



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *HEAT INPUT* PENGELASAN GTAW DAN KONSENTRASI NaClO TERHADAP LAJU KOROSI *STAINLESS STEEL 304*

NURFITRI OCTAVIANA
NRP 0211144000164

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

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *HEAT*
INPUT PENGELASAN GTAW DAN
KONSENTRASI NaClO TERHADAP LAJU
KOROSI *STAINLESS STEEL 304***

**NURFITRI OCTAVIANA
NRP 02111440000164**

**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

**STUDY EXPERIMENT ABOUT THE EFFECT
OF HEAT INPUT GTAW WELDING AND
NaClO CONCENTRATION TOWARDS
CORROSION RATE ON STAINLESS STEEL
304**

**NURFITRI OCTAVIANA
NRP 02111440000164**

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

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

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *HEAT INPUT*
PENGELASAN GTAW DAN KONSENTRASI NaClO
TERHADAP LAJU KOROSI *STAINLESS STEEL 304***

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:

NURFITRI OCTAVIANA

NRP. 02111440000164

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**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *HEAT INPUT*
PENGELASAN GTAW DAN KONSENTRASI NaClO
TERHADAP LAJU KOROSI STAINLESS STEEL 304**

Nama Mahasiswa : Nurfitri Octaviana
NRP : 2114100164
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

ABSTRAK

Stainless Steel tipe 304 memiliki kemampuan las dan ketahanan korosi yang baik. Pengaplikasian material ini salah satunya pada industri pengolahan air bersih. Pada industri pengolahan air bersih, proses pemurnian air dilakukan dengan menggunakan senyawa sodium hipoklorit (NaClO). Pemanfaatan senyawa ini memiliki dampak tambahan dimana ion hipoklorit (ClO⁻) dapat menimbulkan reaksi antara ion dengan pipa yang akan meningkatkan kerentanan terhadap korosi. Dalam pengaplikasian stainless steel tersebut, proses pengelasan sering dipilih untuk metode penyambungan. Adanya pengaruh heat input pengelasan akan mempengaruhi ketahanan korosi pada stainless steel 304.

Penelitian dilakukan untuk mempelajari pengaruh heat input pengelasan GTAW dengan menggunakan variasi arus dan konsentrasi NaClO terhadap laju korosi pada stainless steel 304. Untuk pengujian kecenderungan korosi digunakan potensiostat dengan larutan elektrolit NaClO konsentrasi 250 ppm, 325 ppm, 425 ppm, dan 500 ppm. Hasil dari pengujian berupa kurva polarisasi, dimana untuk mendapat hasil dari kurva dilakukan ekstrapolasi tafel. Setelah melakukan ekstrapolasi tafel, didapatkan nilai I_{corr}, E_{corr}, dan laju korosi dari hasil pengujian untuk spesimen uji (base metal, weld metal, dan HAZ). Selanjutnya, dilakukan analisa laju korosi daerah las (weld metal

dan HAZ) terhadap heat input serta analisa laju korosi daerah las terhadap larutan NaClO.

Berdasarkan penelitian didapatkan hasil bahwa semakin meningkat nilai heat input, maka semakin besar butir dan luasan daerah las yang terbentuk. Laju korosi yang terjadi pada daerah las memiliki nilai lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai laju korosi pada base metal. Laju korosi pada base metal mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi NaClO. Peningkatan konsentrasi NaClO mengakibatkan peningkatan laju korosi pada material dengan heat input 105,6 J/mm, sedangkan untuk material dengan heat input 118,8 J/mm dan 147,6 J/mm mengalami penurunan laju korosi pada peningkatan konsentrasi NaClO.

Kata kunci : GTAW, Heat Input, Laju Korosi, NaClO, Stainless steel 304

**STUDY EXPERIMENT ABOUT THE EFFECT OF HEAT
INPUT GTAW WELDING AND NaClO
CONCENTRATION TOWARDS CORROSION RATE ON
STAINLESS STEEL**

Student's Name : Nurfitri Octaviana
NRP : 2114100164
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Dr. Ir. H. C. Kis Agustín, DEA

ABSTRACT

Stainless Steel 304 has good weldability and corrosion resistance. One of many uses of this material is used in cleaning water industries. On the processing industry of clean water, process water purification is carried out using the compound sodium hypochlorite (NaClO). The use of this compound has a side effect which hypochlorite ion (ClO^-) could give rise to a reaction between ion and the pipe that will increased the vulnerability of its corrosion resistance. In the application of stainless steel, welding processes are chosen for connecting each joint. The presence of heat input would affect the corrosion resistance of stainless steel 304

This research was done to study the effect of heat input in gas tungsten arc welding with various current and NaClO concentration towards corrosion rate in stainless steel 304. For testing corrosion tendency used potentiostat with an electrolyte solution, NaClO 250 ppm concentration, 325 425 ppm, ppm, and 500 ppm.

The results from this research are shown in the polarisation curve, where to get this curve to need a tafel extrapolation. After performing the extrapolation of tafel, the value of I_{corr} , E_{corr} , along with the rate of corrosion of the test results are obtained for the test specimen (base metal, weld metal, HAZ) Then, the corrosion rate of welding areas (weld metal and HAZ) are

analyzed towards heat input and the corrosion rate of the welding areas are analyzed too against NaClO solution.

Based on the research results that are obtained by increasing the value of heat input, then the greater the grain and land coverage area of las formed. Corrosion rate that happens at welding area in average has a higher value compared to corrosion rate at base metal. Corrosion rate on base metal increased due to the increasing of NaClO concentration. The increasing of NaClO concentrate causing the enhancement of corrosion rate in materials with heat input 105,6 J/mm, while for materials with heat input 118,8 J/mm and 147,6 J/mm as for the material with a heat input of 118.8 mm and J/J/147.6 mm has decreased the rate of corrosion.

keywords: GTAW, Heat Input, Corrosion Rate, NaClO, Stainless steel 304

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan petunjuk sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Tak lupa sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Keluarga penulis, **Bapak Dian Yuwiadi, Mama Sawitri, Adik Nurfadhiel Muharam** serta keluarga besar penulis atas segala kasih sayang, dukungan moral dan finansial, serta doa yang selalu dipanjatkan untuk penulis.
2. Ibu **Dr. Ir. H.C Kis Agustin, DEA** selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan tidak pernah berhenti untuk memberi ilmu, arahan, bimbingan, serta motivasi yang tidak ternilai sehingga Penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa bimbingan dan kesabaran ibu, penulis yakin tugas akhir ini tidak akan selesai pada waktu yang tepat.
3. Bapak **Dr. Eng. Sutikno, ST, MT, PhD, Indra Sidharta, ST, M.Sc, Ir. Hari Subiyanto, M.Sc, dan Suwarno, ST, M.Sc** selaku dosen penguji tugas akhir atas semua kritik dan saran bagi penulis sehingga penulisan tugas akhir ini menjadi lebih baik
4. Ibu **Aida Annisa S.T, MT** selaku dosen wali penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin FTI-ITS, berkat bantuannya penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik
5. **Pak Mantri, Pak Gatot, Mas Agus, Pak Budi, Mas Luki, Mbak Sri, Mas Reza** serta karyawan departemen

- Teknik Mesin lainnya, terima kasih atas bantuannya selama pengerjaan tugas akhir ini
6. **Achmad Fichri Rachmadhani** sebagai partner yang telah membantu, menemani, serta telah sabar bersama penulis selama proses penulisan tugas akhir
 7. **Angkatan M57** Teknik Mesin ITS yang telah menemani berjuang penulis dari awal hingga akhir perkuliahan
 8. **Keluarga Laboratorium Metalurgi** yang telah menemani dan memberi dukungan selama penulis menuntut ilmu dan mengerjakan tugas akhir
 9. **Indah, Lanissa, Longgomita, Carrissa, Corrie** yang telah menemani dan menyemangati penulis dari sebelum perkuliahan hingga tugas akhir ini selesai
 10. **Teman Omdo, Tya, Rachma, Alik, Mukor, Ishlah** yang telah menemani dan menghibur penulis selama kuliah hingga penyelesaian tugas akhir ini
 11. Semua pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung selama proses penyelesaian tugas akhir ini

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2019
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Austenitic Stainless Steel</i>	3
2.2 Proses Pengelasan.....	3
2.2.1 Daerah Pengelasan.....	4
2.2.2 Siklus Termal Las.....	4
2.2.3 Parameter Pengelasan	5
2.2.4 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	8
2.3 Korosi.....	9
2.3.1 Sodium Hipoklorit (NaClO)	12
2.3.2 Laju Korosi.....	13
2.3.3 Polarisasi	15

2.3.4	<i>Tafel Extrapolation</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Alur Penelitian.....	19
3.2	Spesimen Uji	20
3.3	Peralatan Penelitian	20
3.3.1	Peralatan Potong.....	20
3.3.2	Mesin Grinding dan Polishing	20
3.3.3	Peralatan Pengamatan Struktur Mikro	20
3.3.4	Mesin Las GTAW	21
3.3.5	Peralatan Uji Laju Korosi (Potensiostat).....	21
3.4	Pelaksanaan Penelitian.....	22
3.4.1	Persiapan	22
3.4.2	Proses Pengelasan.....	23
3.4.3	Parameter Pengelasan	23
3.4.4	Proses Pengujian.....	24
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 33		
4.1	Pengelasan	33
4.1.1	Heat Input.....	33
4.1.2	Pengamatan Mikro Hasil Pengelasan.....	34
4.2	Pengujian Potensiostat	38
4.2.1	Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 250 ppm.....	39
4.2.2	Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 325 ppm.....	40
4.2.3	Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 425 ppm.....	41

4.2.4	Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 500 ppm.....	42
4.2.5	Perhitungan <i>Icorr</i> dan Laju Korosi pada Daerah Las.....	43
4.2.6	Pengaruh <i>Heat Input</i> Terhadap Laju Korosi Daerah Las Pada Larutan NaClO	44
4.2.7	Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
Daftar Pustaka.....		51
Lampiran.....		53
BIODATA PENULIS		63

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang Daerah Las [2].....	4
Gambar 2.2 (a) Diagram Fasa, (b) Siklus Termal Pada HAZ , (c) Perubahan Ukuran Butir Pada Hasil Pengelasan [3].....	5
Gambar 2.3 Heat distribution antara elektroda tungsten dengan tipe arus pengelasan [4].....	6
Gambar 2.4 Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Laju Pendinginan [1]	6
Gambar 2.5 Pengaruh Heat Input Terhadap (a) Lebar HAZ dan (b) Besar Butir Daerah HAZ [1].....	8
Gambar 2.6 Skema Proses Pengelasan GTAW [2].....	8
Gambar 2.7 (a) Analogi Perubahan Energi Bebas, (b) Efek Reaction Path Terhadap Kecepatan Reaksi	10
Gambar 2.8 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi	11
Gambar 2.9 Kurva Polarisasi [8]	16
Gambar 2.10 Tafel Extrapolation Untuk Menunjukkan Kurva Arus Polarisasi Katodik Pada Logam yang Terkorosi [6].....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Mikroskop Optik dan Komputer	21
Gambar 3.3 Alat Uji Kecenderungan Laju Korosi: (a) Potensiostat, (b) Rangkaian Pengujian	22
Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Pengelasan	22
Gambar 3.5 (a) Dimensi Spesimen Uji Potensiostat, (b) Spesimen Uji Potensiostat	25
Gambar 3.6 Spesimen uji yang sudah disambungkan dengan kawat tembaga dan telah dimounting menggunakan resin.....	25
Gambar 3.7 Rangkaian Kabel Untuk Kalibrasi Pada Dummycell	26

Gambar 3.8 Rangkaian Kabel Elektroda Pada Penyangga.....	27
Gambar 3.9 Tampilan Opsi Linear Polarization	28
Gambar 3.10 Tampilan Opsi OCP Determination	28
Gambar 3.11 Tampilan Opsi LSC Staircase	29
Gambar 3.12 Kurva Polarisasi Hasil Pengujian	29
Gambar 3.13 Garis Singgung dan Titik Potong Pada Kurva Polarisasi	30
Gambar 3.14 Tampilan Input Untuk Pengolahan Data	30
Gambar 3.15 Tampilan Output Hasil Pengolahan Data	31
Gambar 4.1 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Pada Base Metal	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian-penelitian Terdahulu	1
Tabel 2.1 Tipe Elektroda Tungsten dan Identifikasinya [4]	7
Tabel 2.2 Laju korosi material pada larutan sodium hipoklorit [7]	13
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Stainless Steel 304 [9]	20
Tabel 3.2 Tabel 3. 1 Komposisi Kimia E308L [10].....	21
Tabel 3.3 Parameter Proses Pengelasan.....	23
Tabel 4.1 Hasil Pengelasan	34
Tabel 4.2 Lokasi Pengambilan Data Struktur Mikro [50x].....	35
Tabel 4.3 Lokasi Pengambilan Data Struktur Mikro [500x].....	36
Tabel 4.4 Tabel 4. 1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	37
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 250 ppm	39
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 325 ppm	40
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 425 ppm	41
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 500 ppm	42
Tabel 4.9 Perhitungan Icorr Pada Daerah Las	44
Tabel 4.10 Hubungan <i>Heat Input</i> Terhadap Laju Korosi Daerah Las Pada Larutan NaClO.....	45
Tabel 4.11 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Daerah Las	48

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stainless steel merupakan salah satu jenis baja paduan yang digunakan dalam berbagai macam industri. Salah satu jenis *stainless steel* yang sering digunakan adalah *Austenitic Stainless Steel*, khususnya tipe 304 yang memiliki kemampuan las dan ketahanan korosi yang baik. Pengaplikasian material ini salah satunya dalam industri pengolahan air. Dalam proses pengolahan air bersih, proses pemurnian air dilakukan dengan cara pemberian senyawa sodium hipoklorit (NaClO). Adanya ion hipoklorit (ClO^-) pada senyawa tersebut dapat menyebabkan proses pengolahan menjadi tidak optimal karena terjadi reaksi antara ion hipoklorit dengan pipa penyaluran air sehingga dapat menyebabkan terjadinya korosi.

Dalam pengaplikasian *stainless steel*, proses pengelasan sering dipilih untuk metode penyambungan. Adanya pengaruh *heat input* pengelasan akan mempengaruhi ketahanan korosi dari *stainless steel*.

