakan adalah argon dengan debit aliran 15 liter/menit. Arus pengelasan dapat diatur melalui alat pengaturan yang tersedia pada mesin las GTAW seperti ditunjukkan pada gambar 3.3.

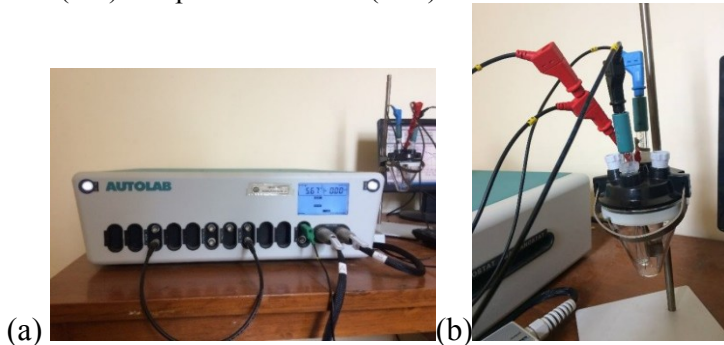


Gambar 3.3 Mesin Las GTAW

3.2.5 Peralatan Uji Polarisasi (Potensiostat)

Pengujian polarisasi dilakukan menggunakan potensiostat dan sel tiga elektroda dengan bantuan komputer yang dilengkapi *software* NOVA 1.8, yang ditunjukkan pada gambar 3.4. Sel tiga elektroda yang digunakan berupa elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembantu (*counter electrode*), dan elektroda acuan (*reference electrode*). Pengujian dilakukan untuk

mendapatkan kurva polarisasi yang menunjukkan densitas arus korosi (I_{corr}) dan potensial korosi (E_{corr}).



Gambar 3.4 Alat Uji Polarisasi: (a) Potensiostat, (b) Rangkaian Sel Tiga Elektroda

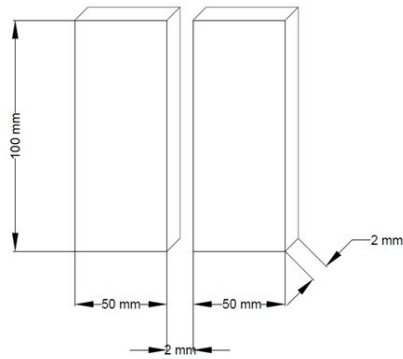
3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Persiapan

Material *stainless steel* yang telah didapatkan dipotong menjadi plat kecil dengan dimensi 100 mm x 50 mm x 2 mm. Setelah dipotong, daerah pinggir plat dirapikan menggunakan batu gerinda untuk menghilangkan sisa potongan supaya memudahkan proses pengelasan.

3.3.2 Proses Pengelasan

Dua buah plat berdimensi 100 mm x 50 mm x 2 mm yang sebelumnya telah disiapkan, disusun secara horizontal dengan jarak 2 mm seperti pada gambar 3.5. Sambungan spesimen dibuat dengan metode *butt joint*. Proses pengelasan menggunakan pengelasan GTAW dengan memperhatikan beberapa parameter pengelasan yaitu besaran arus, voltase, kecepatan pengelasan, posisi pengelasan, tipe sambungan, sudut *groove*, desain sambungan voltase, dan *filler* atau logam pengisi. Parameter pengelasan ditunjukkan pada tabel 3.2



Gambar 3.5 Desain Spesimen Las

Tabel 3.2 Parameter Proses Pengelasan

SPESIFIKASI <i>BASE METAL</i>	
<i>Base Metal</i>	AISI 316
Panjang	100 mm
Lebar	50 mm
Tebal	2 mm
DESAIN SAMBUNG	
Tipe Sambungan	<i>Butt Joint</i>
Jumlah pass	1
<i>FILLER METAL</i>	
AWS No.	ER316L
Diameter	1.6 mm
POSISI PENGELASAN	
Posisi	1G
KARAKTERISTIK LAS	
Polaritas	DCEN
Arus	70A, 80A, 90A, 100A
Voltase	20 V
Gas Pelindung	Argon
<i>Gas Flow</i>	15 liter/menit

3.3.3 Proses Pengujian

3.3.3.1 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari daerah lasan setelah proses pengelasan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengujian ini dilakukan pada daerah las.

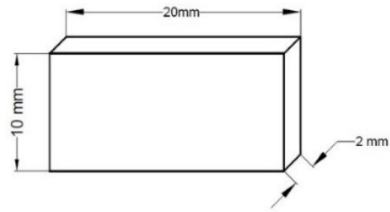
Langkah – langkah untuk pengujian metalografi sebagai berikut :

1. Spesimen dipotong pada daerah las dan dilakukan *mounting* menggunakan resin *epoxy* untuk memudahkan proses *grinding* dan *polishing*.
2. *Grinding*, pada proses ini spesimen uji dihaluskan dengan mesin *grinding* menggunakan kertas gosok dengan *grit* 600, kemudian dilanjutkan secara bertahap menggunakan *grit* 800, 1000, dan 2000.
3. *Polishing*, spesimen uji dipoles dengan menggunakan *metal polishing* dan kain beludru untuk menghilangkan goresan akibat proses *grinding*.
4. *Etching*, proses etsa dilakukan untuk menampakkan struktur mikro agar terlihat ketika dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop optik. Spesimen uji di etsa menggunakan 10 mL asam nitrat (HNO_3), 10 mL asam asetat, dan 15 mL asam klorida (HCl) yang diaduk hingga homogen. Standar pengujian yang digunakan mengacu pada ASTM E 407, *Practice for Microetching Metals and Alloys*
5. Struktur mikro spesimen diamati menggunakan mikroskop optik digital dengan perbesaran 5x hingga 250x.

3.3.3.2 Pengujian Laju Korosi

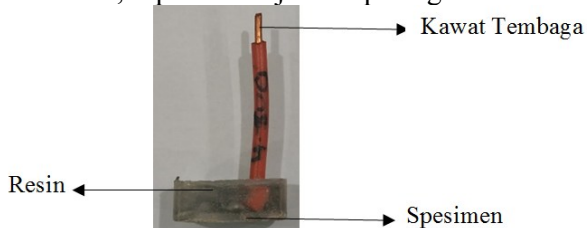
Langkah – langkah untuk pengujian kecenderungan laju korosi menggunakan potensiostat adalah sebagai berikut:

1. Spesimen uji (daerah las) dipotong dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 2 mm seperti pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Rancangan Desain Spesimen Uji Potensiostat

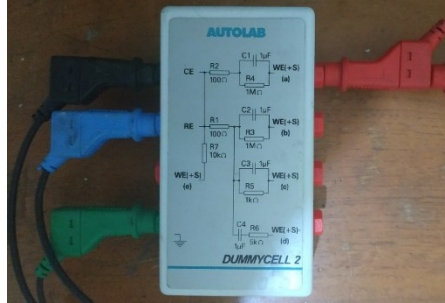
2. Spesimen uji disambungkan dengan kawat tembaga kemudian di *mounting* dengan menggunakan resin agar pada saat pengujian hanya permukaan material yang bereaksi, seperti ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Spesimen Uji Yang Sudah Disambungkan Dengan Kawat Tembaga Dan Telah Dilakukan *Mounting* Menggunakan Resin

3. Permukaan spesimen dihaluskan menggunakan kertas gosok dengan grid kekasaran 800, 1000, dan 2000. Proses ini dilakukan untuk semua spesimen uji.
4. Larutan elektrolit dibuat dengan mencampurkan NaClO dan aquades dengan variasi konsentrasi NaClO 250, 325, 425 dan 500 ppm.
5. Aplikasi NOVA 1.8 dibuka.
6. Dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan memilih opsi TestCV pada prosedur yang telah tersedia. Kabel berwarna hitam, biru dan hijau dipasangkan pada *dummy cell* sesuai dengan warna yang telah ditentukan lalu tombol *start* diklik. Kemudian akan muncul

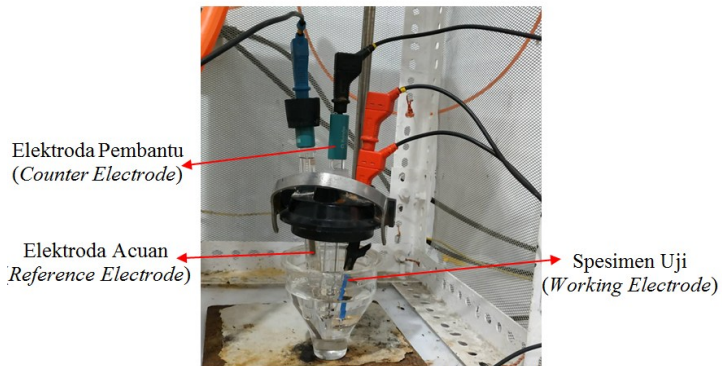
command untuk menentukan posisi dimana kabel merah harus dipasang. Semua kabel yang telah terpasang akan tampak seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian *Dummy Cell* Untuk Proses Kalibrasi Yang Telah Dipasang Kabel