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai pengaruh pengelasan terhadap perilaku korosi pada *stainless steel* seperti ditunjukkan pada tabel 1.1 berikut:

Tabel 1.1 Penelitian-penelitian Terdahulu

Tahun	Penulis	Penelitian	Hasil
2014	C.M.B Martins	Analisa <i>water supply pipe stainless steel</i> 304 dan 316	Ditemukan kerusakan pada daerah las akibat interaksi dengan ion hipoklorit
2015	Niko Arianto	Kerentanan Korosi Baja AISI Tipe 304L Akibat Pengaruh Pengerolan dan Pengelasan GTAW	Laju korosi didapat nilai tertinggi saat reduksi pengerolan 60% dengan arus pengelasan 80A dan waktu pengelasan 10 detik, sedangkan laju korosi terendah saat reduksi pengerolan 40% pada arus pengelasan 65A dan waktu pengelasan 10 detik
2016	Ary Setiawan	Pengaruh Pengelasan GTAW terhadap komposisi kimia, struktur mikro, uji kekerasan, dan uji dampak dari <i>stainless steel</i> 304	Spesimen pada arus 50A memiliki butir paling halus dan terdapat sedikit karbida krom; pada arus 100A memiliki butir agak kasar dan terdapat lebih banyak karbida krom; serta pada arus 160A memiliki butir paling kasar dan memiliki jumlah karbida krom paling banyak dan merata

Pada penelitian-penelitian terdahulu telah disebutkan bahwa proses pengelasan dan medium korosif memiliki pengaruh terhadap perilaku korosi *stainless steel*. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan eksperimen mengenai pengaruh *heat input* pengelasan GTAW dan konsentrasi NaClO terhadap kecenderungan laju korosi pada *Stainless Steel 304*.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini yaitu *heat input* pengelasan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur mikro yang mempengaruhi kecenderungan laju korosi pada *stainless steel 304* serta dapat meningkat bila diaplikasikan pada lingkungan yang mengandung NaClO.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh *heat input* pengelasan GTAW dan struktur mikro terhadap laju korosi *stainless steel 304*
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi NaClO terhadap laju korosi *Stainless Steel 304*

1.4 Batasan Masalah

Untuk dapat mencapai tujuan yang diinginkan dari penelitian ini, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Alat uji dan peralatan yang digunakan dalam kondisi baik
2. Pengaruh variasi kondisi lingkungan saat proses pengelasan tidak berpengaruh terhadap proses pengelasan

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian sejenis
2. Menambah pengetahuan mengenai laju korosi pada *Stainless Steel*, khususnya pada *Stainless Steel 304*
3. Sebagai pertimbangan dalam pemilihan material yang tepat dalam dunia industri, khususnya industri pengolahan air

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Austenitic Stainless Steel*

Stainless steel merupakan paduan baja dengan kadar kromium minimum sebesar 12%. Kelompok paduan baja ini memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap korosi. Komposisi kromium pada *stainless steel* merupakan elemen yang mempengaruhi ketahanan *stainless steel* dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) yang melindungi logam saat bereaksi dengan lingkungan. Apabila lapisan oksida ini tergores, kromium yang terdapat pada material akan bereaksi kembali untuk membentuk lapisan oksida.

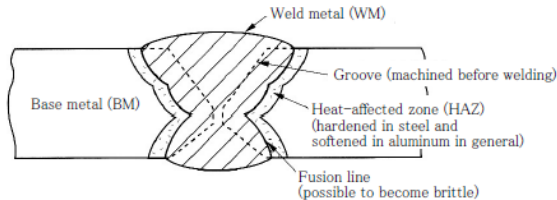
Berdasarkan American Iron and Steel Institute (AISI), *stainless steel* diklasifikasikan menjadi lima jenis yaitu *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *duplex stainless steel*, dan *precipitation hardening stainless steel*. Rentang komposisi kimia *austenitic stainless steel* yaitu 16-25% Cr, 8-20% Ni, 1% N, 0-0.2% Ti, dan Nb. *Austenitic stainless steel* merupakan kelompok *stainless steel* yang sering digunakan dikarenakan memiliki *weldability*, ketahanan korosi yang baik. *Austenitic stainless steel* yang sering digunakan adalah tipe 304 dengan kandungan 18% Cr dan 8% Ni. Terdapat beberapa unsur paduan yang sering ditambahkan pada *austenitic stainless steel*, yaitu karbon, hidrogen, molybdenum, titanium, dan niobium.

2.2 Proses Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan material dengan memanaskan material tersebut hingga meleleh, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler metal*). Penambahan logam pengisi yang berbeda dari logam induk pada proses pengelasan berperan dalam perubahan struktur mikro yang terbentuk sehingga akan berpengaruh terhadap sifat mekanik dari logam induk.

2.2.1 Daerah Pengelasan

Daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las, daerah yang terkena pengaruh panas (*heat affected zone*), dan logam induk. Selain tiga bagian tersebut, terdapat daerah yang membatasi antara logam las dan HAZ yaitu *fusion line* seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. [1]

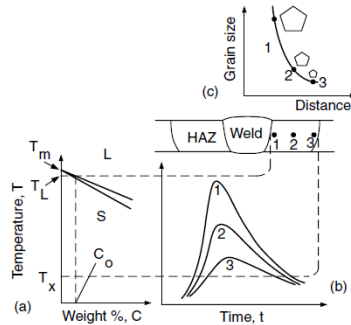


Gambar 2.1 Penampang Daerah Las [2]

Logam las merupakan logam pengisi yang berdifusi dengan sebagian logam induk yang mencair kemudian membeku pada saat proses pengelasan. Dapat dilihat dari pembentukannya, logam las memiliki komposisi kimia yang diperoleh dari gabungan komposisi kimia logam induk dan logam pengisinya. *Heat affected zone* merupakan daerah yang terkena efek panas dari pengelasan dimana mengakibatkan terjadi perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada logam. Perubahan tersebut mengakibatkan logam menjadi rentan terhadap korosi. Daerah HAZ yang terbentuk memiliki ukuran yang bervariasi tergantung pada konduktivitas termal dan laju pendinginan dari logam.

2.2.2 Siklus Termal Las

Siklus termal menunjukkan perubahan temperatur yang terjadi pada proses pengelasan dalam fungsi waktu. Siklus termal yang terbentuk berbeda-beda sesuai dengan jaraknya terhadap sumber panas seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Semakin dekat jarak dari *fusion line*, maka semakin tinggi nilai *peak temperature* yang terjadi dan semakin lama material berada pada temperatur tinggi.



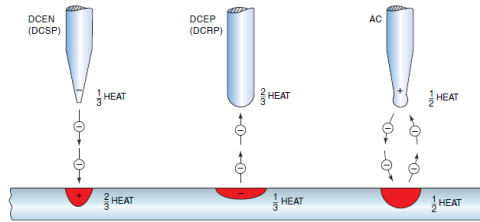
Gambar 2.2 (a) Diagram Fasa, (b) Siklus Termal Pada HAZ , (c) Perubahan Ukuran Butir Pada Hasil Pengelasan [3]

2.2.3 Parameter Pengelasan

2.2.3.1 Polaritas Arus

Arus pengelasan berpengaruh terhadap pancaran logam cair pengisi kampuh las. Arus mempengaruhi kedalaman penetrasi, semakin besar arus pengelasan maka penetrasi akan semakin dalam. Terdapat tiga macam polaritas arus yang digunakan untuk pengelasan yaitu *alternating current* (AC), *direct current electrode negative* (DCEN), dan *direct current electrode positive* (DCEP).

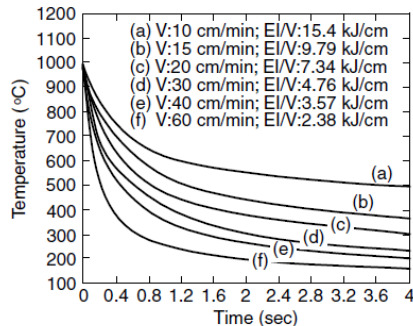
Pengelasan dengan DCEN menggunakan elektoda sebagai kutub negatif yang mengakibatkan semakin banyak elektron yang di alirkan kepada material sehingga semakin banyak panas yang akan diterima. Semakin banyak panas yang diterima oleh material, maka semakin dalam penetrasi yang. *Heat distribution* yang terjadi antara elektroda dengan arus pengelasan ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 Heat distribution antara elektroda tungsten dengan tipe arus pengelasan [4]

2.2.3.2 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan mempengaruhi jumlah pengisian logam cair. Semakin rendah kecepatan pengelasan, maka semakin besar panas yang diterima oleh material. Semakin besar panas yang diterima, maka semakin lambat pendinginan yang terjadi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Laju Pendinginan [1]

2.2.3.3 Elektroda

Elektroda yang digunakan untuk pengelasan terbagi menjadi *non-consumable electrode* dan *consumable electrode*. Salah satu jenis *non-consumable electrode* yang sering digunakan adalah elektroda tungsten. Secara umum, tungsten merupakan konduktor panas yang baik sehingga dengan konduktivitas yang

dimiliki memungkinkan elektroda tungsten untuk dapat menahan temperatur busur jauh di atas temperatur lelehnya. [4]

Tabel 2.1 Tipe Elektroda Tungsten dan Identifikasinya [4]

AWS Classification	Tungsten Composition	Tip Color
EWP	Pure tungsten	Green
EWTh-1	1% thorium added	Yellow
EWTh-2	2% thorium added	Red
EWZr	1/4% to 1/2% zirconium added	Brown
EWCe-2	2% cerium added	Orange
EWL a-1	1% lanthanum added	Black
EWL a-1.5	1.5% lanthanum added	Gold
EWL a-2	2% lanthanum added	Blue
EWG	Alloy not specified	Grey

2.2.3.4 Filler Metal

Untuk pengelasan pada material *stainless steel*, khususnya untuk tipe 304 sering digunakan *filler* ER308 dan ER308L. Kode “L” digunakan untuk menandakan bahwa komposisi karbon pada *filler* tersebut diturunkan untuk mengurangi kerentanan logam terhadap korosi.

2.2.3.5 Heat Input

Heat input (HI) menunjukkan nominal energi dari sumber panas pengelasan. Energi ini mempengaruhi distribusi panas pada proses pengelasan yang berdampak pada besar *peak temperature*, laju pendinginan, serta waktu solidifikasi. *Heat Input* dinyatakan dalam persamaan 2.1:

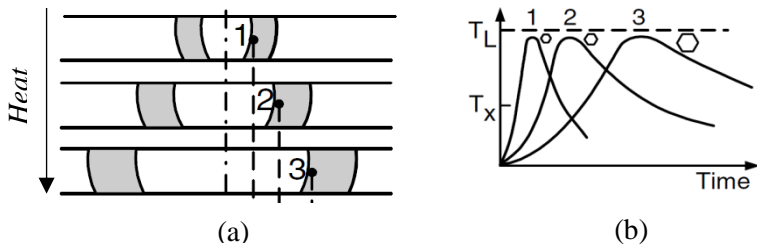
$$HI = \eta \frac{E \times I}{v} [5] \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- HI : *heat input* (J/mm)
- η : efisiensi proses pengelasan
- E : tegangan (V)
- I : arus (A)
- v : kecepatan pengelasan (mm/s)

Heat input yang diterima oleh material memberikan beberapa pengaruh terhadap material, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Pada gambar 2.5a dapat dilihat bahwa nilai *heat input*

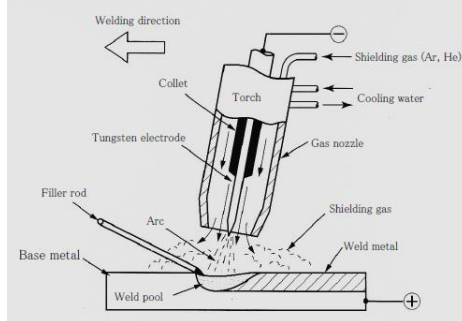
yang semakin meningkat akan memperbesar lebar dari HAZ. Semakin meningkat *heat input*, pendinginan yang terjadi akan semakin lambat. Semakin meningkat *heat input*, semakin luas daerah yang terkena sensitisasi dan semakin lama waktu berada pada temperatur sensitisasi [1]. Semakin lambat pendinginan yang terjadi, semakin besar butir yang terbentuk, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5b.



Gambar 2.5 Pengaruh Heat Input Terhadap (a) Lebar HAZ dan (b) Besar Butir Daerah HAZ [1]

2.2.4 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) merupakan metode pengelasan dengan menggunakan *inert gas* sebagai gas pelindung dan tungsten sebagai elektroda. Elektroda yang digunakan pada pengelasan GTAW termasuk *non-consumable electrode*. Skema proses pengelasan GTAW seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.6 Skema Proses Pengelasan GTAW [2]

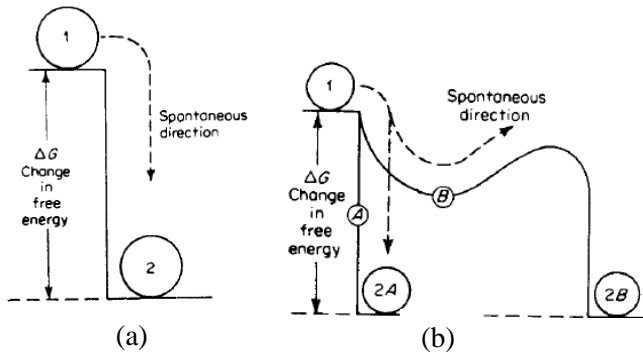
Pengelasan GTAW sering digunakan untuk material yang berukuran tipis. Pengelasan GTAW memiliki proteksi lebih baik bila dibandingkan dengan SMAW karena pengaruh dari gas pelindung yang digunakan. Gas pelindung yang sering digunakan adalah argon (Ar). Tujuan penggunaan gas pelindung adalah melindungi *molten weld pool* dan elektroda tungsten dari efek pengaruh udara. Gas pelindung juga mempengaruhi jumlah panas yang dihasilkan oleh busur dan menentukan *visual appearance* dari hasil pengelasan.

2.3 Korosi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi material akibat dari reaksi kimia antar material maupun antara material dengan lingkungannya. Korosi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu korosi basah dan korosi kering. Korosi basah terjadi saat material berinteraksi dengan cairan, seperti larutan atau elektrolit, sedangkan pada korosi kering material berinteraksi dengan uap dan gas, dimana korosi kering sering dihubungkan dengan korosi pada temperatur tinggi [6].

Pada korosi basah terdapat proses transfer elektron/muatan. Pergerakan elektron pada permukaan material memberikan efek terhadap korosi yang terjadi. Reaksi elektrokimia yang terjadi menunjukkan adanya perubahan energi bebas yang terdapat pada material. Jika pada perubahan energi bebas dari suatu kondisi ke kondisi lain bernilai negatif, hal tersebut menunjukkan adanya energi bebas yang hilang dimana menunjukkan bahwa reaksi terjadi secara spontan. Kondisi material yang tidak mendapat perlakuan pada sebuah sistem, sistem akan cenderung berubah ke tingkat energi terendah. Sedangkan, apabila perubahan energi bebas bernilai positif, menunjukkan adanya peningkatan energi yang menjelaskan bahwa terdapat energi yang ditambahkan pada sistem. Analogi perubahan energi bebas ditunjukkan pada gambar 2.7a. Posisi dari 1 ke 2 menunjukkan adanya penurunan energi bebas. Perubahan posisi dari 1 ke posisi 2 adalah reaksi spontan. Sedangkan untuk perubahan dari posisi 2 ke posisi 1 membutuhkan tambahan

energi. Perubahan energi bebas bergantung terhadap kondisi material dan tidak terpengaruh oleh jalannya reaksi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.7b. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa terdapat dua kemungkinan untuk jalannya reaksi yaitu A dan B. Perubahan energi bebas yang terjadi dari posisi 1 ke 2a ataupun 2b adalah sama. Pergerakan melalui jalur B akan membutuhkan waktu yang lebih lama dan lambat bila dibandingkan dengan jalur A. Reaksi kimia dan korosi memiliki perlakuan yang hampir sama dengan analogi tersebut. Tidak memungkinkan untuk memperkirakan kecepatan reaksi dari perubahan energi bebas.



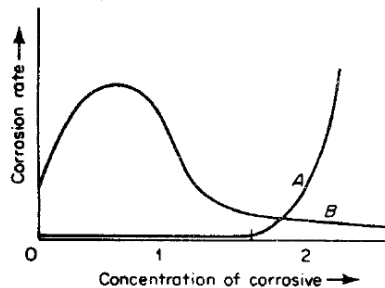
Gambar 2.7 (a) Analogi Perubahan Energi Bebas, (b) Efek Reaction Path Terhadap Kecepatan Reaksi

Terdapat tiga aspek utama yang mempengaruhi proses korosi, yaitu material, lingkungan, dan reaksi yang terjadi. Struktur metalurgi dan sifat dari material sangat berpengaruh terhadap korosi. Sifat material dapat terbentuk karena proses perlakuan ataupun dikarenakan sifat komposisi kimia yang terkandung. Kondisi material yang menerima perlakuan memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan material yang tidak menerima perlakuan. Perlakuan terhadap material dapat menyebabkan perubahan sifat

dari material itu, seperti perubahan besar butir, presipitasi, homogenitas, atau adanya deformasi plastis. Semua perubahan yang terjadi pada material akibat perlakuan menunjukkan adanya perubahan energi dari kondisi ekuilibriumnya, dimana semakin tidak ekuilibrium material maka semakin mudah material untuk terkorosi.

Pada proses korosi terjadi reaksi reduksi dan oksidasi akibat adanya perbedaan potensial antara material. Material yang memiliki potensial lebih rendah akan melepaskan ion yang disebut reaksi anodik. Sedangkan material yang memiliki potensial tinggi akan mengalami oksidasi dimana reaksi ini disebut reaksi katodik. Reaksi antara lingkungan dengan material terjadi karena pada media korosif mengandung ion-ion aktif dengan konduktivitas tertentu yang bergerak secara kinetis membentuk reaksi elektrokimia yang kemudian membentuk produk korosi.

Selain dari material dan reaksi, lingkungan yang berinteraksi dengan material juga mempengaruhi korosi dari material tersebut. Kondisi lingkungan, khususnya untuk korosi basah, dipengaruhi oleh beberapa hal seperti pH, temperatur, laju media korosif, serta konsentrasi media korosif.



Gambar 2.8 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi

Pada gambar 2.8 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 terdapat material yang setelah mengalami pasivasi, kemudian pada saat konsentrasi yang tinggi mengalami peningkatan laju korosi, seperti Pb pada H₂SO₄ dan Monel pada HCl. Perilaku asam larut pada bermacam konsentrasi membentuk seperti kurva B. Semakin meningkat konsentrasi, laju korosi semakin meningkat. Hal itu dikarenakan jumlah ion hidrogen yang semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi asam. Pada peningkatan konsentrasi, laju korosi mencapai nilai maksimum kemudian mengalami penurunan. Hal itu disebabkan pada konsentrasi asam yang tinggi, ionisasi semakin berkurang yang disebabkan oleh beberapa asam inert pada kondisi konsentrasi murni (100%).

2.3.1 Sodium Hipoklorit (NaClO)

Sodium hipoklorit sering digunakan pada industri, seperti industri pengolahan air dan pengolahan limbah. Ion hipoklorit (ClO⁻) memiliki pengaruh yang sama terhadap material seperti dengan gas klorin. Tidak banyak logam yang memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur dan konsentrasi rendah. Dikarenakan larutan hipoklorit tidak stabil pada kondisi netral dan pH rendah, larutan biasanya mengandung alkali berlebih yang dapat memodifikasi agresivitasnya. [7]

Penggunaan sodium hipoklorit biasanya digunakan pada temperatur rendah untuk mencegah terjadinya dekomposisi. Kondisi pada temperatur dan konsentrasi larutan yang lebih tinggi menyebabkan ketidakstabilan terhadap dekomposisi. Dekomposisi yang terjadi sering memicu untuk terjadinya reaksi korosi.

Menurut *ASM Handbook No. 13A*, laju korosi sodium hipoklorit di beberapa material dengan temperatur tertentu dapat dilihat pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Laju korosi material pada larutan sodium hipoklorit [7]

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.....	1.2	46	0.005	0.2
Type 316 stainless steel.....	>2.5	100 (consumed)	0.008	0.3
Type 304 stainless steel.....	.....	.....	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)

2.3.2 Laju Korosi

Untuk mengukur seberapa besar korosi yang terjadi, dilakukan perhitungan terhadap laju korosi pada suatu material. Metode sederhana yang digunakan adalah metode *weight loss*. Metode ini menggunakan logam yang telah ditimbang berat awal, diletakkan pada lingkungan korosif dalam waktu tertentu, kemudian logam dibersihkan dari produk korosi dan diukur berat akhir dari logam untuk menentukan kehilangan berat yang terjadi. Besarnya laju korosi yang terjadi pada metode ini, ditunjukkan pada persamaan 2.1:

$$CR = \frac{W}{(D \times A \times t)} \times k \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- CR = *corrosion rate* (mm/tahun)
W = berat yang hilang (gram)
D = massa jenis material (gram/cm³)
A = luas permukaan (cm²)
t = waktu (s)
k = konstanta

Dalam reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi, laju pergerakan elektron yang berinteraksi dengan permukaan adalah nilai dari laju reaksi. Massa yang hilang akibat reaksi elektrokimia dapat diperhitungkan dengan persamaan 2.2:

$$m = \frac{Ita}{nF} \quad [3] \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

- m = massa yang bereaksi/ massa yang hilang (gram)
- I = arus (A atau coulomb/s)
- t = waktu (s)
- a = berat atom (gram)
- n = bilangan ekivalen (mol)
- F = Konstanta Faraday (96.500 coulombs/mol)

Massa yang hilang setiap luasan permukaan menunjukkan laju korosi yang terjadi material, seperti ditunjukkan pada persamaan 2.3:

$$r = \frac{m}{tA} = \frac{ia}{nF} \quad [3] \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

- r = laju korosi (gram/s. cm²)
- A = luas permukaan (cm²)
- i = *current density* (I/A atau $\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
- $\frac{a}{nF}$ = faktor konversi

Nilai laju korosi dalam reaksi elektrokimia ini dapat ditentukan dengan membandingkan nilai arus yang didapatkan dari hasil pengujian dengan massa jenis serta berat ekivalen dari logam, seperti ditunjukkan pada persamaan 2.4:

$$CR = \frac{0.00327 \times I \times EW}{D} \quad [3] \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

- CR = Laju Korosi (mm/tahun)
- I = *Current Density* atau I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
- EW = *Equivalent Weight* (gram/mol)
- D = Densitas (gram/cm³)

Untuk mendapatkan nilai equivalent weight dilakukan perbandingan antara berat atom yang terdapat pada logam dengan jumlah elektron yang dibutuhkan untuk proses oksidasi pada proses korosi dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$EW = \frac{W}{n} \quad [3] \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:

W = berat atom (gram)

n = jumlah elektron yang dibutuhkan untuk proses oksidasi (mol)

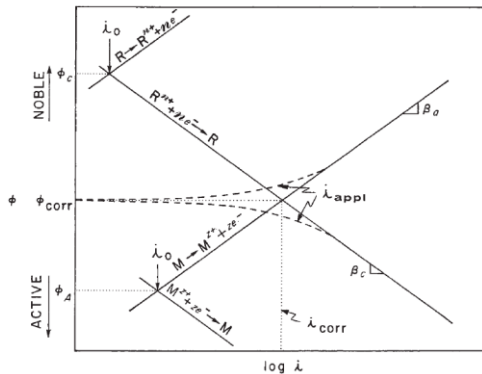
2.3.3 Polarisasi

Pada pengukuran laju korosi, elektroda tidak berada pada keadaan kesetimbangan ketika dialiri oleh arus. Potensial yang diukur dari elektroda dipengaruhi oleh besarnya arus eksternal dan arah potensial. Perubahan arah potensial selalu berlawanan bergeser dari kesetimbangannya, hal itu dikarenakan adanya arus berlawanan dari eksternal maupun dari galvanik. Saat arus mengalir dalam sel galvanik, anoda bersifat lebih katodik dan katoda menjadi lebih anodik. Perbedaan potensial antara anoda dan katoda menjadi lebih kecil dengan meningkatnya arus. Perubahan potensial yang disebabkan pergerakan arus kea tau dari elektroda, diukur dalam volt, disebut dengan polarisasi. Kinetika dari elektroda menjelaskan tentang laju reaksi yang terjadi antara elektroda dengan larutan. Penjelasan tersebut membantu untuk pengukuran laju korosi. [8]

Diagram polarisasi dari logam yang terkorosi merupakan grafik potensial dengan log arus atau log *current density*. Untuk membentuk diagram polarisasi elektroda yang biasa digunakan adalah elektroda kerja, elektroda acuan, dan elektroda bantu. Pengukuran biasanya menggunakan potensiostat, sebuah alat yang secara otomatis mengatur potensial antara elektroda kerja dengan elektroda acuan dengan melewati arus diantara elektroda kerja dan elektroda bantu. Arus antara elektroda kerja dan elektroda bantu dikendalikan dan potensial antara elektroda kerja diukur berdasarkan elektroda acuan.

Dalam eksperimen untuk membuat diagram polarisasi, pengukuran pertama biasanya dari potensial korosi ketika *I_{app}* adalah 0. Elektroda kerja kemudian terpolarisasi baik secara anodik maupun katodik membentuk garis putus-putus seperti ditunjukkan pada gambar 2.9. Prosedur polarisasi tersebut diulangi, tetapi dengan menggunakan *I_{app}* yang terbalik, untuk

mendapatkan garis putus-putus yang kedua [8]. Pada potensiostat, polarisasi dapat dilakukan secara langkah-langkah potensial (secara potensiostatik) atau secara berkesinambungan (potensiodinamik). Setelah didapatkan potensial korosi dengan $\log I_{app}$ pada bagian yang lebih stabil dan lebih aktif dari potensial korosi, diagram polarisasi telah terbentuk dengan lengkap, seperti ditunjukkan pada gambar 2.9 yang merupakan diagram polarisasi untuk logam M.



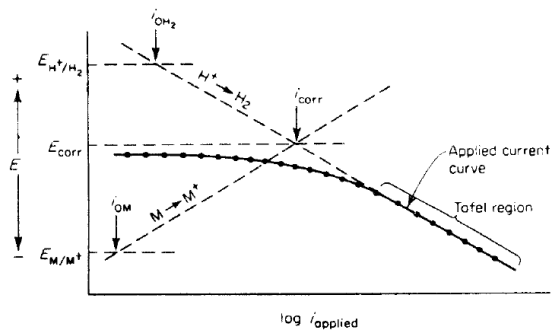
Gambar 2.9 Kurva Polarisasi [8]

Arus korosi untuk luas permukaan logam tertentu, arus anodik (I_a) dan katodik (I_c) memiliki besaran yang sama. Kepadatan arus anoda i_a dipengaruhi permukaan logam, A_a , begitu pula dengan kepadatan arus katoda i_c dipengaruhi oleh A_c . Dari kondisi tersebut, $I_{app} = I_a - I_c$ dan $I_{app} = i_a - i_c$. Kondisi ketika elektroda terpolarisasi dengan kepadatan arus tinggi menggeser potensial membentuk potensial korosi. Reaksi sebaliknya biasanya diabaikan, dimana tergantung pada arah I_{app} . Permukaan logam bertindak sebagai anoda sepenuhnya atau katoda sepenuhnya. Berdasarkan penjelasan tersebut, untuk polarisasi anodik $I_{app} = i_a$ dan untuk polarisasi katodik $I_{app} = i_c$, sehingga *tafel slope* dapat ditentukan. Dengan melakukan ekstrapolasi dari daerah *tafel* anodik ke kondisi ekuilibrium potensial anoda, *exchange current density* anoda (i_{0a}) didapatkan

dari reaksi oksidasi pada logam yang menunjukkan nilai yang sama antara laju oksidasi dan reduksi, nilai tersebut dikatakan sebagai kerapatan arus anoda. Hal yang sama juga didapatkan pada ekstrapolasi daerah tafel katoda ke kondisi ekuilibrium potensial katoda. Ekstrapolasi yang dilakukan untuk daerah tafel anodik maupun katodik ke potensial korosi, dimana $i_c = i_a$, laju korosi i_{corr} dapat ditentukan dengan $A_a = A_c$ (rasio luas anoda dan katoda = 1) [8].

2.3.4 Tafel Extrapolation

Tafel extrapolation merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur laju korosi. Metode ini menggunakan data dari pengukuran polarisasi katodik maupun anodik. Pada kondisi ideal, akurasi dari *tafel extrapolation* memberikan nilai yang sama atau bahkan lebih besar dari metode *weight loss*. Metode ini memungkinkan untuk mengukur laju korosi rendah dan dapat digunakan untuk memantau laju korosi pada suatu sistem secara kontinu, karena pengukuran dapat dilakukan dalam waktu yang singkat [6].



Gambar 2.10 Tafel Extrapolation Untuk Menunjukkan Kurva Arus Polarisasi Katodik Pada Logam yang Terkorosi [6]

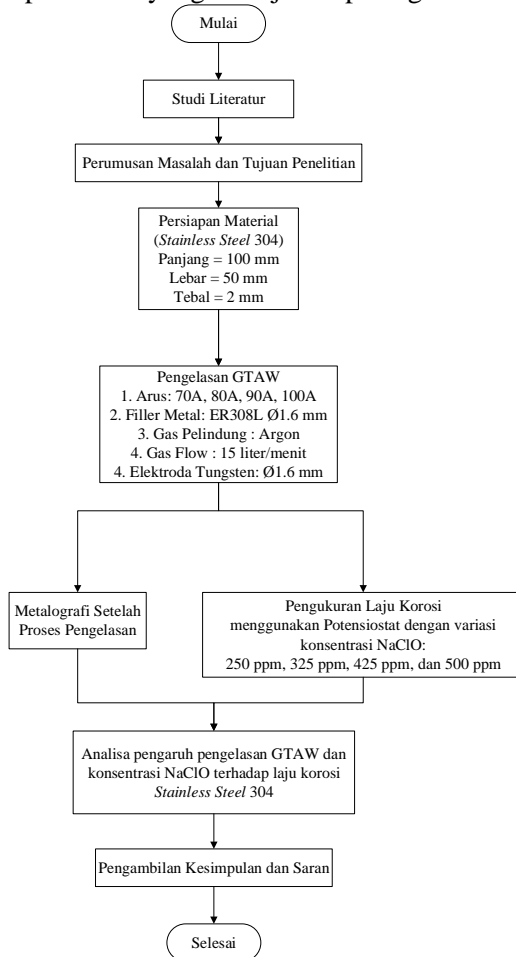
Pada gambar 2.10 ditunjukkan bahwa kurva membentuk garis non-linear pada arus rendah dan pada arus lebih tinggi menjadi linear pada plot semilogaritmik. Kurva polarisasi

menjadi linear pada plot semilogaritmik saat lebih aktif dari potensial korosi. Garis linear tersebut dinyatakan sebagai *tafel region*. *Tafel region* merupakan ekstrapolasi dari potensial korosi yang digunakan untuk menentukan laju korosi dari pengukuran polarisasi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Tahap penelitian yang akan dilaksanakan ditunjukkan pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Spesimen Uji

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah *stainless steel* 304. Tabel 3.1 menunjukkan komposisi kimia *stainless steel* 304:

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Stainless Steel 304 [9]

Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
304	min.	-	-	-	-	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.08	2.0	0.75	0.045	0.030	20.0	-	10.5	0.10

3.3 Peralatan Penelitian

3.3.1 Peralatan Potong

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

3.3.2 Mesin Grinding dan Polishing

Mesin *Grinding* digunakan untuk menghaluskan permukaan dari spesimen yang akan digunakan untuk pengamatan penelitian. Proses *grinding* dilakukan secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat *grit* kekasaran, dimulai dari *grit* 600 hingga *grit* 5000 dengan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut menjadi rata.