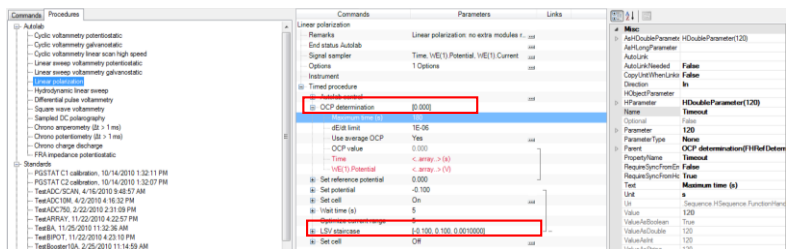
7. Setelah semua kabel dipasang, tombol OK diklik untuk menjalankan proses kalibrasi, dan ditunggu hingga proses selesai. Setelah proses kalibrasi selesai, hasil dicek dengan memilih opsi *TestCV* pada *analysis view*. *Residual plot measurement*, *residual plot reference*, nilai *upper limit* dan *lower limit* ditampilkan. Nilai *residual plot* yang telah tampil dibandingkan dengan nilai *limit*. Apabila nilai *residual plot* berada di dalam *limit*, maka kalibrasi berhasil dilakukan. Tetapi apabila nilai *residual plot* masih berada di luar *limit*, maka kalibrasi gagal dan diulang lagi seperti langkah sebelumnya.
8. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian. Kabel warna hitam dipasang dengan platina (*counter electrode*), kabel warna biru dipasang dengan Ag/AgCl (*reference electrode*), dan kabel warna merah dipasang dengan spesimen uji (*working electrode*). Ketiga elektroda yang telah dipasang pada masing-masing kabel kemudian diletakkan pada penyangga. Sementara itu larutan yang akan digunakan dituangkan

pada gelas uji dan diletakkan pada penyangga. Pastikan ketiga elektroda tercelup ke dalam larutan seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Rangkaian Pengujian Potensiostat

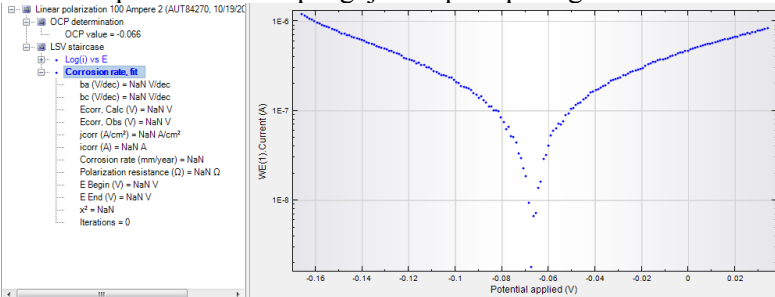
9. Ketika rangkaian telah siap diuji, opsi *Linear Polarization* pada *setup* dipilih. Nilai waktu *OCF Determination* diatur menjadi 180 detik dan nilai *start potential*, *stop potential*, serta *scan rate* diatur sesuai *default* sesuai pengaturan awal. Hasil pengaturan opsi *linear polarization* dapat ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pengaturan Nilai *OCF Determination* dan *LSV Staircase* Pada Opsi *Linear Polarization*

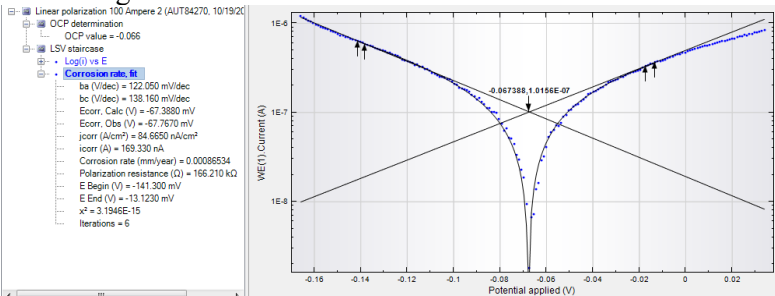
10. Apabila pengaturan telah selesai dilakukan, tombol *start* diklik dan proses pengujian ditunggu hingga selesai.

Opsi *analysis view* dipilih untuk memunculkan kurva polarisasi hasil pengujian seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Kurva Polarisasi Hasil Pengujian Polarisasi Linier

11. Dari kurva polarisasi yang telah didapatkan, dilakukan ekstrapolasi tafel untuk mendapatkan nilai I_{corr} (A) dan E_{corr} (V). Hasil dari ekstrapolasi tafel dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Kurva Polarisasi Hasil Pengujian Polarisasi Linier Setelah Dilakukan Ekstrapolasi Tafel

BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

4.1 Proses Pengelasan

Dari parameter pengelasan yang telah ditetapkan, dilakukan perhitungan nilai *heat input* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kou, Welding Metallurgy, 2003):

$$H_{net} = \eta \frac{E \times I}{V} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- H_{net} : *heat input* (J/mm)
- η : efisiensi perpindahan panas
- E : tegangan (V)
- I : arus (A)
- V : kecepatan pengelasan (mm/s)

Untuk proses pengelasan dengan parameter arus sebesar 70 A, Tegangan 20 V, kecepatan pengelasan 6,25 mm/s, dan efisiensi proses pengelasan GTAW 0,6, diperoleh *heat input* sebagai berikut:

$$H_{net} = 0,6 \times \frac{20 \text{ V} \times 70 \text{ A}}{6,25 \text{ mm/s}}$$

$$H_{net} = 134,4 \text{ J/mm}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, diperoleh *heat input* untuk parameter pengelasan lain seperti ditampilkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Parameter Pengelasan GTAW

Arus (A)	Tegangan (V)	Kecepatan Las (mm/s)	Efisiensi	<i>Heat Input</i> (J/mm)
70	20	6,25	0,6	134,4
80	20	7,69	0,6	124,8
90	20	9,09	0,6	118,8
100	20	14,29	0,6	83,9

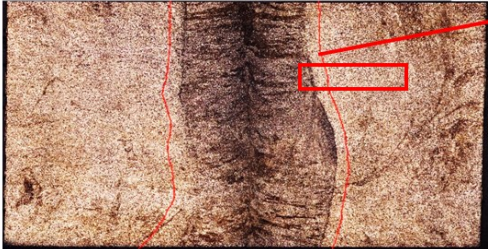
Berdasarkan persamaan 2.1, ketika pengelasan dilakukan dengan parameter arus yang meningkat, sedangkan parameter lain konstan, akan menghasilkan nilai *heat input* yang semakin

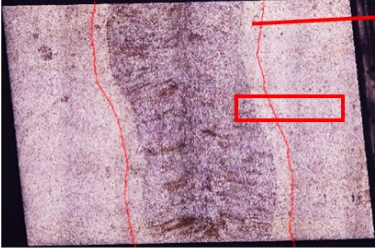
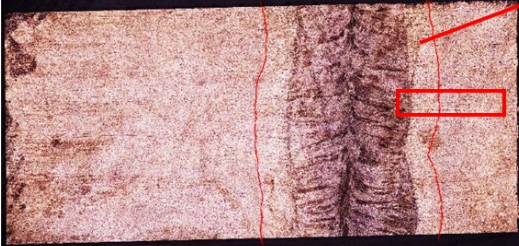
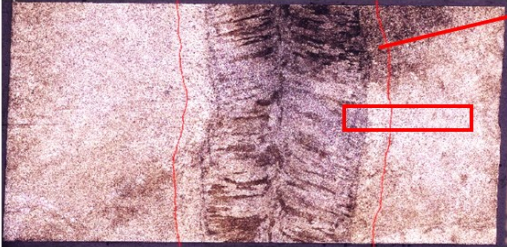
meningkat. Hasil perhitungan pada tabel 4.1 didapatkan bahwa seiring dengan meningkatnya arus pengelasan dengan tegangan yang sama, nilai *heat input* yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena kecepatan pengelasan yang digunakan semakin meningkat pula seiring dengan meningkatnya arus pengelasan. Meningkatnya kecepatan pengelasan diakibatkan karena plat yang digunakan memiliki ketebalan 2mm, sehingga untuk mempertahankan agar penetrasi las tidak berlebihan dan menghasilkan pengelasan yang baik, kecepatan pengelasan disesuaikan menjadi lebih tinggi seiring dengan meningkatnya arus pengelasan.

4.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan bertujuan untuk melihat butiran spesimen *stainless steel 316* yang telah dilakukan proses pengelasan GTAW pada *heat affected zone (HAZ)*. Hasil pengamatan dengan perbesaran 50x dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Struktur Hasil Pengelasan Dengan Perbesaran 50x

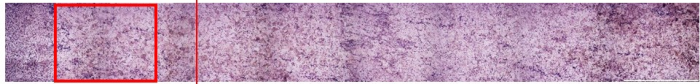
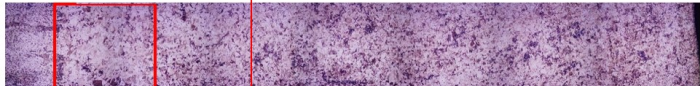

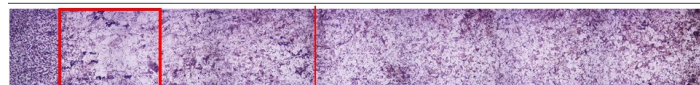
Heat Input (J/mm)	Struktur Mikro Perbesaran 50x
83,9	 <p data-bbox="790 935 960 999"><i>Heat Affected Zone</i></p>

118,8	 <p data-bbox="792 209 960 272"><i>Heat Affected Zone</i></p>
124,8	 <p data-bbox="841 528 1009 592"><i>Heat Affected Zone</i></p>
134,4	 <p data-bbox="835 863 1003 927"><i>Heat Affected Zone</i></p>