Sedangkan mesin *polishing* digunakan untuk menghilangkan goresan pada spesimen, dimana proses tersebut menggunakan kain bludru dengan *metal polishing* sambil dialiri air sampai goresan pada permukaan spesimen hilang.

3.3.3 Peralatan Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop dengan kamera digital yang disambungkan dengan satu unit komputer seperti ditunjukkan pada gambar 3.2. Gambar struktur mikro yang diperoleh dari mikroskop dikirim ke *digital still recorder* melalui kamera digital kemudian disimpan oleh komputer dalam bentuk dokumen.



Gambar 3.2 Mikroskop Optik dan Komputer

3.3.4 Mesin Las GTAW

Proses pengelasan GTAW pada penelitian ini menggunakan *filler* (kawat las) E308L ($\varnothing=1.6$ mm). Pada tabel 3.2 ditunjukkan komposisi kimia dari kawat las E308L.

Tabel 3.2 Tabel 3. 1 Komposisi Kimia E308L [10]

	%	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
E308L	min	-	19.5	9	-	-	1	0.3	-	-
	max	0.03	22	11	0.75	2.5	0.65	0.03	0.03	0.75

Variabel pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan variasi arus 70A, 80A, 90A, dan 100A. Gas pelindung yang digunakan adalah argon dengan *gas flow* 15 L/menit, serta menggunakan elektroda tungsten dengan diameter 1.6 mm.

3.3.5 Peralatan Uji Laju Korosi (Potensiostat)

Untuk mengukur laju korosi pada penelitian ini digunakan potensiostat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3(a), dimana potensiostat yang dipakai menggunakan sel tiga elektroda yang dilengkapi dengan perangkat *software* NOVA 1.8. Sel tiga elektroda yang digunakan berupa elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembantu (*counter electrode*), dan elektroda acuan (*reference electrode*) seperti terlihat pada rangkaian pengujian pada gambar 3.3(b). Pengukuran laju korosi

pada penelitian ini dilakukan pada hasil pengelasan (*weld metal*, HAZ, dan *base metal*).



(a)

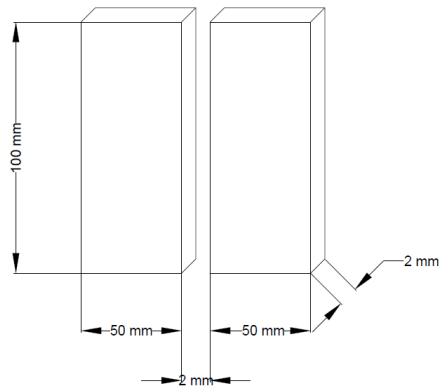
(b)

Gambar 3.3 Alat Uji Kecenderungan Laju Korosi: (a) Potensiostat, (b) Rangkaian Pengujian

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan

Pada penelitian ini spesimen yang disambung ditunjukkan seperti pada gambar 3.4. Spesimen dilas sepanjang 100 mm.



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Pengelasan

3.4.2 Proses Pengelasan

Sebelum melakukan proses pengelasan material diharuskan untuk dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran maupun debu. Pengelasan dilakukan dengan pengelasan GTAW yang menggunakan *filler metal* tipe AWS 5.9 ER 308L.

3.4.3 Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan berpengaruh terhadap kualitas suatu hasil pengelasan. Parameter pengelasan harus direncanakan secara baik pada saat pembuatan *Welding Procedure Specification* (WPS). WPS menjadi pedoman dari *welder* dalam proses pengelasan. WPS untuk proses pengelasan penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Parameter Proses Pengelasan

SPESIFIKASI <i>BASE METAL</i>	
<i>Base Metal</i>	AISI 304
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	21 V
Gas Pelindung	Argon
<i>Gas Flow</i>	15 liter/menit

3.4.4 Proses Pengujian

3.4.4.1 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro sebelum proses pengelasan dan setelah proses pengelasan dengan menggunakan mikroskop optik. Untuk pengujian struktur mikro setelah proses pengelasan, pengujian dilakukan pada daerah las dan *base metal*.

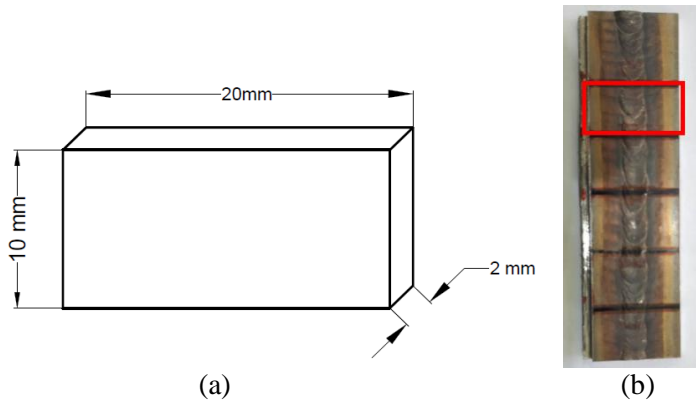
Langkah – langkah untuk pengujian metalografi sebagai berikut:

1. Spesimen dipotong (daerah las dan *base metal*) kemudian *dimounting*
2. *Grinding*, spesimen uji diratakan dengan mesin *grinding* menggunakan kertas gosok dengan *grit* mulai dari 240, 320, 400, 500, 600, 1200, 2000, dan 5000.
3. *Polishing*, spesimen uji dipoles menggunakan *metal polishing* dan kain bludru hingga permukaan material tidak terdapat goresan.
4. *Etching*, proses *etching* dilakukan untuk mengkorosikan spesimen agar tampak butirnya pada mikroskop optik. Spesimen uji di etsa menggunakan 10 ml asam nitrat, 10 ml asam asetat, dan 15 ml asam klorida yang diaduk hingga homogen. Standar pengujian yang digunakan mengacu pada ASTM E 3, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimen*.
5. Spesimen diamati perubahan struktur mikro menggunakan mikroskop optik digital dengan perbesaran 50x hingga 1000x.

3.4.4.2 Pengukuran Laju Korosi

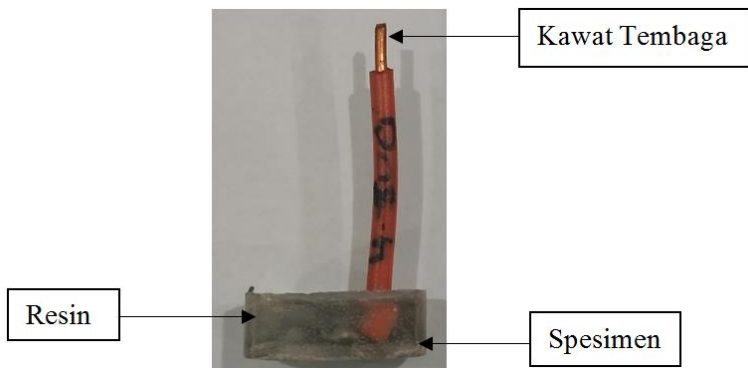
Langkah – langkah untuk pengujian kecenderungan laju korosi menggunakan alat potensiostat sebagai berikut:

1. Spesimen uji (daerah las dan *base metal*) dipotong dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 2 mm seperti pada gambar 3.5.



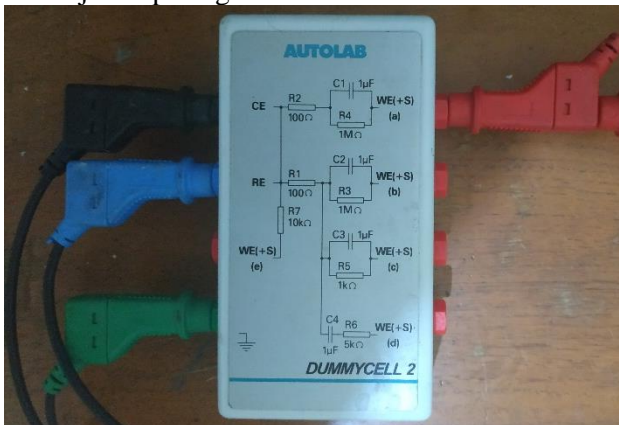
Gambar 3.5 (a) Dimensi Spesimen Uji Potensiostat, (b) Spesimen Uji Potensiostat

- Spesimen uji disambungkan dengan kawat tembaga kemudian *dimounting* dengan menggunakan resin agar pada saat pengujian hanya permukaan material yang bereaksi seperti ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Spesimen uji yang sudah disambungkan dengan kawat tembaga dan telah dimounting menggunakan resin

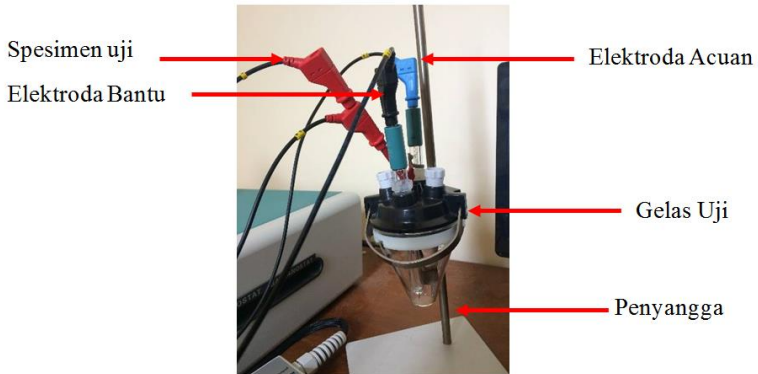
3. Permukaan spesimen dihaluskan menggunakan kertas gosok dengan grid kekasaran 600, 800, 1000, 2000, dan 5000. Proses ini dilakukan untuk semua spesimen uji.
4. Elektrolit disiapkan yaitu menggunakan campuran NaClO 12% dengan aquades untuk mendapatkan konsentrasi NaClO 250 ppm, 325 ppm, 425 ppm, dan 500 ppm.
5. Aplikasi NOVA 1.8 dibuka
6. Alat uji dikalibrasi untuk polarisasi linear (Tafel). Kabel warna hitam, biru, dan hijau dipasang sesuai pada *dummycell*. Opsi *start* dipilih untuk menjalankan program, untuk menentukan posisi kabel merah ditunggu *command* pada program, kemudian kabel merah dipasang sesuai dengan *command* yang diinstruksikan, seperti ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian Kabel Untuk Kalibrasi Pada Dummycell

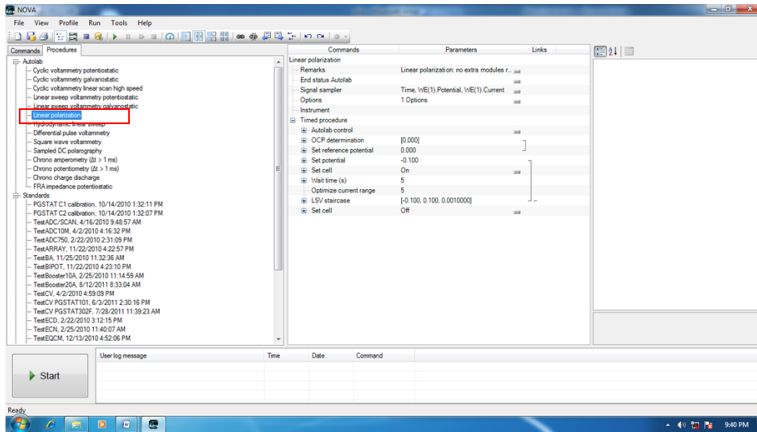
7. Setelah terpasang, untuk melanjutkan proses kalibrasi dipilih opsi OK. Hasil kalibrasi dicek pada opsi *analysis view*. *Residual plot measurement* (biru), *residual plot reference* (merah), nilai *upper limit* (hijau), dan *lower limit* (hijau) ditampilkan dengan menekan *ctrl*. *Residual plot* dibandingkan dengan *limit*. Apabila plot biru dan merah didalam batas hijau, kalibrasi berhasil dilakukan.

8. Kabel warna hitam disambungkan dengan *counter electrode* (platina), kabel warna biru dengan *reference electrode* (Ag/AgCl), dan kabel warna merah dengan *working electrode* (spesimen uji). Larutan NaClO dituangkan pada gelas uji. Kemudian ketiga elektroda dan gelas uji diletakkan pada penyangga, seperti pada gambar 3.8. Ketiga elektroda dipastikan tercelup ke dalam larutan.



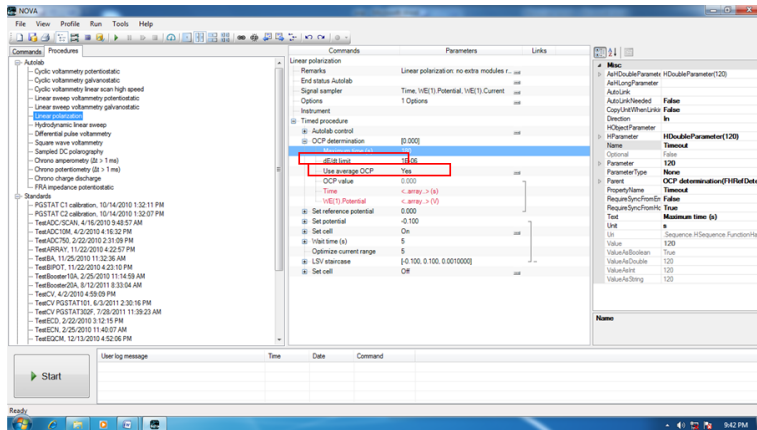
Gambar 3.8 Rangkaian Kabel Elektroda Pada Penyangga

9. Prosedur baru dibuat. Opsi *view* dipilih pada program, kemudian *setup view* dan *linear polarization* dipilih selanjutnya, seperti ditunjukkan gambar 3.9.