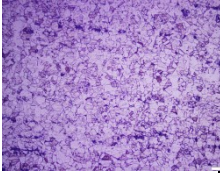
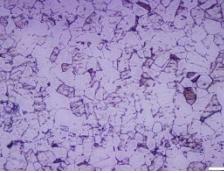
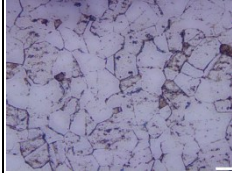
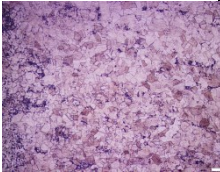
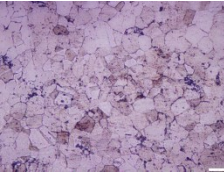
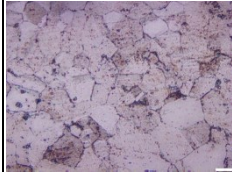
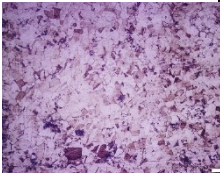
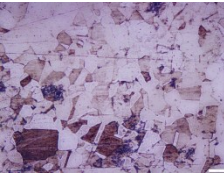
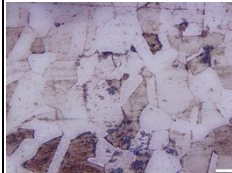
Setelah diketahui perbatasan antara *HAZ* dan *Base metal*, dilakukan pengamatan dengan perbesaran 200x secara memanjang kesamping sejauh 4 mm untuk melihat lebih jelas struktur mikro yang berada pada *HAZ*. Selanjutnya dipilih satu titik yang berjarak 0,3 mm dari *fusion* line untuk diamati secara

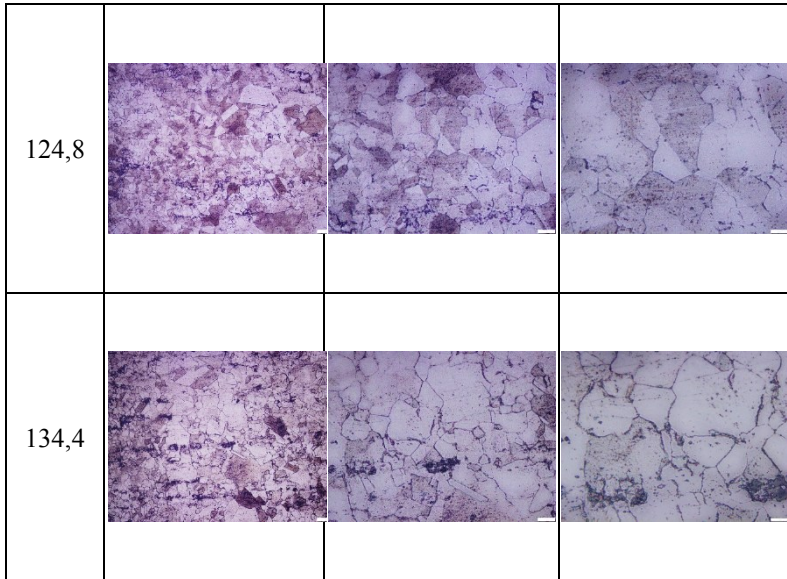
lebih detail dengan perbesaran 200x, 500x dan 100x. pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Secara Memanjang Dengan Perbesaran 200x

Heat Input (J/mm)	Struktur Mikro Perbesaran 200x
83,9	
118,8	
124,8	
134,4	

Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Dengan Perbesaran 200x, 500x dan 1000x

Heat Input (J/mm)	Perbesaran		
	200x	500x	1000x
BM			
83,9			
118,8			



Berdasarkan pengamatan pada tabel 4.4, didapatkan bahwa pemberian *heat input* pada proses pengelasan mengakibatkan butiran menjadi lebih besar. Hal ini diakibatkan karena adanya energi berupa panas yang diberikan kepada material, sehingga material mengalami perubahan berupa membesarnya butiran. Semakin meningkat *heat input* yang diberikan, energi yang didapatkan material semakin besar, sehingga struktur butiran akan semakin membesar.

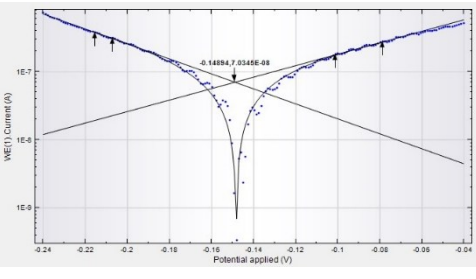
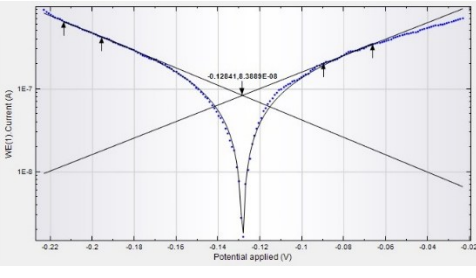
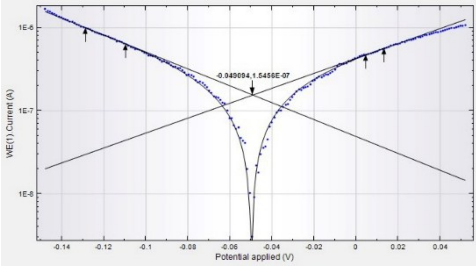
4.3 Pengujian Polarisasi Linier

Pengujian polarisasi linier menggunakan potensiostat tiga elektroda dilakukan pada lima spesimen, yaitu spesimen tanpa proses pengelasan dan spesimen yang telah diberi proses pengelasan. Dari masing-masing spesimen tersebut, pengujian dilakukan menggunakan larutan sodium hipoklorit (NaClO) dengan 4 konsentrasi berbeda, yaitu 250, 325, 425, dan 500 ppm sehingga didapatkan sebanyak 20 hasil pengujian. Dari pengujian

polarisasi didapatkan kurva polarisasi anodik dan katodik, sedangkan nilai E_{corr} dan I_{corr} belum didapatkan. Untuk mendapatkan nilai tersebut, dilakukan ekstrapolasi tafel. Hasil pengujian polarisasi linier yang telah dilakukan ekstrapolasi tafel dapat dilihat pada tabel 4.4 sampai tabel 4.7.

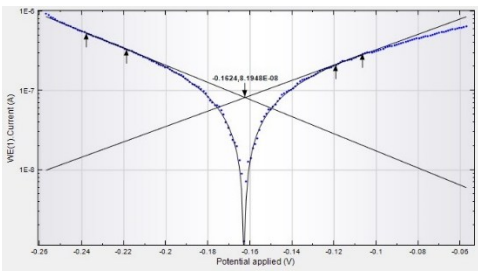
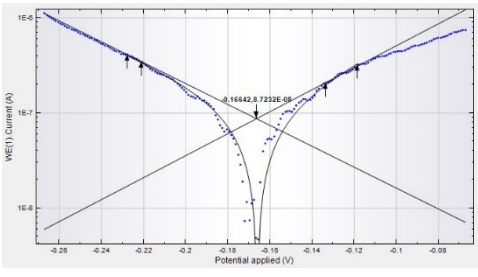
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 250 ppm

<i>Heat Input</i> (J/mm)	Kurva Polarisasi	E_{corr} (mV)	I_{corr} (nA/cm ²)
BM		-196,510	17,078
83,9		-67,388	39,187

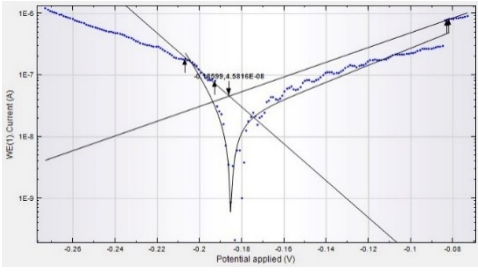
<p>118,8</p>	 <p>0.14894,72349E-08</p>	<p>-148,940</p>	<p>58,615</p>
<p>124,8</p>	 <p>0.12841,83889E-08</p>	<p>-128,410</p>	<p>58,785</p>
<p>134,4</p>	 <p>0.088994,15466E-07</p>	<p>-49,094</p>	<p>39,696</p>

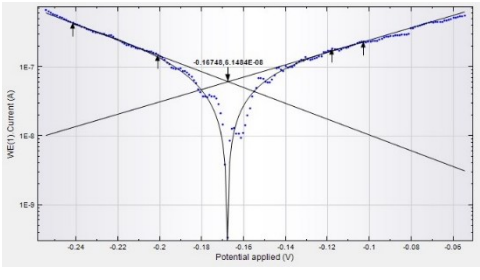
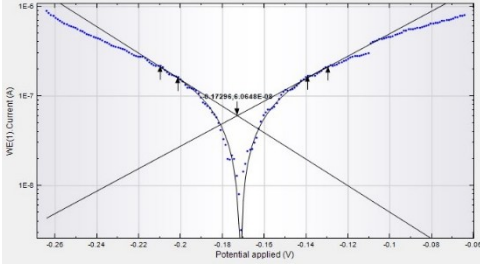
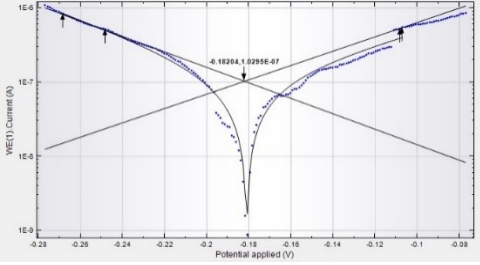
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO
Konsentrasi 325 ppm

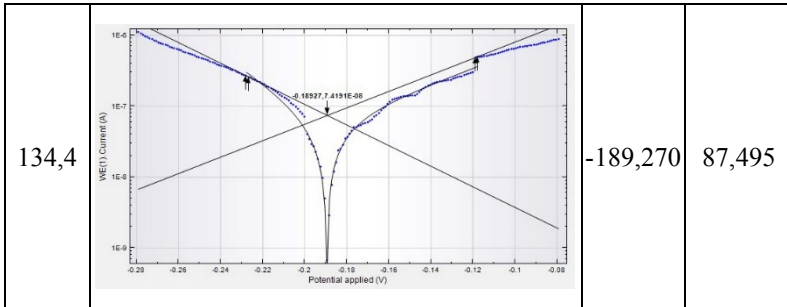
<i>Heat Input</i> (J/mm)	Kurva Polarisasi	<i>E_{corr}</i> (mV)	<i>I_{corr}</i> (nA/cm ²)
BM		-204,870	22,358
83,9		-161,080	59,770
118,8		-165,950	59,555

124,8		-162,400	62,875
134,4		-166,420	53,630

Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 425 ppm

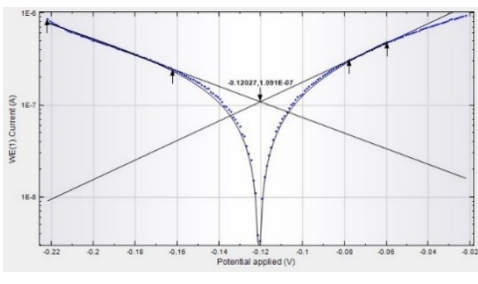
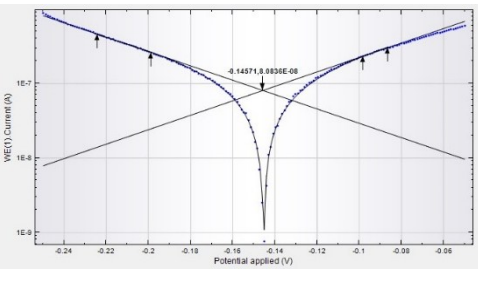
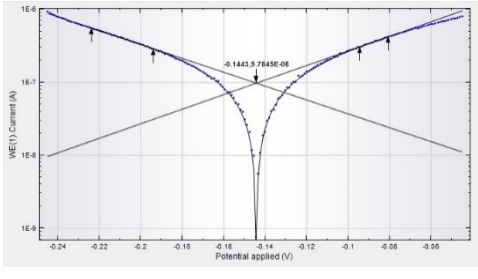
<i>Heat Input</i> (J/mm)	Kurva Polarisasi	<i>E_{corr}</i> (mV)	<i>I_{corr}</i> (nA/cm ²)
BM		-185,990	27,978

83,9	 <p>WE(I) Current (A)</p> <p>Potential applied (V)</p> <p>-0.167426, 1.6884E-06</p>	-167,480	54,275
118,8	 <p>WE(I) Current (A)</p> <p>Potential applied (V)</p> <p>-0.172994, 0.0644E-06</p>	-172,960	83,100
124,8	 <p>WE(I) Current (A)</p> <p>Potential applied (V)</p> <p>-0.182041, 0.0299E-07</p>	-182,040	50,525



Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Polarisasi Linier dengan NaClO Konsentrasi 500 ppm

<p>Heat Input (J/mm)</p>	<p>Kurva Polarisasi</p>	<p>E_{corr} (mV)</p>	<p>I_{corr} (nA/cm²)</p>
<p>BM</p>		<p>-197,820</p>	<p>29,817</p>
<p>83,9</p>		<p>-77,907</p>	<p>52,495</p>

118,8		-120,270	75,645
124,8		-145,710	61,790
134,4		-144,300	77,055

4.4 Perhitungan I_{corr} Pada Daerah Las

Setelah dilakukan pengujian potensiostat, didapatkan nilai I_{corr} spesimen. Nilai I_{corr} tersebut merupakan nilai I_{corr} total pada spesimen yang meliputi I_{corr} base metal (BM) dengan daerah las. Sedangkan untuk mendapatkan nilai I_{corr} pada daerah las, dilakukan pengukuran luas HAZ dengan bantuan mikroskop optik. Daerah HAZ dapat diketahui dengan melihat perbedaan besar butir antara BM yang memiliki butir lebih kecil dan HAZ

yang memiliki butir lebih besar. Hasil pengukuran luas daerah las dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Luas Daerah Las Pada Spesimen Pengujian Polarisasi Linier

Heat Input (J/mm)	Luas (cm ²)		
	(¹)Spesimen	(2)Daerah Las	(³)Base Metal (1)-(2)
83,9	2	0,534725	1,465275
118,8		0,634959	1,365041
124,8		0,680806	1,319194
134,4		0,763633	1,236367

Dari luas daerah las yang didapatkan, dilakukan perhitungan nilai I_{corr} . Perhitungan untuk mendapatkan nilai I_{corr} pada WZ adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan I_{corr} daerah las pada material yang diberikan proses pengelasan dengan *heat input* 83,9 J/mm serta diuji pada larutan NaClO konsentrasi 250 ppm.

$$I_{corr_{weld\ zone}} = \frac{I_{corr_{total}} - (I_{corr_{base\ metal}} \times Luas_{base\ metal})}{Luas_{daerah\ las}}$$

$$I_{corr_{weld\ zone}} = \frac{39,187 - (17,078 \times 1,465275)}{0,534725}$$

$$I_{corr_{weld\ zone}} = 26,487 \text{ nA/cm}^2$$

Sehingga didapatkan nilai I_{corr} pada daerah las yaitu 26,487 nA/cm², sedangkan untuk perhitungan nilai I_{corr} dari daerah las dengan *heat input* dan konsentrasi NaClO yang lain dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai I_{corr} Pada Daerah Las Dengan Berbagai *Heat Input* dan Konsentrasi NaClO

Konsentrasi NaClO (PPM)	Heat Input (J/mm)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)		
		(6)Rata-Rata	(7)Base Metal	(8)Daerah Las $\frac{(6) - (3 \times 7)}{(2)}$
250	83,9	$39,187 \times 10^{-3}$	$17,078 \times 10^{-3}$	$26,487 \times 10^{-3}$
	118,8	$58,615 \times 10^{-3}$		$55,599 \times 10^{-3}$
	124,8	$58,785 \times 10^{-3}$		$53,254 \times 10^{-3}$
	134,4	$39,696 \times 10^{-3}$		$24,333 \times 10^{-3}$
325	83,9	$59,770 \times 10^{-3}$	$22,358 \times 10^{-3}$	$50,511 \times 10^{-3}$
	118,8	$59,555 \times 10^{-3}$		$45,728 \times 10^{-3}$
	124,8	$62,875 \times 10^{-3}$		$49,031 \times 10^{-3}$
	134,4	$53,630 \times 10^{-3}$		$34,031 \times 10^{-3}$
425	83,9	$54,275 \times 10^{-3}$	$27,978 \times 10^{-3}$	$24,834 \times 10^{-3}$
	118,8	$83,100 \times 10^{-3}$		$70,727 \times 10^{-3}$
	124,8	$50,525 \times 10^{-3}$		$20,001 \times 10^{-3}$
	134,4	$87,495 \times 10^{-3}$		$69,279 \times 10^{-3}$
500	83,9	$52,495 \times 10^{-3}$	$29,817 \times 10^{-3}$	$16,466 \times 10^{-3}$
	118,8	$75,645 \times 10^{-3}$		$55,033 \times 10^{-3}$
	124,8	$61,790 \times 10^{-3}$		$32,984 \times 10^{-3}$
	134,4	$77,055 \times 10^{-3}$		$52,630 \times 10^{-3}$

4.5 Perhitungan Nilai Laju Korosi

Nilai I_{corr} dari daerah las yang telah didapatkan, selanjutnya digunakan untuk mencari nilai laju korosi. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai laju korosi adalah sebagai berikut:

$$CR = \frac{0.00327 \times I \times EW}{D} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

CR = *Corrosion Rate* (mm/tahun)

I = *Current Density* ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

D = *Density* (gram/ cm^3)

EW = *Equivalent Weight* (gram/mol)

Dari beberapa parameter yang dibutuhkan, telah diketahui nilai *current density* atau I_{corr} dan *density* atau massa jenis material. Nilai I_{corr} dapat dilihat pada tabel 4.9, dan nilai massa

jenis material adalah 8 gram/cm³. Sedangkan untuk *Equivalent Weight* (EW) didapatkan dengan menghitung berat komposisi utama material dengan persamaan 2.3 dan 2.4, yaitu sebagai berikut:

$$EW = \frac{1}{Neq} \dots\dots\dots 2.3$$

$$Neq = \sum \left(\frac{f_i \times n_i}{AW} \right) \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

f_i = fraksi atom i pada material

n_i = elektron valensi atom i

AW = berat atom

Komposisi utama material:

Fe = 65,35% ; Cr = 17% ; Ni = 12% ; Mo = 2%

$$\begin{aligned} Neq &= \sum \left(\frac{f_i \times n_i}{AW} \right) \\ &= (Neq_{Fe}) + (Neq_{Cr}) + (Neq_{Ni}) + (Neq_{Mo}) \\ &= \left(\frac{0,6535 \times 2}{55,84} \right) + \left(\frac{0,17 \times 3}{51,99} \right) + \left(\frac{0,12 \times 2}{58,69} \right) + \left(\frac{0,02 \times 4}{95,96} \right) \\ &= 0,0381 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EW &= \frac{1}{Neq} \\ &= \frac{1}{0,0381} \\ &= 26,247 \text{ gram/mol} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai berat ekivalen, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.2. Contoh perhitungan berikut menggunakan I_{corr} daerah las pada material yang diberikan proses pengelasan dengan *heat input* 83,9 J/mm serta diuji pada larutan NaClO konsentrasi 250 ppm:

$$\begin{aligned} CR &= \frac{0,00327 \times 26,487 \times 10^{-3} \times 26,247}{8} \\ CR &= 2,8164 \times 10^{-4} \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

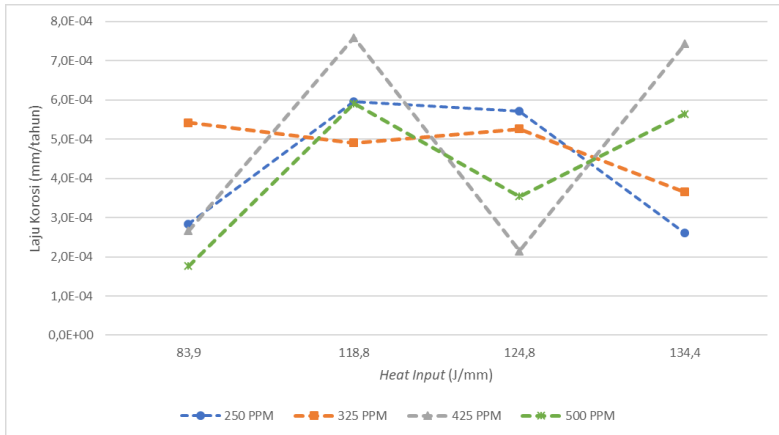
Sehingga didapatkan nilai laju korosi pada daerah las yaitu $2,8164 \times 10^{-4}$ mm/tahun. Sedangkan untuk perhitungan nilai laju korosi dari daerah las pada base metal dan *heat input*, serta konsentrasi NaClO yang lain dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai Laju Korosi Pada *Base Metal* dan Daerah Las

Konsentrasi NaClO (PPM)	Heat Input (J/mm)	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{mm}^2$)	Laju Korosi (mm/tahun)
250	0	$17,078 \times 10^{-3}$	$1,8322 \times 10^{-4}$
	83,9	$26,487 \times 10^{-3}$	$2,8416 \times 10^{-4}$
	118,8	$55,599 \times 10^{-3}$	$5,9649 \times 10^{-4}$
	124,8	$53,254 \times 10^{-3}$	$5,7134 \times 10^{-4}$
	134,4	$24,333 \times 10^{-3}$	$2,6105 \times 10^{-4}$
325	0	$22,358 \times 10^{-3}$	$2,3987 \times 10^{-4}$
	83,9	$50,511 \times 10^{-3}$	$5,4190 \times 10^{-4}$
	118,8	$45,728 \times 10^{-3}$	$4,9059 \times 10^{-4}$
	124,8	$49,031 \times 10^{-3}$	$5,2603 \times 10^{-4}$
	134,4	$34,031 \times 10^{-3}$	$3,6510 \times 10^{-4}$
425	0	$27,978 \times 10^{-3}$	$3,1989 \times 10^{-4}$
	83,9	$24,834 \times 10^{-3}$	$2,6643 \times 10^{-4}$
	118,8	$70,727 \times 10^{-3}$	$7,5879 \times 10^{-4}$
	124,8	$20,001 \times 10^{-3}$	$2,1458 \times 10^{-4}$
	134,4	$69,279 \times 10^{-3}$	$7,4326 \times 10^{-4}$
500	0	$29,817 \times 10^{-3}$	$4,6997 \times 10^{-4}$
	83,9	$16,466 \times 10^{-3}$	$1,7666 \times 10^{-4}$
	118,8	$55,033 \times 10^{-3}$	$5,9042 \times 10^{-4}$
	124,8	$32,984 \times 10^{-3}$	$3,5387 \times 10^{-4}$
	134,4	$52,630 \times 10^{-3}$	$5,6464 \times 10^{-4}$

4.6 Pengaruh *Heat Input* Terhadap Laju Korosi Daerah Las Pada Larutan NaClO

Berdasarkan tabel 4.11 didapatkan nilai laju korosi untuk daerah las pada setiap konsentrasi larutan NaClO. Hubungan nilai *heat input* terhadap nilai laju korosi daerah las pada konsentrasi NaClO berbedaditunjukkan pada gambar 4.1

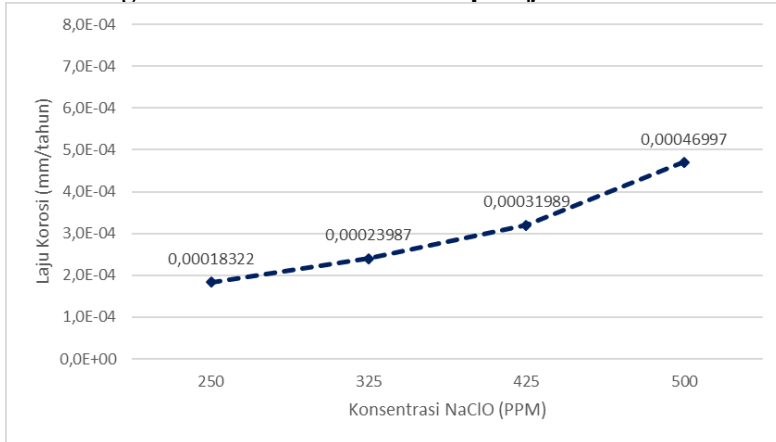


Gambar 4.1 Hubungan Nilai *Heat Input* Terhadap Nilai Laju Korosi Daerah Las Pada Konsentrasi NaClO Berbeda

Berdasarkan gambar 4.1 didapatkan bahwa *heat input* mempengaruhi nilai laju korosi material. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai laju korosi pada daerah las yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan laju korosi pada *base metal*. Peningkatan nilai laju korosi pada daerah las dapat terjadi karena daerah tersebut mengalami pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan. Proses pemanasan dan pendinginan tersebut mengakibatkan kondisi yang tidak ekuilibrium sehingga terdapat energi bebas yang lebih besar bila dibandingkan energi bebas pada *base metal*. Energi bebas yang lebih besar cenderung untuk lebih mudah bereaksi supaya mencapai kondisi ekuilibriumnya, ditunjukkan dengan peningkatan laju korosi. Semakin meningkat *heat input*, daerah las yang terbentuk akan semakin luas, sehingga mengakibatkan daerah yang tidak berada pada kondisi ekuilibrium semakin luas. Semakin luas daerah yang tidak ekuilibrium, maka semakin besar energi bebas yang tersimpan

pada material dan menyebabkan meningkatnya laju korosi material.

4.7 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi

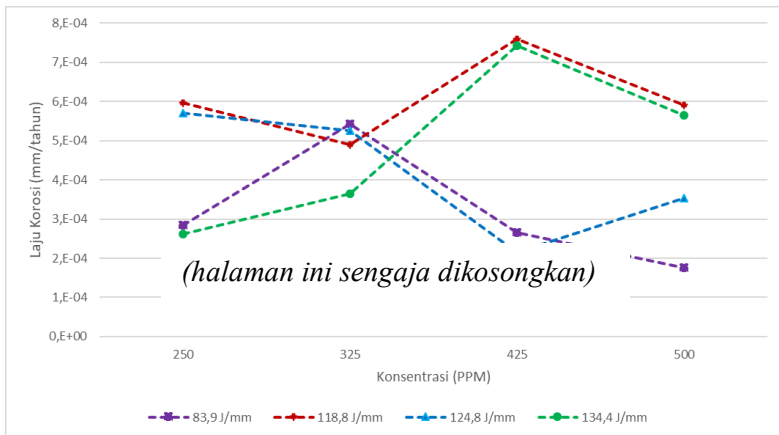


Gambar 4.2 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Pada *Base Metal*

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai laju korosi pada *base metal* meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaClO. Hal tersebut telah sesuai dengan pernyataan pada *ASM Handbook No. 13A* mengenai perilaku NaClO, bahwa seiring meningkatnya konsentrasi, NaClO akan semakin mudah untuk terurai, sehingga menyebabkan laju korosi semakin meningkat.

Pada gambar 4.3 ditunjukkan bahwa konsentrasi NaClO mempengaruhi nilai laju korosi material yang telah dilakukan proses pengelasan. Dari gambar yang telah ditampilkan, didapatkan bahwa material yang memiliki pola laju korosi mendekati dengan pola laju korosi pada *base metal* adalah material dengan *heat input* 134,4 J/mm, yaitu mengalami peningkatan nilai laju korosi seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Untuk *heat input* 83,9 J/mm, nilai laju korosi meningkat pada 250 ppm ke 350 ppm, kemudian mengalami

penurunan. Untuk *heat input* 118,8 J/mm, nilai laju korosi mengalami perubahan yang fluktuatif seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Dan untuk *heat input* 124,8 J/mm, nilai laju korosi mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Nilai laju korosi yang tidak meningkat pada material dengan *heat input* 83,9 J/mm, 118,8 J/mm, dan 124,8 J/mm dapat diakibatkan karena pengaruh konsentrasi terhadap nilai laju korosi, dimana dapat terjadi pasivasi pada material seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan.