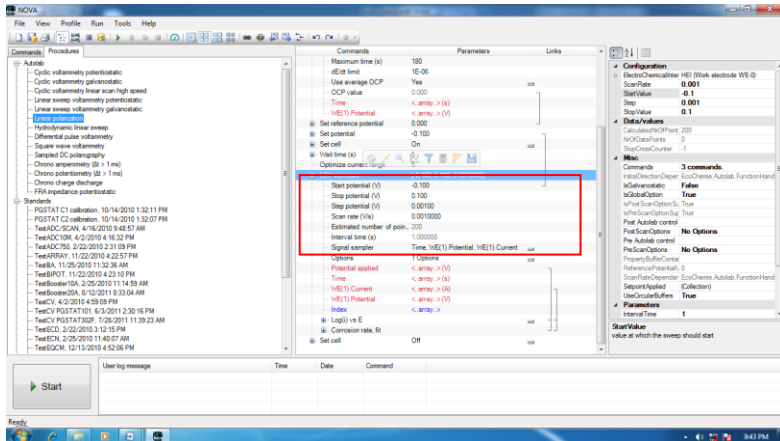
Gambar 3.9 Tampilan Opsi Linear Polarization

10. OCP determination diatur. Maximum time diatur untuk menentukan durasi pengujian. Durasi pengujian yang diatur untuk pengujian ini sebesar 180 detik, ditunjukkan seperti gambar 3.10.



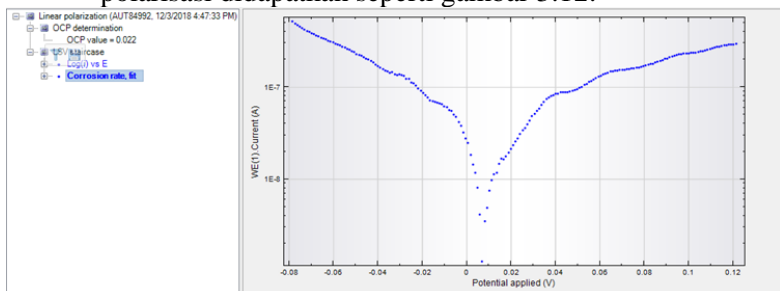
Gambar 3.10 Tampilan Opsi OCP Determination

11. Opsi *LSC staircase* dipilih, *start potential* dan *stop potential*, *step potential*, *step potential*, serta *scan rate* diatur, seperti ditunjukkan pada gambar 3.11. Untuk pengujian ini digunakan pengaturan *default*.



Gambar 3.11 Tampilan Opsi LSC Staircase

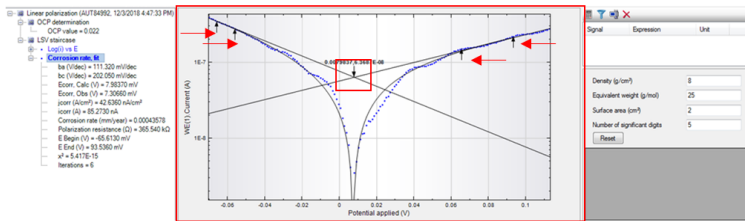
12. Opsi *Start* dipilih untuk memulai program, kemudian proses ditunggu sampai selesai dan didapatkan kurva polarisasi didapatkan seperti gambar 3.12.



Gambar 3.12 Kurva Polarisasi Hasil Pengujian

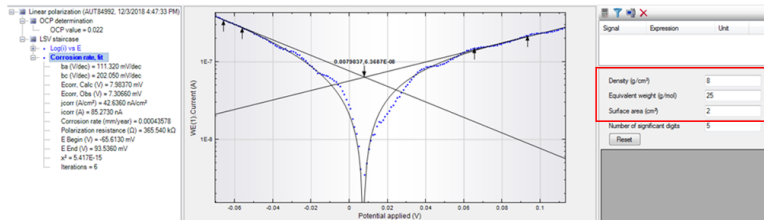
13. Untuk mendapatkan data tambahan dari kurva pengujian, dilakukan ekstrapolasi Tafel. Ekstrapolasi dilakukan

dengan cara menarik garis lurus pada daerah linier kurva polarisasi katodik dan kurva polarisasi anodik, sehingga dari kedua garis tersebut didapatkan perpotongan pada satu titik yang akan menunjukkan nilai potensial korosi (E_{corr}) dan arus korosi (I_{corr}), seperti ditunjukkan pada 3.13.



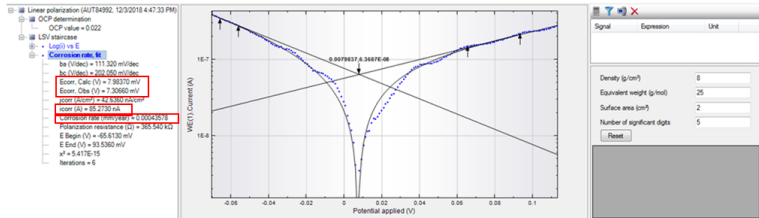
Gambar 3.13 Garis Singgung dan Titik Potong Pada Kurva Polarisasi

14. Untuk mendapatkan data laju korosi yang sesuai dengan spesimen uji, dimasukkan data massa jenis material, *equivalent weight*, dan luasan area spesimen yang digunakan, seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Tampilan Input Untuk Pengolahan Data

15. Nilai *E corrosion calculation* dibandingkan dengan *E corrosion observation*. Selisih antara kedua nilai tersebut harus sekecil mungkin. Apabila perbandingan sudah dianggap sesuai, maka data E_{corr} , I_{corr} , dan *corrosion rate* dari pengujian sudah dapat digunakan.



Gambar 3.15 Tampilan Output Hasil Pengolahan Data

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan data dari hasil pengelasan dan pengujian potensiosat, seperti ditunjukkan pada subbab 4.1 dan 4.2.

4.1 Pengelasan

Berdasarkan pengelasan yang telah dilakukan didapatkan nilai *heat input* dari parameter yang digunakan pada pengelasan.

4.1.1 Heat Input

Nilai *heat input* dinyatakan dalam persamaan 2.1:

$$HI = \eta \frac{E \times I}{v} [5] \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- HI : *heat input* (J/mm)
- η : efisiensi proses pengelasan, untuk GTAW = 0.6 [1]
- E : tegangan (V)
- I : arus (A)
- v : kecepatan pengelasan (mm/s)

Dari pengelasan yang telah dilakukan didapatkan nilai *heat input* pada *stainless steel* 304 setelah proses pengelasan, seperti ditunjukkan pada tabel 4.1:

Tabel 4.1 Hasil Pengelasan



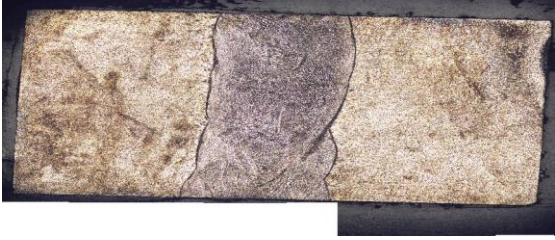
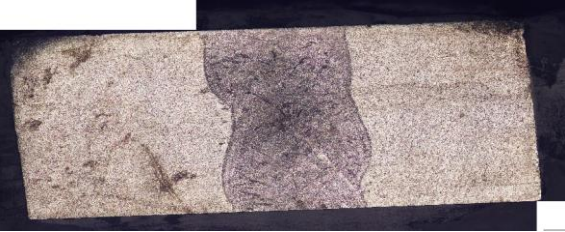
Stainless Steel 304			
Arus (A)	Voltase (V)	Kecepatan Pengelasan (mm/s)	Heat Input (J/mm)
70	20.5	5.56	154.98
80	20.5	6.67	147.6
90	22	10	118.8
100	22	12.5	105.6

Pada penelitian ini menggunakan variasi arus. Berdasarkan persamaan 2.1, semakin meningkatnya arus maka semakin meningkat nilai *heat input*. Hal itu terjadi apabila kondisi variabel lain konstan. Berdasarkan tabel 4.1, dapat dilihat bahwa *heat input* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya arus. Kecepatan pengelasan pada penelitian ini yang seharusnya konstan mengalami peningkatan dikarenakan plat yang digunakan memiliki ketebalan 2 mm sehingga sulit untuk mempertahankan kecepatan pengelasan. Adanya peningkatan kecepatan pengelasan menyebabkan panas yang masuk pada material semakin menurun, sehingga menghasilkan nilai *heat input* yang rendah.

4.1.2 Pengamatan Mikro Hasil Pengelasan

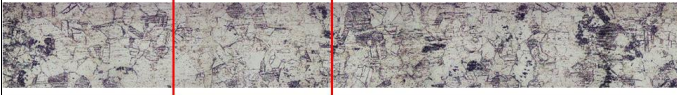
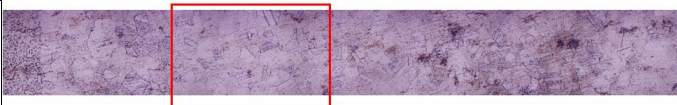
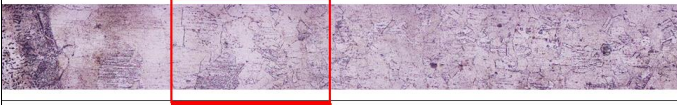
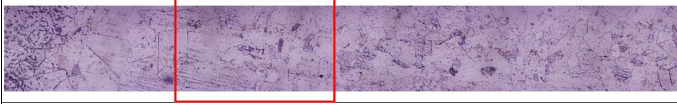
Pengamatan mikro setelah pengelasan bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi. Untuk menentukan lokasi pengamatan pada penelitian ini dilakukan pengambilan data struktur mikro pada perbesaran 50x, seperti ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Lokasi Pengambilan Data Struktur Mikro [50x]

<i>Heat Input</i>	HASIL PENGAMATAN
105,6 J/mm	
118,8 J/mm	
147,6 J/mm	
154,96 J/mm	

Pada tabel 4.2 memperlihatkan pengamatan makro hasil pengelasan. Berdasarkan teori pengaruh *heat input* [1], semakin meningkat nilai *heat input* akan memperbesar lebar dari HAZ. Hasil dari pengamatan yang ditunjukkan pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin meningkat *heat input*, lebar *weld metal* semakin membesar. Membesarnya lebar dari *weld metal* mempengaruhi lebar dari HAZ yang terbentuk. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro dari *base metal* hingga daerah las. Untuk melihat perubahan struktur mikro akibat *heat input* yang diterima material, dilakukan pengamatan seperti ditunjukkan pada tabel 4.3

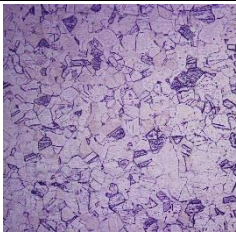
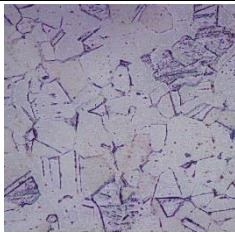
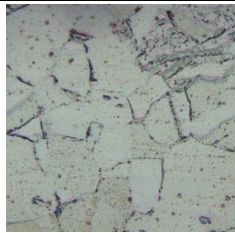

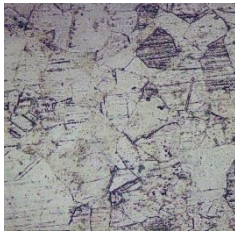

Tabel 4.3 Lokasi Pengambilan Data Struktur Mikro [500x]

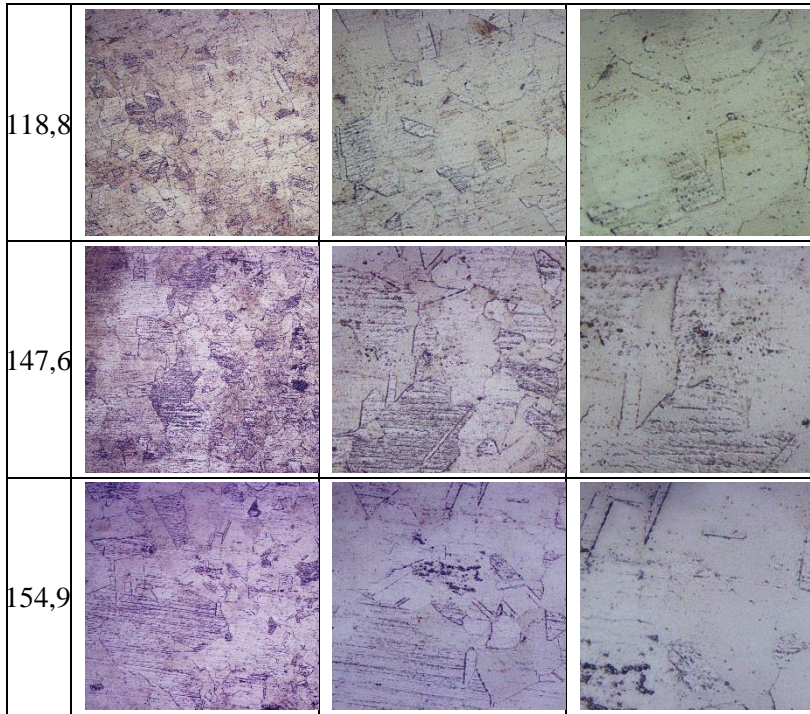
<i>Heat Input</i> (J/mm)	Hasil Pengamatan	
105,6		
118,8		
147,6		
154,98		

Pada teori siklus termal [1] dijelaskan bahwa semakin dekat jarak dari *fusion line*, maka semakin tinggi nilai *peak temperature*, maka semakin lama material berada pada temperatur tinggi serta semakin besar butir yang terbentuk. Pada pengamatan memanjang yang dilakukan

pada perbesaran 500x didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 4.3. Dari hasil pengamatan tersebut dapat dilihat terdapat perbedaan stuktur mikro antara daerah las dan *base metal*, dimana semakin dekat jarak dari *fusion line*, besar butir yang terbentuk semakin besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa *heat input* memberikan efek terhadap perubahan struktur mikro. Untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat peningkatan nilai *heat input* dilakukan pengamatan lebih lanjut pada lokasi 0.5 mm dari *fusion line* seperti ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.4 Tabel 4. 1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

<i>Heat Input</i> (J/m m)	[200x]	[500x]	[1000x]
<i>Base Metal</i>			
105,6			



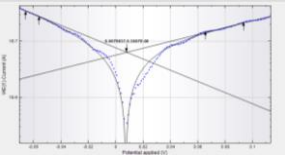
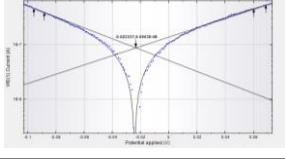
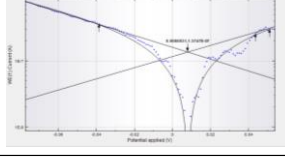
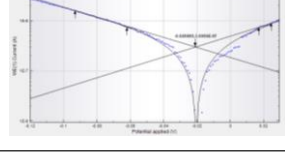
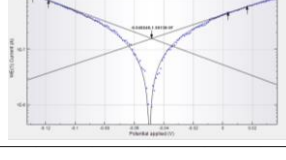
Semakin meningkat *heat input*, maka pendinginan yang terjadi akan semakin lambat. Semakin lambat pendinginan yang terjadi, semakin besar butir yang terbentuk. Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa peningkatan *heat input* mempengaruhi besar butir dari *stainless steel 304*. Semakin meningkat *heat input*, terbentuk butir yang semakin besar.

4.2 Pengujian Potensiostat

Pengujian potensiostat dilakukan pada spesimen yang meliputi *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Dari pengujian didapatkan data *current density*, *I_{corr}*, *E_{corr}* dan laju korosi. Hasil tersebut pengujian ditunjukkan pada tabel 4.5 hingga tabel 4.8.