Gambar 4.3 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Daerah Las

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Seiring meningkatnya *heat input* yang diberikan, daerah las yang terbentuk semakin luas dan struktur butir yang dihasilkan semakin besar.
2. Laju korosi daerah las memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan *base metal*.
3. Laju korosi *base metal* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaClO.
4. Peningkatan konsentrasi NaClO menyebabkan laju korosi pada material dengan *heat input* 134,4, J/mm semakin meningkat, sedangkan pada material dengan *heat input* 83,9 J/mm dan 124,8 J/mm mengalami penurunan.

5.2 Saran

Supaya hasil penelitian tentang fenomena korosi yang terjadi pada proses pengelasan bisa lebih lengkap, maka saran untuk peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan menjaga proses pengelasan agar nilai kecepatan pengelasan tetap konstan.
2. Pengujian laju korosi menggunakan rentang konsentrasi NaClO 250-500 ppm agar mendapatkan data yang lebih akurat untuk melihat karakteristik larutan NaClO.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

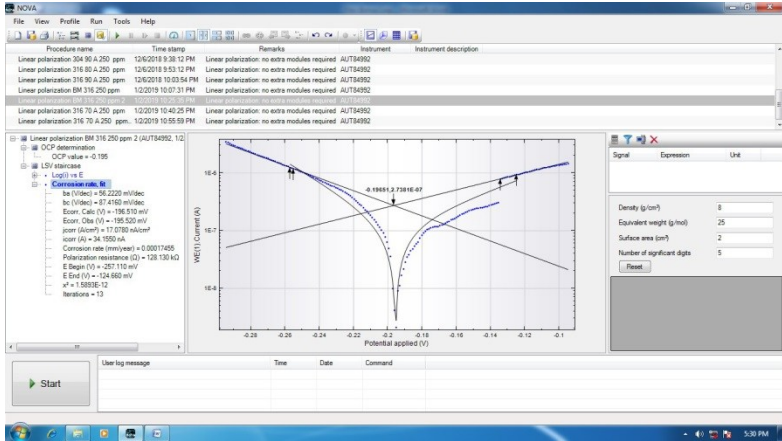
DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kou, *Welding Metallurgy*, John Wiley and Sons, 2003.
- [2] J. Lippold dan K. Damian, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, John Wiley and Sons, 2005.
- [3] L. Jeffus, *Welding Principles and Applications*, New York: Delmar Cengage Learning, 2011.
- [4] M. Fontana, *Corrosion Engineering*, New York: McGraw and Hill Book Co, 1987.
- [5] D. A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, New Jersey: Prentice Hall Inc, 1996.
- [6] M. Autolab, *NOVA Manual Book*, Metrohm Autolab, 2011.
- [7] S. D. Cramer dan J. Bernard S. Covino, *ASM Handbook Volume 13A: Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, Ohio: ASM International, 2003.
- [8] M. Kartaman, R. Kriswarini dan D. Anggraini, “Studi Sensitisasi Baja Tahan Karat Tipe 316 Sebagai Bahan Kelongsong dan Struktur Fast Breeder Reactors,” 2014.
- [9] G. Nugroho, “Pengaruh Pengerolan Dingin dan Pengelasan GTAW Terhadap Kerentanan Korosi Batas Butir Baja AISI 316L,” 2017.
- [10] M. Dadfar, M. Fathi, F. Karimzadeh dan A. Saatchi, “Effect of TIG Welding on Corrosion Behavior of 316L Stainless Steel,” *Materials Letters*, 2007.
- [11] G. F. V. Voort, *Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels*, ASM International, 1991.

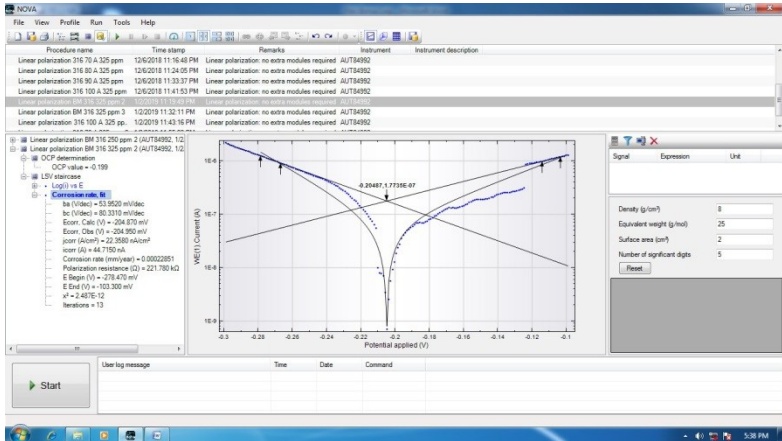
- [12] J. W. E. Society, *Advanced Welding and Joining Technologies*, Tokyo: Japan Welding Society, 2006.
- [13] J. Bruno, “Chemical Thermodynamics: Gibbs Free Energy,” Clutch Learning, Inc., [Online]. Available: <https://www.clutchprep.com/analytical-chemistry/chemical-thermodynamics-gibbs-free-energy>. [Diakses 24 January 2019].

LAMPIRAN

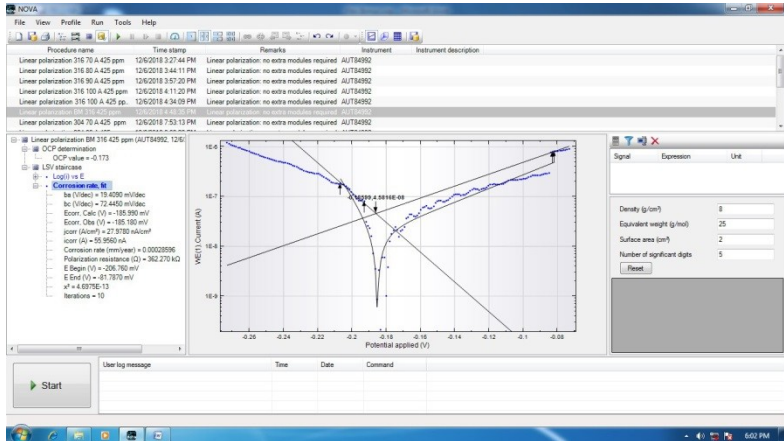
Pengujian Potensiostat *Base Metal* Pada NaClO Konsentrasi 250 PPM



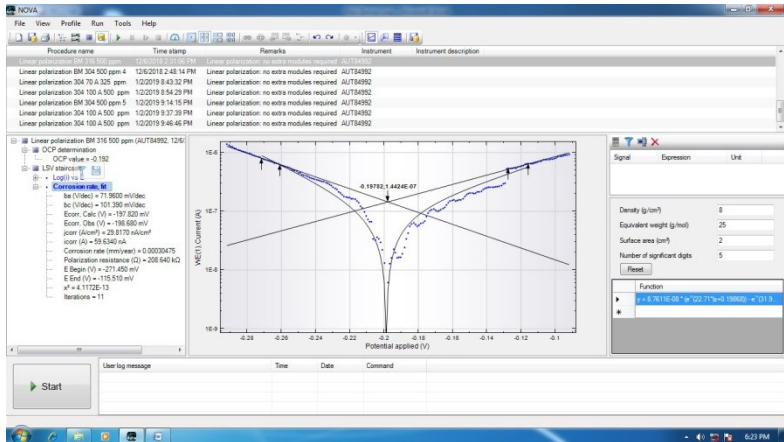
Pengujian Potensiostat *Base Metal* Pada NaClO Konsentrasi 325 PPM



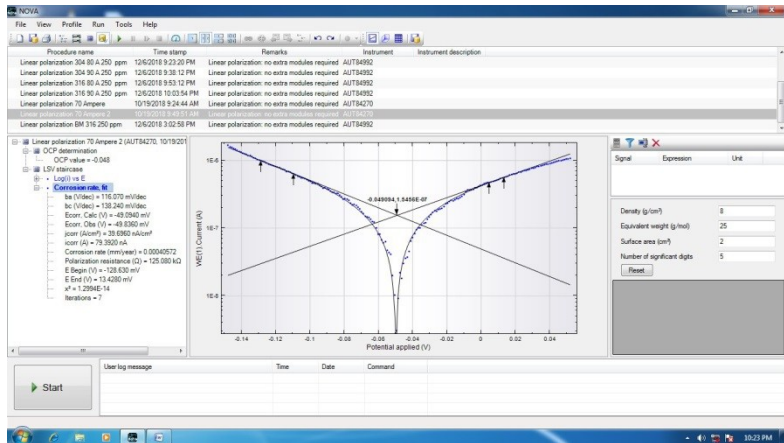
Pengujian Potensiostat *Base Metal* Pada NaClO Konsentrasi 425 PPM