4.2.1 Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 250 ppm

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 250 ppm

Heat Input (J/mm)	HASIL POTENSIOSTAT	DATA YANG DIDAPAT				
		I_{corr} (nA/cm ²)	I_{corr} (nA)	E_{corr} calc (mV)	E_{corr} obs (mV)	Laju Korosi (10 ⁻³ mm/tahun)
Base Metal		42.636	85.27	7.98	7.31	0.4360
105,6		63.48	126.96	-23.34	-24.35	0.5350
118,8		113.6	227.20	8.00	8.03	1.7290
147,6		223.26	446.53	-20.89	-20.54	4.0730
154,98		109.45	218.90	-48.25	-49.36	1.7620

Keterangan :

I_{corr} (nA/cm²) : kerapatan arus

I_{corr} (nA) : arus korosi

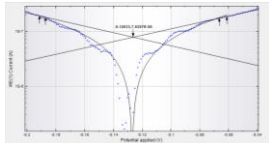
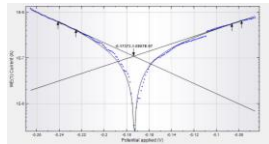
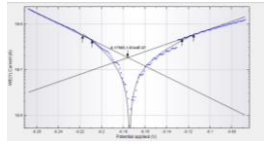
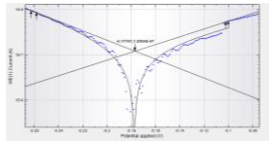
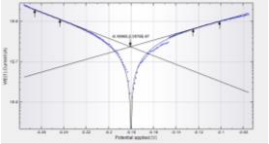
$E_{corr\ calc}$ (mV) : potensial yang didapatkan dari hasil *tafel extrapolation*

$E_{corr\ obs}$ (mV) : potensial yang didapatkan dari hasil pengujian

Laju Korosi (mm/tahun): laju korosi spesimen uji

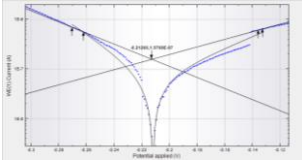
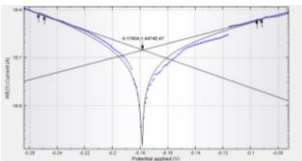
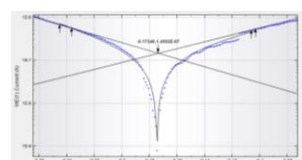
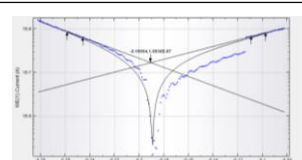
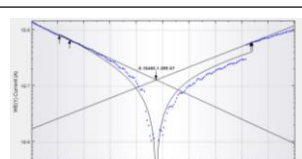
4.2.2 Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 325 ppm

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 325 ppm

Heat Input (J/mm)	HASIL POTENSIOSTAT	DATA YANG DIDAPAT				
		i_{corr} (nA/cm ²)	i_{corr} (nA)	$E_{corr\ calc}$ (mV)	$E_{corr\ obs}$ (mV)	Laju Korosi (10 ⁻³ mm/tahun)
Base Metal		43.468	86.94	-126.33	-127.02	0.4440
105,6		58.505	117.01	-173.73	-173.21	0.4180
118,8		64.285	128.57	-175.85	-174.24	0.7100
147,6		56.2	112.40	-177.01	-177.69	0.6490
154,98		160.1	320.20	-180.69	-180.34	2.7880

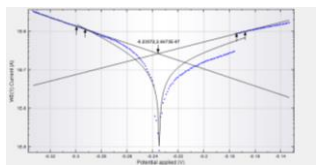
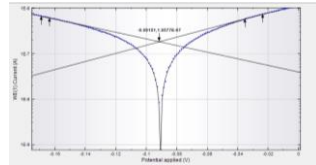
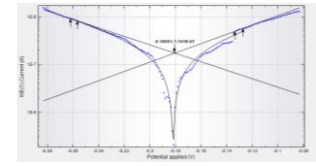
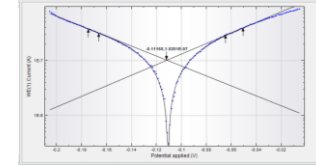
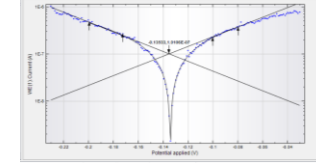
4.2.3 Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 425 ppm

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 425 ppm

Heat Input (J/mm)	HASIL POTENSIOSTAT	DATA YANG DIDAPAT				
		I _{corr} (nA/cm ²)	I _{corr} (nA)	E _{corr} calc (mV)	E _{corr} obs (mV)	Laju Korosi (10 ⁻³ mm/tahun)
Base Metal		31.882	63.76	-212.66	-212.04	0.3260
105,6		64.915	129.83	-178.04	-178.78	0.7570
118,8		60.985	121.97	-173.48	-174.64	0.8030
147,6		84.68	169.36	-190.54	-189.37	1.3640
154,98		61.97	123.94	-184.86	-185.01	0.9110

4.2.4 Observasi Polarisasi Pada Larutan NaClO Konsentrasi 500 ppm

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Pada Larutan NaClO Konsentrasi 500 ppm

Heat Input (J/mm)	HASIL POTENSIOSTAT	DATA YANG DIDAPAT				
		I _{corr} (nA/cm ²)	I _{corr} (nA)	E _{corr calc} (mV)	E _{corr obs} (mV)	Laju Korosi (10 ⁻³ mm/tahun)
Base Metal		65.75	131.50	-235.72	-234.86	0.6720
105.6		163.55	327.10	-91.51	-90.86	2.1670
118.8		84.18	168.36	-180.51	-181.94	0.8070
147.6		104.16	208.33	-111.66	-110.74	1.3730
154.98		121.1	242.20	-135.33	-134.37	1.7430

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.5 hingga tabel 4.8, didapatkan nilai *Icorr* dan nilai laju korosi pada konsentrasi NaClO yang berbeda. Nilai *Icorr* dan laju korosi menunjukkan nilai rerata dari spesimen uji yang meliputi nilai *Icorr* dan laju korosi dari *base metal* dan daerah las.

4.2.5 Perhitungan *Icorr* dan Laju Korosi pada Daerah Las

Nilai laju korosi yang didapatkan dari pengujian menunjukkan laju korosi rerata *base metal* dan daerah las. Daerah las, *weld metal* dan HAZ, merupakan daerah mengalami pemanasan dan pendinginan yang tidak ekuilibrium sehingga struktur mikro yang terbentuk tidak berada pada keadaan ekuilibrium. Kondisi tidak ekuilibrium tersebut menunjukkan bahwa terdapat energi bebas yang lebih besar, dimana energi tersebut cenderung lebih cepat mencapai kondisi ekuilibrium.

Untuk mendapatkan nilai laju korosi pada daerah las dilakukan perhitungan *Icorr* daerah las. Nilai *Icorr* daerah las digunakan untuk mendapatkan nilai laju korosi daerah las. *Icorr* daerah las dipengaruhi oleh nilai *Icorr* rerata, *Icorr base metal*, dan luasan *base metal* dan daerah las seperti ditunjukkan pada persamaan 2.2:

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

Dimana:

- CR = *Corrosion Rate* (mm/tahun)
- I = *Current Density* atau *Icorr* ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
- EW = *Equivalent Weight* (gram/mol)
- D = *Densitas* (gram/cm^3)

Dari persamaan 2.2 didapatkan nilai laju korosi untuk daerah las yang ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan Icorr Pada Daerah Las

Luas (cm ²)			Icorr (μA/cm ²)	Icorr (μA)			Laju Korosi Daerah Las (10 ⁻³ mm/tahun) [K x (7) x EW] / D
Total ⁽¹⁾	Base Metal ⁽²⁾	Daerah Las ⁽³⁾ (1) - (2)	Base Metal ⁽⁴⁾	Rerata ⁽⁵⁾	Base Metal ⁽⁶⁾ (2) x (4)	Daerah Las ⁽⁷⁾ (5) - (6)	
2	1.75	0.25	0.0426	0.13	0.07	0.05	0.535
2	1.36	0.64		0.23	0.06	0.17	1.729
2	1.13	0.88		0.45	0.05	0.40	4.073
2	1.09	0.91		0.22	0.05	0.17	1.762
2	1.75	0.25	0.0435	0.12	0.08	0.04	0.418
2	1.36	0.64		0.13	0.06	0.07	0.710
2	1.13	0.88		0.11	0.05	0.06	0.649
2	1.09	0.91		0.32	0.05	0.27	2.788
2	1.75	0.25	0.0319	0.13	0.06	0.07	0.757
2	1.36	0.64		0.12	0.04	0.08	0.803
2	1.13	0.88		0.17	0.04	0.13	1.364
2	1.09	0.91		0.12	0.03	0.09	0.911
2	1.75	0.25	0.0658	0.33	0.12	0.21	2.167
2	1.36	0.64		0.17	0.09	0.08	0.807
2	1.13	0.88		0.21	0.07	0.13	1.373
2	1.09	0.91		0.24	0.07	0.17	1.743

Keterangan:

K = 0.00327 [3]

EW = 25 gram/mol

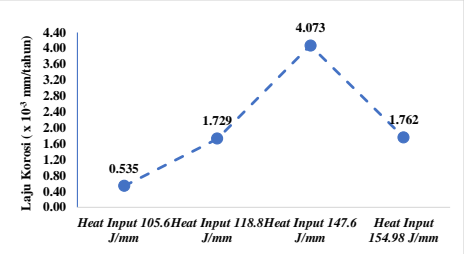
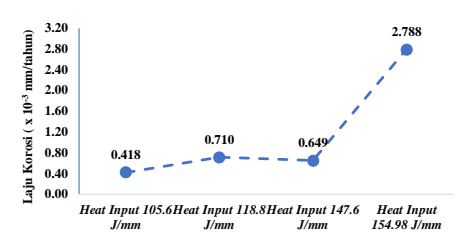
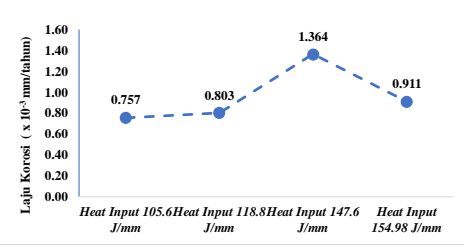
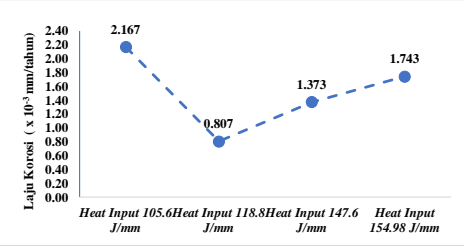
D = 8 gram/cm³

Dari tabel 4.9 ditunjukkan bahwa semakin meningkat *heat input*, semakin besar luas daerah las yang terbentuk. Luasan daerah las terbentuk menandakan luasan yang berada dalam kondisi tidak ekuilibrium. Semakin luas daerah yang tidak berada dalam kondisi ekuilibrium, maka semakin besar energi bebas yang dimiliki oleh material, sehingga laju korosi yang terjadi semakin besar.

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

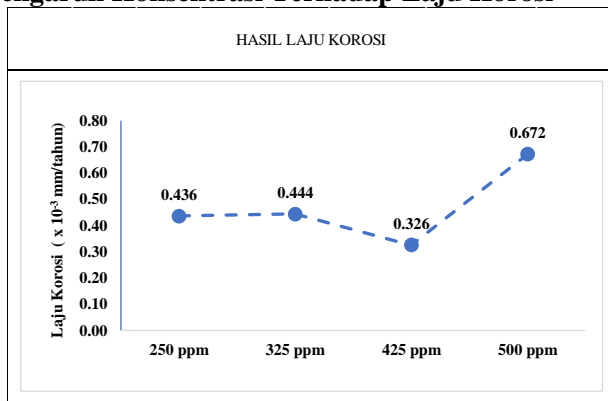
Berdasarkan tabel 4.10 didapatkan nilai laju korosi untuk daerah las pada setiap konsentrasi larutan NaClO. Hubungan nilai *heat input* terhadap nilai laju korosi daerah las pada konsentrasi NaClO berbeda ditunjukkan pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Hubungan *Heat Input* Terhadap Laju Korosi Daerah Las Pada Larutan NaClO

KONSENTRASI LARUTAN	HASIL LAJU KOROSI	
250 PPM	 <p>Heat Input 105.6 J/mm, Heat Input 118.8 J/mm, Heat Input 147.6 J/mm, Heat Input 154.98 J/mm</p>	<p>Base Metal 0.436×10^{-3} mm/tahun</p>
325 PPM	 <p>Heat Input 105.6 J/mm, Heat Input 118.8 J/mm, Heat Input 147.6 J/mm, Heat Input 154.98 J/mm</p>	<p>Base Metal 0.444×10^{-3} mm/tahun</p>
425 PPM	 <p>Heat Input 105.6 J/mm, Heat Input 118.8 J/mm, Heat Input 147.6 J/mm, Heat Input 154.98 J/mm</p>	<p>Base Metal 0.326×10^{-3} mm/tahun</p>
500 PPM	 <p>Heat Input 105.6 J/mm, Heat Input 118.8 J/mm, Heat Input 147.6 J/mm, Heat Input 154.98 J/mm</p>	<p>Base Metal 0.672×10^{-3} mm/tahun</p>

Berdasarkan tabel 4.10 didapatkan hasil bahwa *heat input* meningkatkan nilai laju korosi dari material. Hal itu ditunjukkan bahwa laju korosi daerah las memiliki nilai lebih tinggi bila dibandingkan dengan laju korosi pada *base metal* di setiap konsentrasi larutan NaClO. Laju korosi pada setiap konsentrasi NaClO memiliki *trendline* meningkat seiring dengan peningkatan nilai *heat input*. Peningkatan laju korosi pada daerah las terjadi karena daerah mengalami proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi berada pada temperatur diatas temperatur rekristalisasi, dimana kondisi tersebut tidak ekuilibrium yang menunjukkan bahwa terdapat energi bebas yang lebih besar bila dibandingkan dengan energi bebas pada *base metal*. Energi bebas yang lebih besar cenderung lebih cepat mencapai kondisi ekuilibrium yang ditunjukkan dengan peningkatan laju korosi. Semakin meningkat nilai *heat input*, semakin luas daerah las yang terbentuk, dimana menunjukkan semakin luas daerah yang tidak berada pada keadaan ekuilibrium. Semakin besar daerah yang tidak ekuilibrium, maka semakin besar energi bebas yang terdapat pada material, dimana banyaknya energi bebas yang terdapat meningkatkan nilai laju korosi pada material.

4.2.7 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Korosi

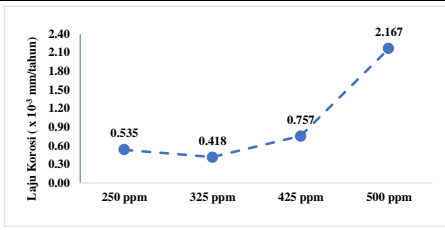
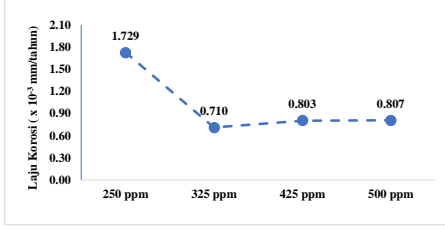
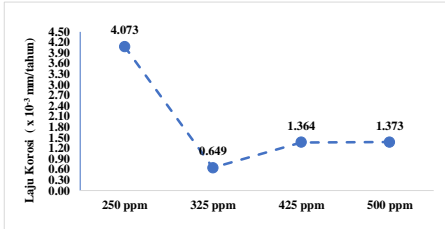
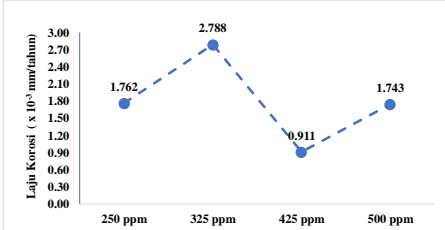


Gambar 4.1 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Pada Base Metal

Pada gambar 4.1 ditunjukkan bahwa laju korosi pada *base metal* memiliki *trendline* meningkat seiring dengan peningkatan dari konsentrasi NaClO. Hal tersebut sesuai dengan *ASM Handbook No. 13A* mengenai perilaku NaClO, bahwa NaClO semakin mudah terurai dengan meningkatnya konsentrasi. Semakin mudah untuk terurai NaClO, maka semakin meningkat laju korosi yang terjadi.

Tabel 4.12 menunjukkan hasil bahwa konsentrasi NaClO mengubah nilai laju korosi dari material. Pada material dengan *heat input* 105,6 J/mm, laju korosi yang didapatkan untuk peningkatan konsentrasi NaClO memiliki pola yang sama dengan pola pada laju korosi *base metal*, yaitu mengalami peningkatan laju korosi seiring dengan peningkatan konsentrasi. Untuk material dengan *heat input* 118,8 J/mm dan 147,6 J/mm, laju korosi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 250 ppm, kemudian mengalami penurunan laju korosi seiring dengan peningkatan konsentrasi NaClO. Pada material dengan *heat input* 154,98 J/mm, laju korosi mengalami perubahan yang fluktuatif seiring dengan peningkatan konsentrasi. Nilai laju korosi yang tidak meningkat untuk material dengan *heat input* 118,8 J/mm, 147,6 J/mm, dan 154,98 J/mm dapat dikarenakan pengaruh konsentrasi terhadap peningkatan laju korosi yang dapat terjadi, dimana dapat terjadi pasivasi pada material dalam peningkatan konsentrasi, maupun terjadi penurunan laju korosi pada peningkatan konsentrasi yang disebabkan oleh reaksi antara logam dengan larutan.

Tabel 4.11 Hubungan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Daerah Las

Heat Input (J/mm)	HASIL LAJU KOROSI										
105.6 J/mm	 <p>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Konsentrasi NaClO (ppm)</th> <th>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250</td> <td>0.535</td> </tr> <tr> <td>325</td> <td>0.418</td> </tr> <tr> <td>425</td> <td>0.757</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>2.167</td> </tr> </tbody> </table>	Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)	250	0.535	325	0.418	425	0.757	500	2.167
Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)										
250	0.535										
325	0.418										
425	0.757										
500	2.167										
118.8 J/mm	 <p>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Konsentrasi NaClO (ppm)</th> <th>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250</td> <td>1.729</td> </tr> <tr> <td>325</td> <td>0.710</td> </tr> <tr> <td>425</td> <td>0.803</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.807</td> </tr> </tbody> </table>	Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)	250	1.729	325	0.710	425	0.803	500	0.807
Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)										
250	1.729										
325	0.710										
425	0.803										
500	0.807										
147.6 J/mm	 <p>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Konsentrasi NaClO (ppm)</th> <th>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250</td> <td>4.073</td> </tr> <tr> <td>325</td> <td>0.649</td> </tr> <tr> <td>425</td> <td>1.364</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>1.373</td> </tr> </tbody> </table>	Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)	250	4.073	325	0.649	425	1.364	500	1.373
Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)										
250	4.073										
325	0.649										
425	1.364										
500	1.373										
154.98 J/mm	 <p>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Konsentrasi NaClO (ppm)</th> <th>Laju Korosi (x 10³ mm/tahun)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250</td> <td>1.762</td> </tr> <tr> <td>325</td> <td>2.788</td> </tr> <tr> <td>425</td> <td>0.911</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>1.743</td> </tr> </tbody> </table>	Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)	250	1.762	325	2.788	425	0.911	500	1.743
Konsentrasi NaClO (ppm)	Laju Korosi (x 10 ³ mm/tahun)										
250	1.762										
325	2.788										
425	0.911										
500	1.743										

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap *stainless steel* 304 dan pembahasan yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin meningkat *heat input*, maka semakin besar butir dan luasan daerah las yang terbentuk
2. Laju korosi pada daerah las memiliki nilai lebih tinggi bila dibandingkan dengan laju korosi pada *base metal*
3. Laju korosi pada *base metal* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaClO
4. Peningkatan konsentrasi NaClO mengakibatkan peningkatan laju korosi pada material dengan *heat input* 105,6 J/mm, sedangkan untuk material dengan *heat input* 118,8 J/mm dan 147,6 J/mm, mengalami penurunan laju korosi pada peningkatan konsentrasi NaClO

5.2 Saran

1. Pengelasan menggunakan plat dengan ukuran lebih dari 2 mm agar kecepatan menjadi konstan dengan menggunakan variasi arus
2. Pengujian laju korosi menggunakan range konsentrasi NaClO 250 – 500 ppm agar mendapatkan data yang lebih akurat untuk melihat kondisi optimal dari penggunaan NaClO

(halaman ini sengaja dikosongkan)

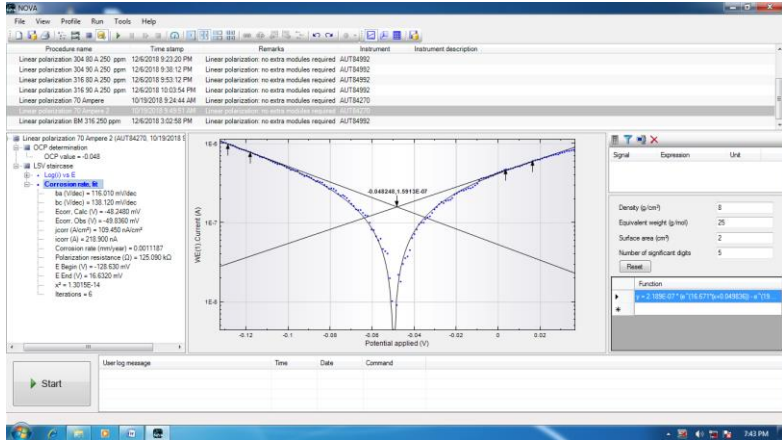
DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kou, *Welding Metallurgy*, Canada: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [2] J. W. E. Society, *Advanced Welding and Joining Technologies*, Japan: Japan Welding Society, 2006.
- [3] D. A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, 1996.
- [4] L. B. Larry Jeffus, *Welding Skills, Processes and Practices for Entry-Level Welders*, Canada: Nelson Education, 2010.
- [5] ASME Section IX.
- [6] M. G. Fontana, *Corrosion Engineering*, Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [7] S. C. d. J. B. S. Cofino, *ASM Handbook Volume 13A : Corrosion : Fundamental Testing and Protection*, Ohio: ASM International, 2003.
- [8] R. W. R. & H. H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control*, John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- [9] ASTM A240/A240M.
- [10] AWS A5.9 ER308L.
- [11] J. C. Lippold, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*, Canada: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [12] L. Jeffus, *Welding Principles and Application*, New York: Delmar Cengage Learning, 2011.

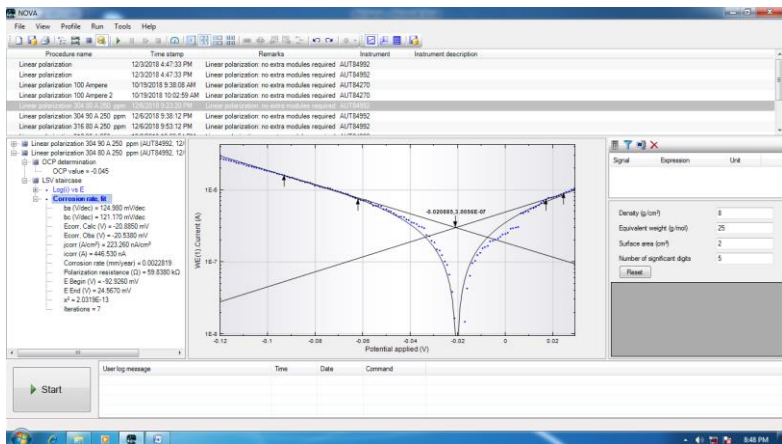
(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