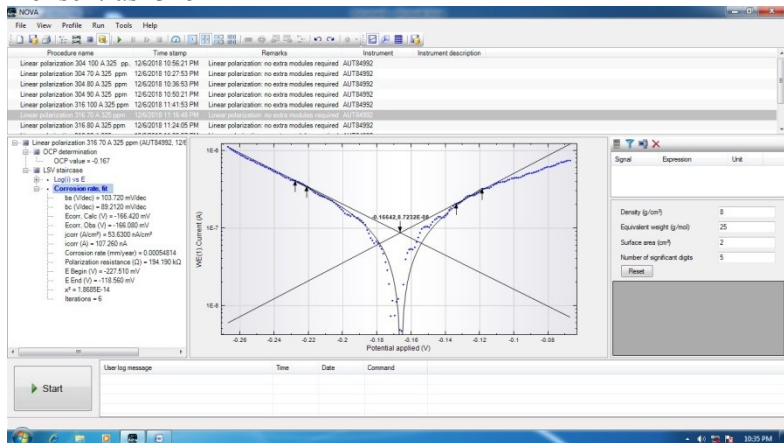
Pengujian Potensiostat *Base Metal* Pada NaClO Konsentrasi 500 PPM



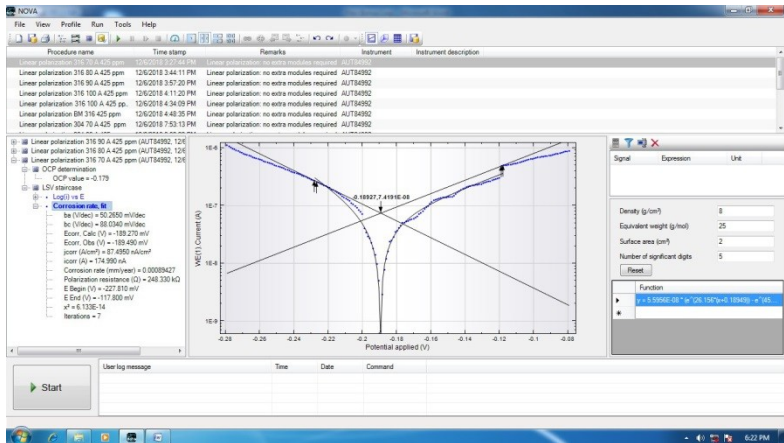
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 70A Pada NaClO Konsentrasi 250 PPM



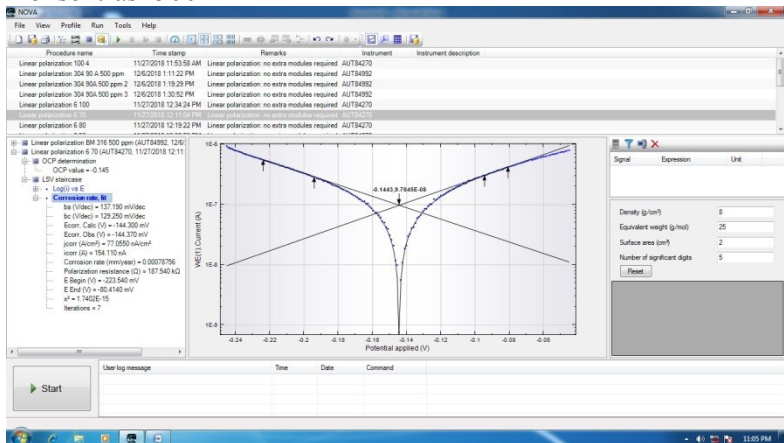
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 70A Pada NaClO Konsentrasi 325 PPM



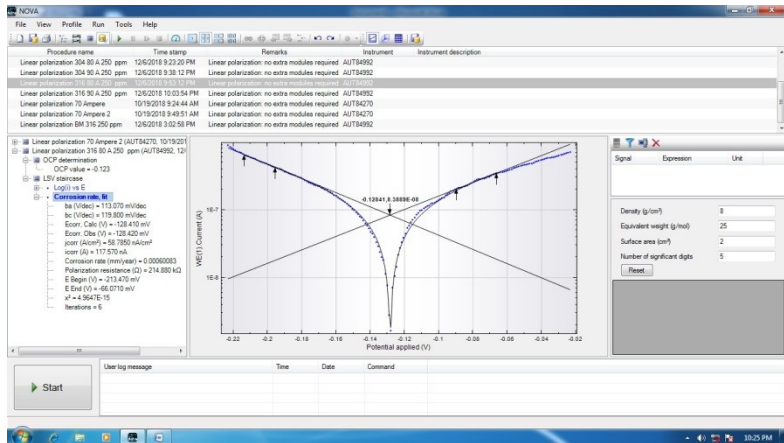
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 70A Pada NaClO Konsentrasi 425 PPM



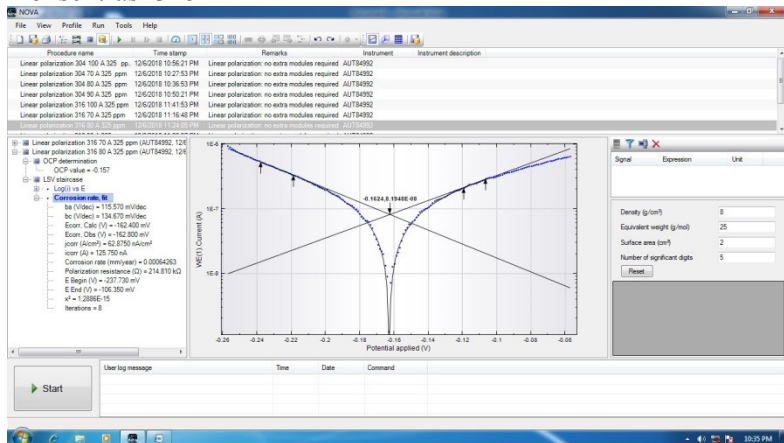
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 70A Pada NaClO Konsentrasi 500 PPM



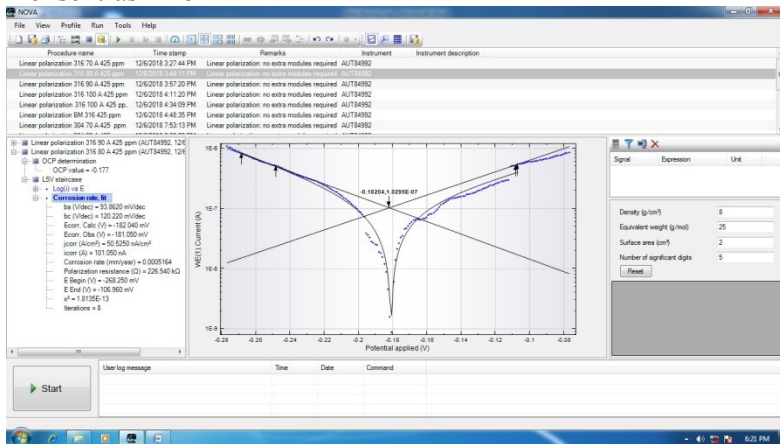
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 80A Pada NaClO Konsentrasi 250 PPM



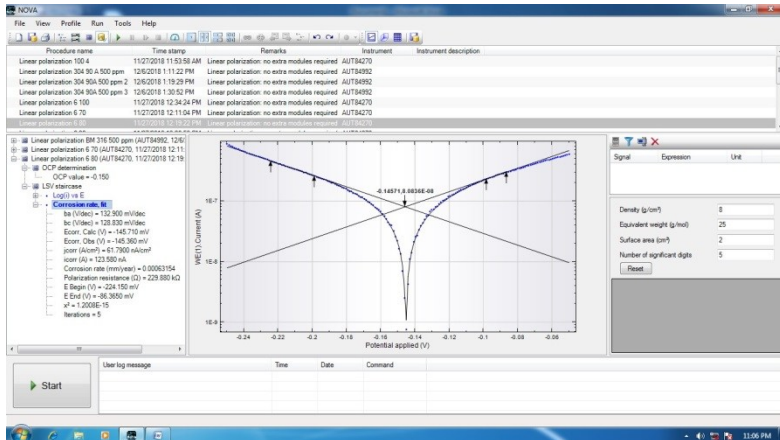
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 80A Pada NaClO Konsentrasi 325 PPM



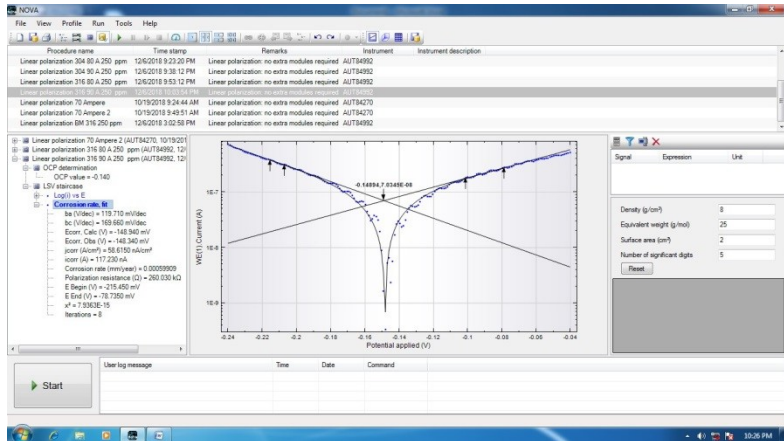
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 80A Pada NaClO Konsentrasi 425 PPM



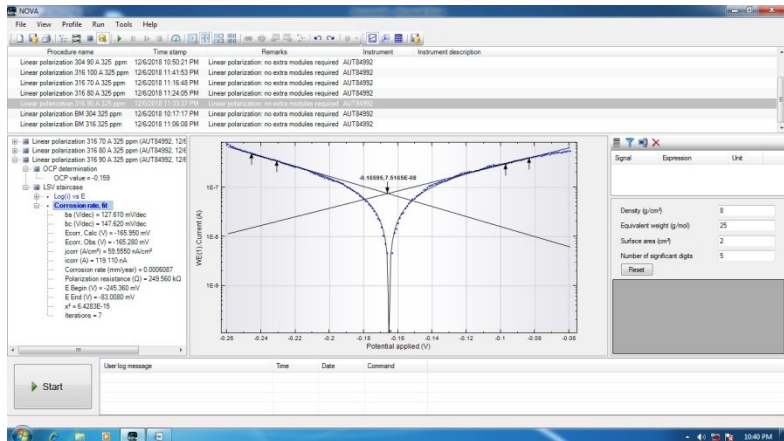
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 80A Pada NaClO Konsentrasi 500 PPM



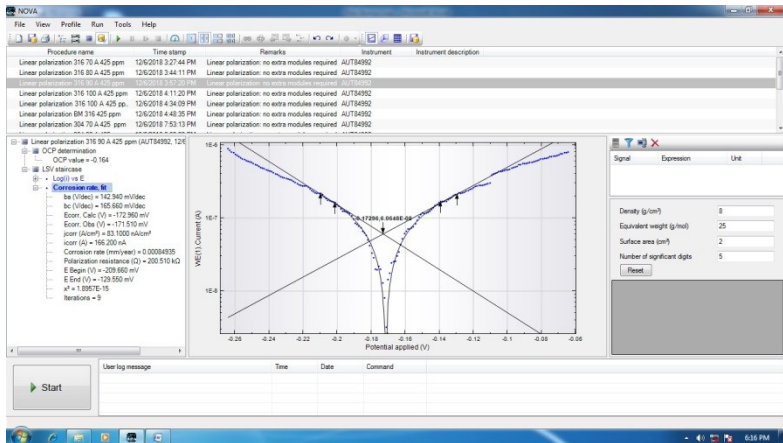
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 90A Pada NaClO Konsentrasi 250 PPM



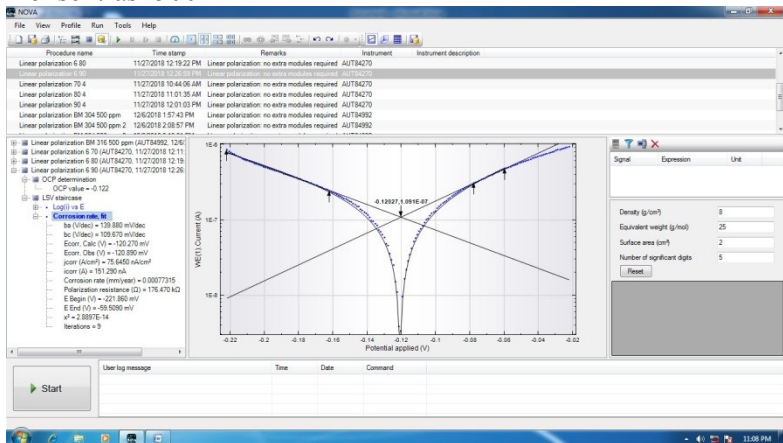
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 90A Pada NaClO Konsentrasi 325 PPM



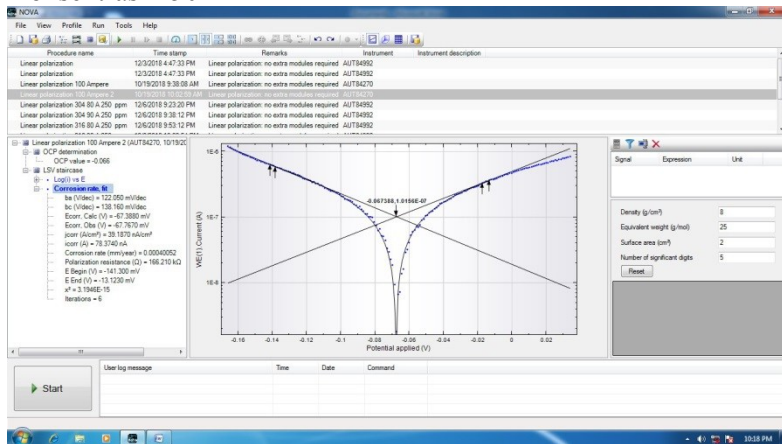
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 90A Pada NaClO Konsentrasi 425 PPM



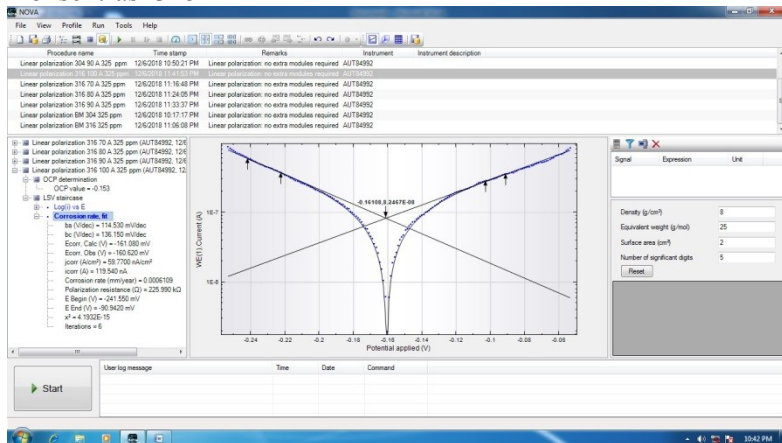
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 90A Pada NaClO Konsentrasi 500 PPM



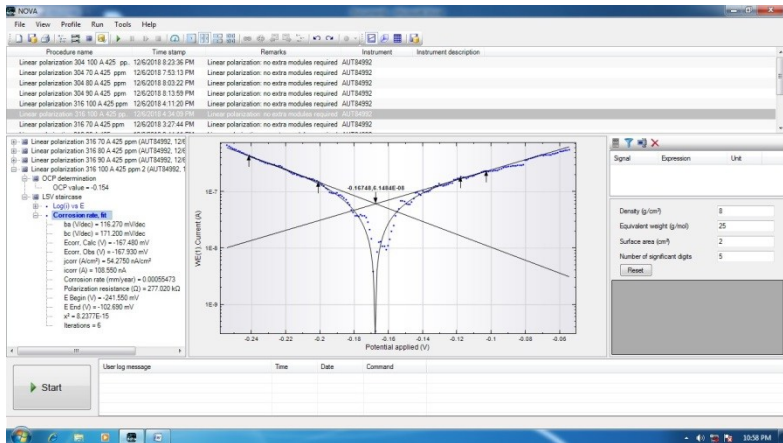
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 100A Pada NaClO Konsentrasi 250 PPM



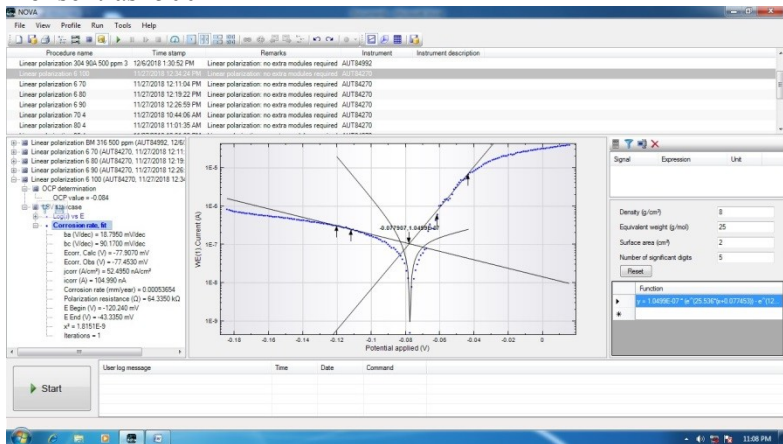
Pengujian Potensiostat Pengelasan Arus 100A Pada NaClO Konsentrasi 325 PPM



Pengujian Potensioostat Pengelasan Arus 100A Pada NaClO Konsentrasi 425 PPM



Pengujian Potensioostat Pengelasan Arus 100A Pada NaClO Konsentrasi 500 PPM



BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Achmad Fichri Rachmadhani, lahir di Sidoarjo, 02 Desember 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Sunarto dan Umiarsih. Pendidikan formal penulis dimulai tahun 2002 di SD Negeri Pucang IV Sidoarjo dan lulus pada tahun 2008, dilanjutkan di SMP Negeri 1 Sidoarjo. Setelah lulus SMP pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan SMAnya di SMA Negeri 1 Sidoarjo. Setelah lulus SMA pada tahun 2014, penulis memutuskan melanjutkan studinya di jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif dalam dunia kemahasiswaan. Menjabat sebagai pengurus Mesin Music Club selama dua periode kepengurusan. Kepengurusan periode pertama menjabat sebagai staff divisi Internal, dan periode kedua menjabat sebagai staff ahli divisi *Human Research Development* (HRD). Penulis juga aktif dalam kepanitiaan dan menjadi asisten lab Laboratorium Metalurgi. Atas kehendak Allah SWT pada tahun 2019 dapat menyelesaikan studinya di Teknik Mesin ITS. Untuk informasi dan masukan perihal Tugas Akhir, dapat menghubungi penulis melalui email fikirirachmadhani@gmail.com