154,98 J/mm 250 ppm

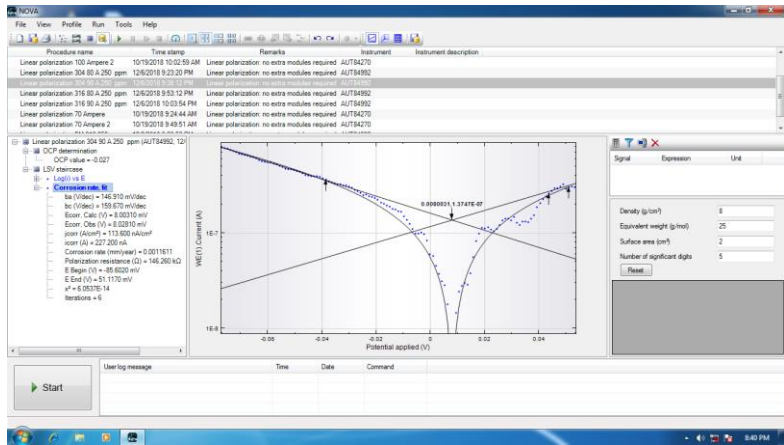


147,6 J/mm 250 ppm

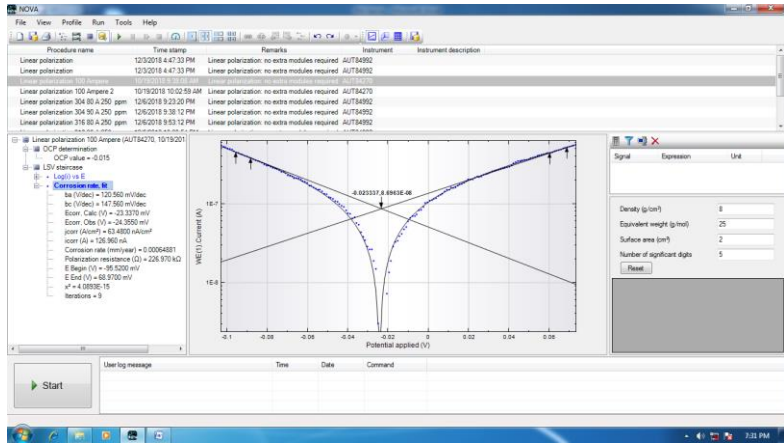


54

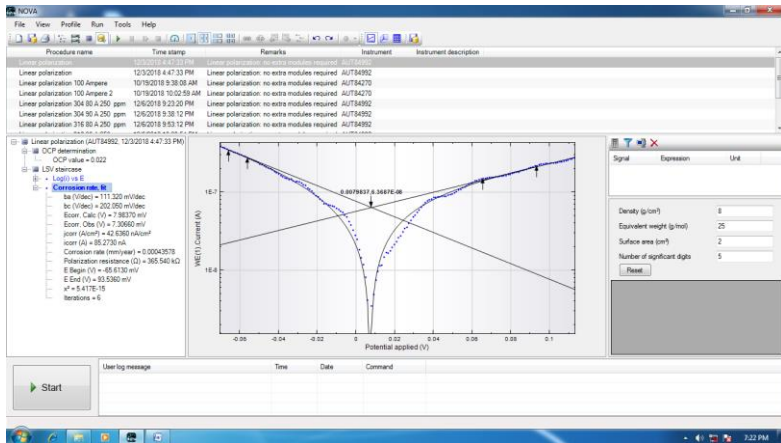
118,8 J/mm 250 ppm



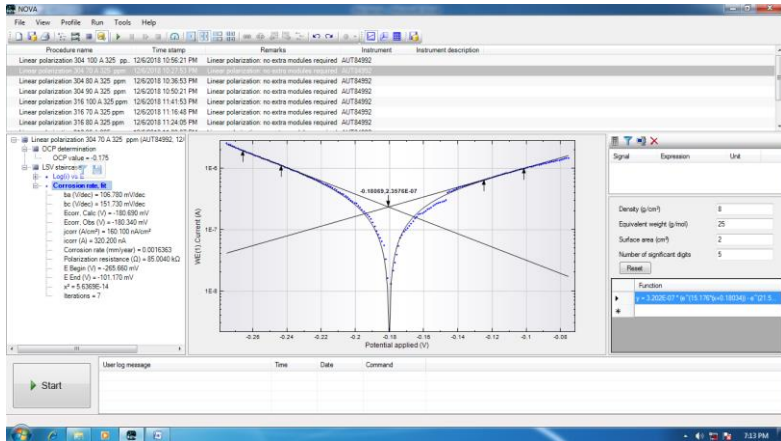
105,6 J/mm 250 ppm



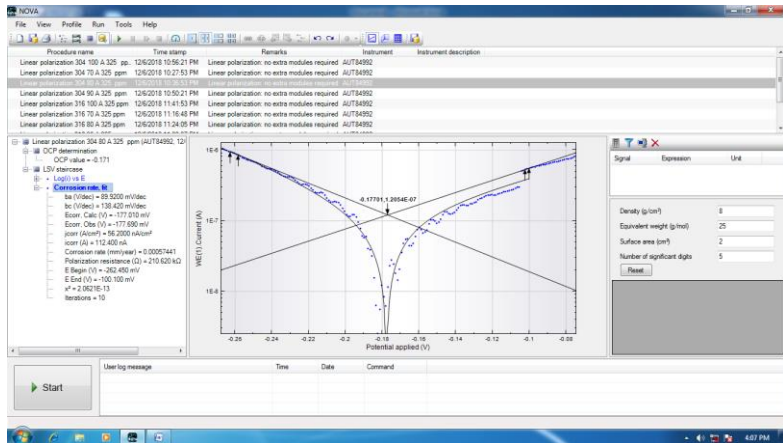
Base Metal 250 ppm



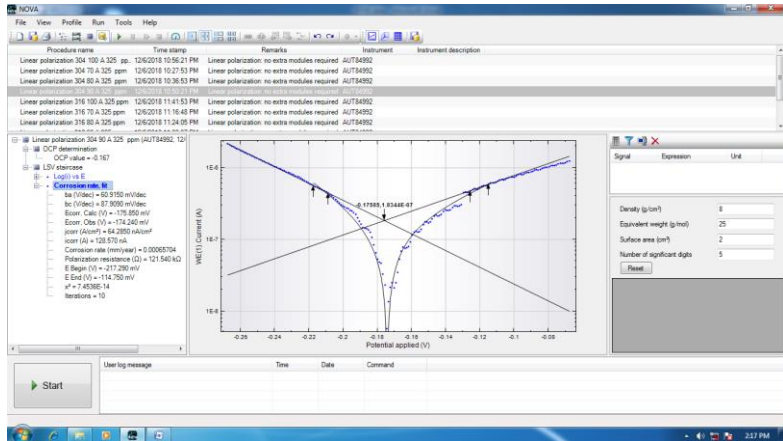
154,98 J/mm 325 ppm



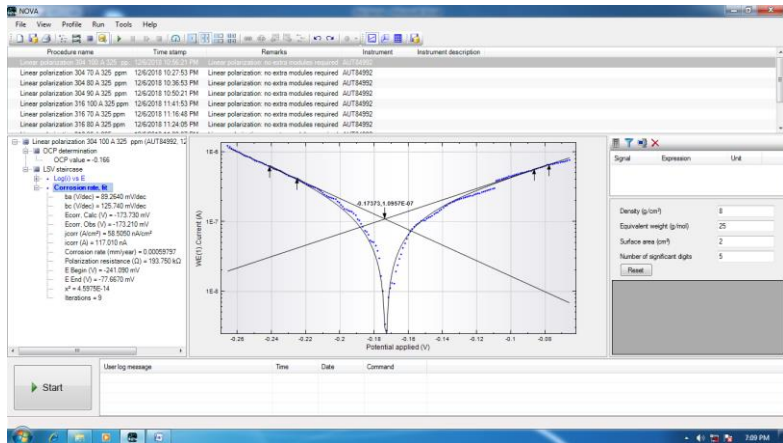
147,6 J/mm 325 ppm



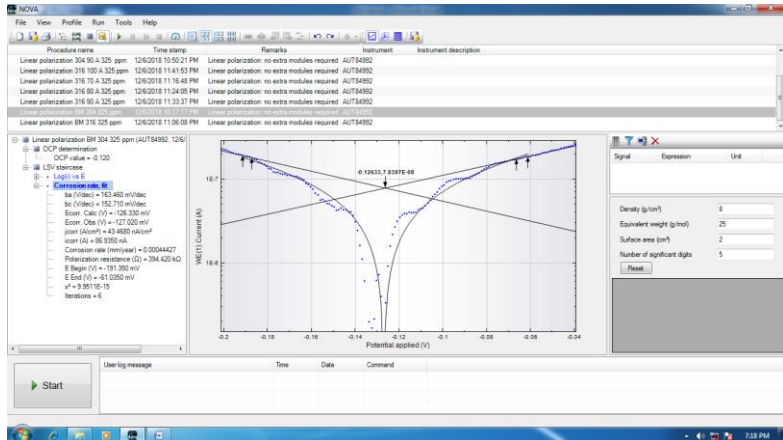
118,8 J/mm 325 ppm



105,6 J/mm 325 ppm

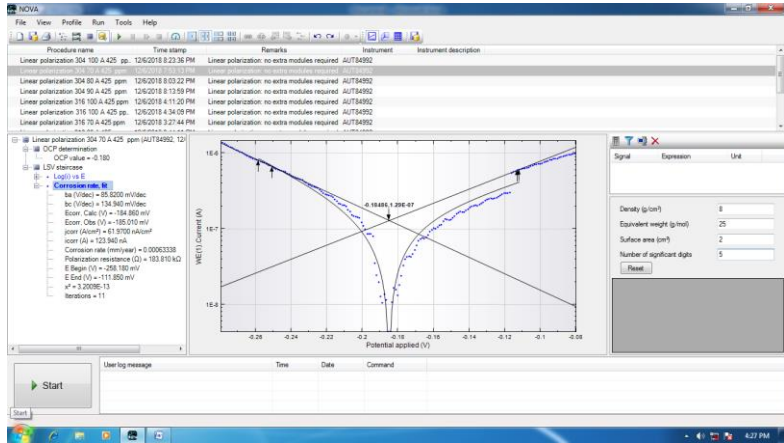


Base Metal 325 ppm

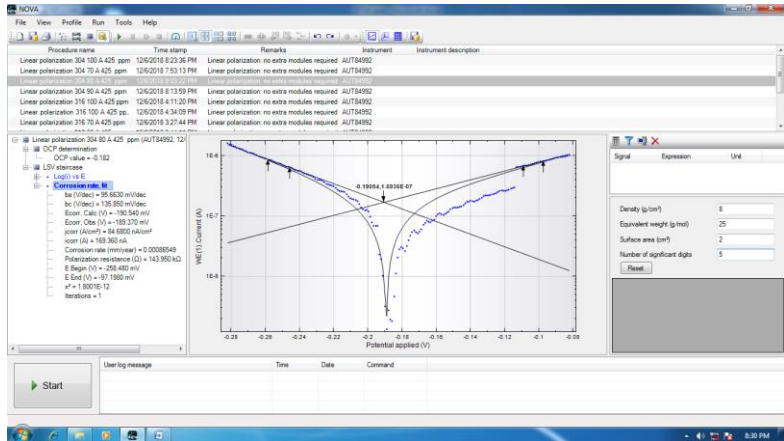


58

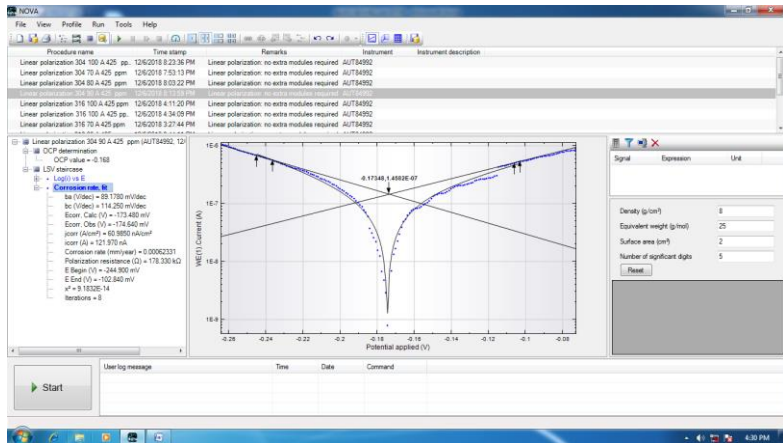
154,98 J/mm 425 ppm



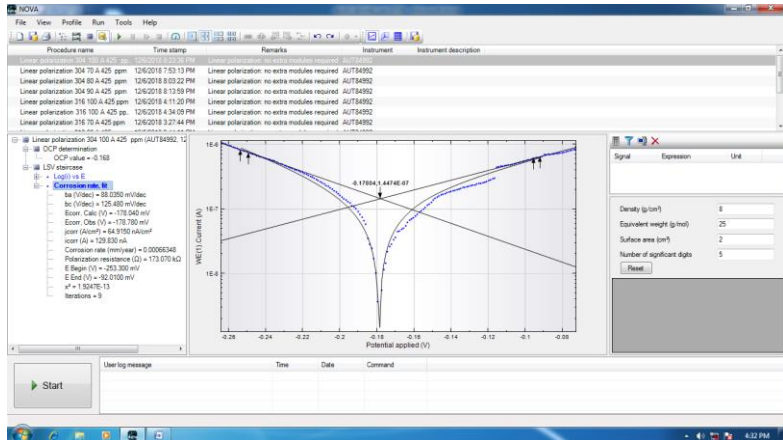
147,6 J/mm 425 ppm



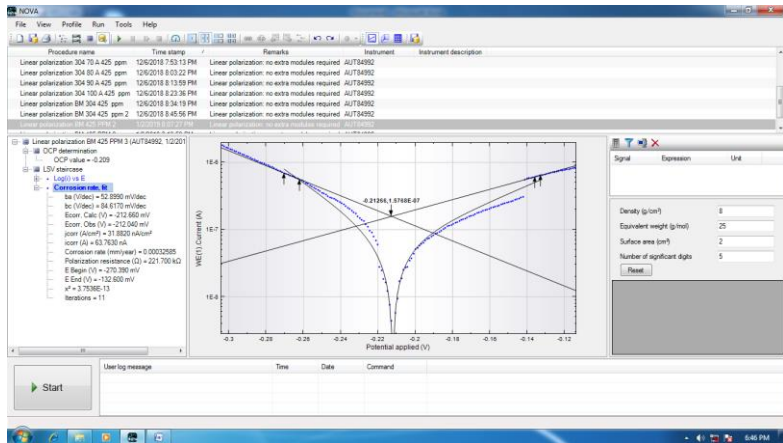
118,8 J/mm 425 ppm



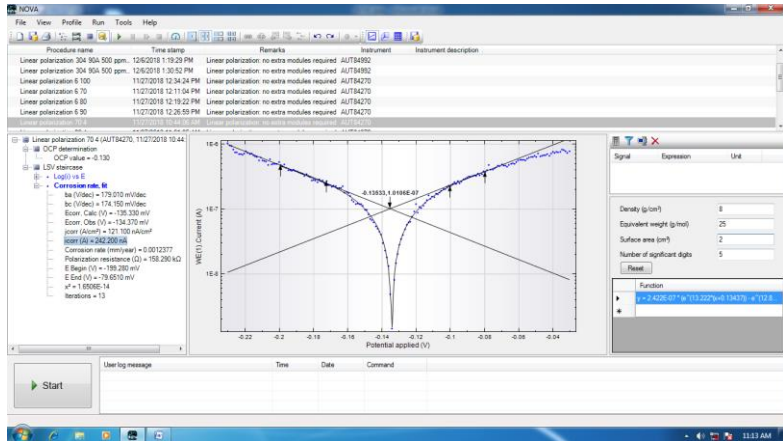
105,6 J/mm 425 ppm



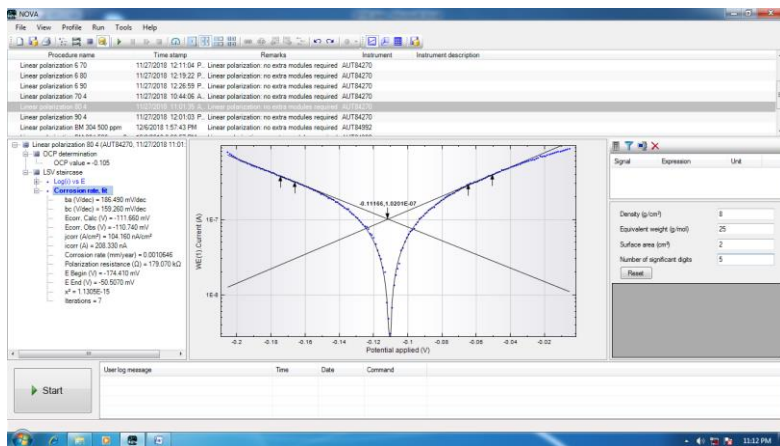
Base Metal 425 ppm



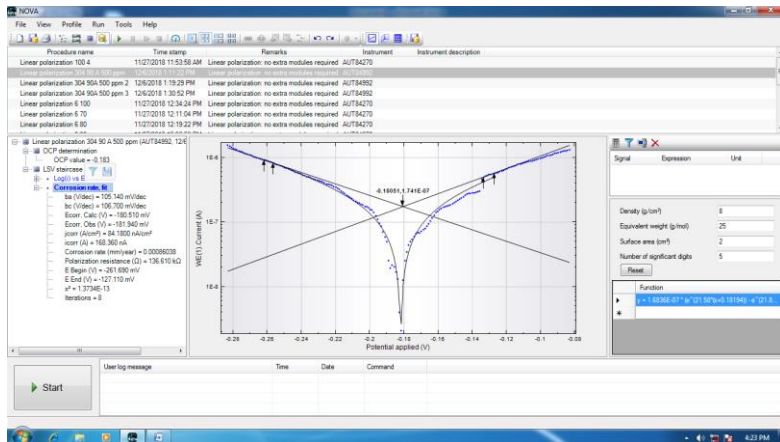
154,98 J/mm 500 ppm



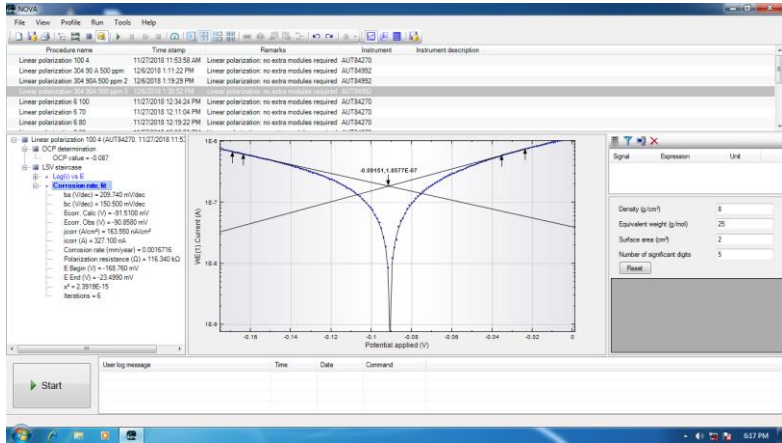
147,6 J/mm 500 ppm



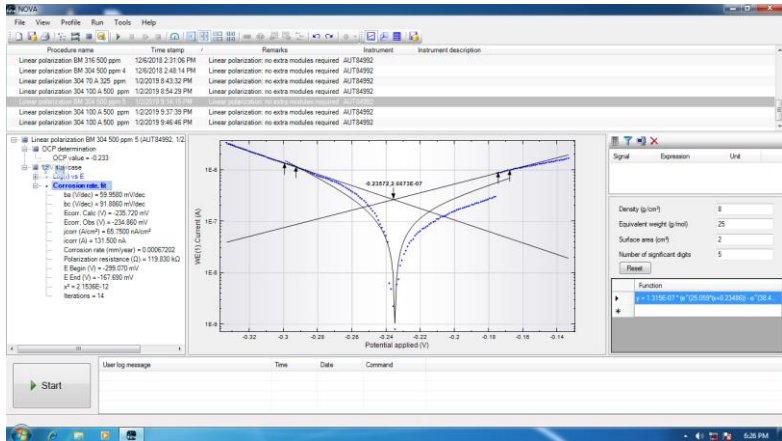
118,8 J/mm 500 ppm



105,6 J/mm 500 ppm



Base Metal 500 ppm



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Jakarta pada tanggal 5 Oktober 1996. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Dian Yuwiadi dan Sawitri. Pendidikan formal yang ditempuh penulis diawali dengan bersekolah di TK Tunas Muda IKKT (1999-2002), kemudian dilanjutkan di SDS Tunas Muda IKKT (2002-2008). Penulis melanjutkan jenjang pendidikan di SMP Negeri 75 Jakarta (2008-2011) dan SMA Negeri 112 Jakarta (2011-2014). Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014 di Departemen Teknik Mesin FTI-ITS. Fokus bidang studi yang penulis ambil pada bidang Metalurgi.

Selama kuliah di Departemen Teknik Mesin, penulis pernah menjadi Koordinator Mechanical City 2017 dan Dewan Presidium Periode 2016/2017. Departemen Teknik Mesin ITS. Selain kepanitiaan dan organisasi, penulis juga aktif sebagai asisten mata kuliah dan praktikum Laboratorium Metalurgi. Selain itu, penulis juga pernah mendapat *Runner Up ITS Basketball League* 2015.

Penulis sangat terbuka untuk diskusi tentang Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi via email nurfitrioctaviana05@gmail.com