



TUGAS AKHIR – MO091336

**ANALISA LAJU KOROSI HASIL PENGELASAN
BAWAH AIR MENGGUNAKAN PROSES SMAW
PADA MATERIAL ASTM A36 DENGAN
VARIASI JENIS ELEKTRODA**

MIFTAKHUL HUDA
NRP. 4309 100 702

Dosen Pembimbing :
Ir. Imam Rochani, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT – MO091336

**ANALYSIS OF CORROSION RATE ON
UNDERWATER WELDED JOINTS USING
SMAW PROCESS DUE TO VARIATIONS OF
ELECTRODE TYPES ON MATERIAL ASTM-A36**

**MIFTAKHUL HUDA
REG. 4309 100 702**

**Supervisor :
Ir. Imam Rochani, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**

**ANALISA LAJU KOROSI HASIL PENGELOMAN BAWAH AIR
MENGUNAKAN PROSES SMAW PADA MATERIAL ASTM A36
DENGAN VARIASI JENIS ELEKTRODA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MIFTAKHUL HUDA

NRP. 4309 100 702

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



1. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Pembimbing)

SURABAYA, 11 AGUSTUS 2014

ANALISA LAJU KOROSI HASIL PENGELASAN BAWAH AIR MENGUNAKAN PROSES SMAW PADA MATERIAL ASTM A36 DENGAN VARIASI JENIS ELEKTRODA

Nama Mahasiswa : Miftakhul Huda
NRP : 4309 100 702
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc.

ABSTRAK

Struktur anjungan lepas pantai, badan kapal, dan konstruksi lainnya yang ada di laut bisa mengalami kerusakan akibat kegagalan pada elemen-elemennya selama beroperasi dan kemungkinan mengalami kerusakan akibat sesuatu yang tidak diprediksi seperti badai dan benturan. Teknologi pengelasan bawah air digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada bagian yang terendam air. Pengelasan bawah air ini bersifat sementara dan merupakan alternatif lain yang mungkin dilakukan jika tidak dapat dikerjakan di atas permukaan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh jenis elektroda yang digunakan untuk pengelasan bawah air pada plat baja ASTM A36 terhadap laju korosi yang terjadi. Variasi elektroda yang digunakan adalah elektroda spesifikasi AWS yaitu E6013, E6019, dan E7018. Pengelasan bawah air dilakukan dengan menggunakan proses *Shielded Metal Arc Welding (SMAW) wet welding* dengan posisi 1G. Untuk pengelasan bawah air, elektroda yang digunakan harus dilapisi terlebih dahulu. Ini bertujuan agar elektroda kedap air. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan larutan FeCl_3 . Dari pengujian ini didapatkan nilai laju korosi yang terjadi pada pengelasan bawah air dengan elektroda E6013 adalah sebesar 9.626 mmpy, untuk nilai laju korosi yang terjadi pada pengelasan bawah air dengan elektroda E6019 adalah sebesar 12.020 mmpy, dan untuk nilai laju korosi yang terjadi pada pengelasan bawah air dengan elektroda E7018 adalah sebesar 20.255 mmpy. Berdasarkan pengamatan hasil foto stereo mikroskop, secara morfologi permukaan sambungan las yang mempunyai nilai laju korosi lebih tinggi, permukaannya terlihat lebih kasar dan mengalami kerusakan lebih parah dibandingkan dengan permukaan sambungan las yang mempunyai nilai laju korosi lebih rendah.

Kata kunci: *Pengelasan bawah air, SMAW, Elektroda, Laju korosi.*

ANALYSIS OF CORROSION RATE ON UNDERWATER WELDED JOINTS USING SMAW PROCESS DUE TO VARIATIONS OF ELECTRODE TYPES ON MATERIAL ASTM-A36

Name : Miftakhul Huda
NRP : 4309 100 702
Departement : TeknikKelautan FTK – ITS
Supervisor : Ir. Imam Rochani, M.Sc.

ABSTRACT

Offshore structures, hulls, and other construction in the sea could be damaged by the failure of the elements during the operation and the possibility of damage due to something unexpected such as storms and collisions. Underwater welding technology used to repair the damage that occurs in parts water. Underwater welding is temporary and is another alternative that may be done if it can not be done on the surface. This research was conducted in order to know the influence of the type of electrode used for underwater welding on ASTM A36 steel plate on the rate of corrosion that occurs. Variation of electrode used is AWS specifications E6013, E6019, and E7018. Underwater welding was done using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) wet welding with 1G position. for underwater welding, electrodes used must be coating first. It is intended that the electrode watertight. Corrosion rate testing performed by an electrochemical method using FeCl_3 solution. Values obtained from this test that the corrosion rate occurs in the underwater welding electrodes E6013 amounted to 9,626 mmpy, for the corrosion rate values that occur in underwater welding with E6019 electrodes is 12,020 mmpy, and for the value of the corrosion rate occurs at underwater welding with E7018 electrodes is 20 255 mmpy. Based on the results of observations of stereo microscopes, surface morphology welded joints that have a higher value of the rate of corrosion, the surface looks more rugged and more severe damage than the surface of the welded joints that have a lower corrosion rate values.

Keywords: *Underwater welding, SMAW, Electrode, Corrosion rate.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan ridho serta karunia yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Laju Korosi Hasil Pengelasan Bawah Air Menggunakan Proses SMAW pada Material ASTM A36 dengan Variasi Jenis Elektroda”** ini membahas tentang perbandingan penggunaan 3 jenis elektroda pada pengelasan bawah air untuk material ASTM A36. Dengan penggunaan elektroda yang berbeda diharapkan bisa diketahui elektroda mana yang cocok digunakan dalam pengelasan bawah air dan memiliki hasil laju korosi yang paling kecil.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis senantiasa membuka diri untuk masukan dan kritik demi tercapainya kesempurnaan penelitian selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap semoga karya penelitian ini dapat memberikan kontribusi dan sumbangan bagi dunia ilmu pengetahuan, indusri bangunan lepas pantai, dan terutama bagi penulis sendiri.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Agustus 2014

Miftakhul Huda

UCAPAN TERIMA KASIH

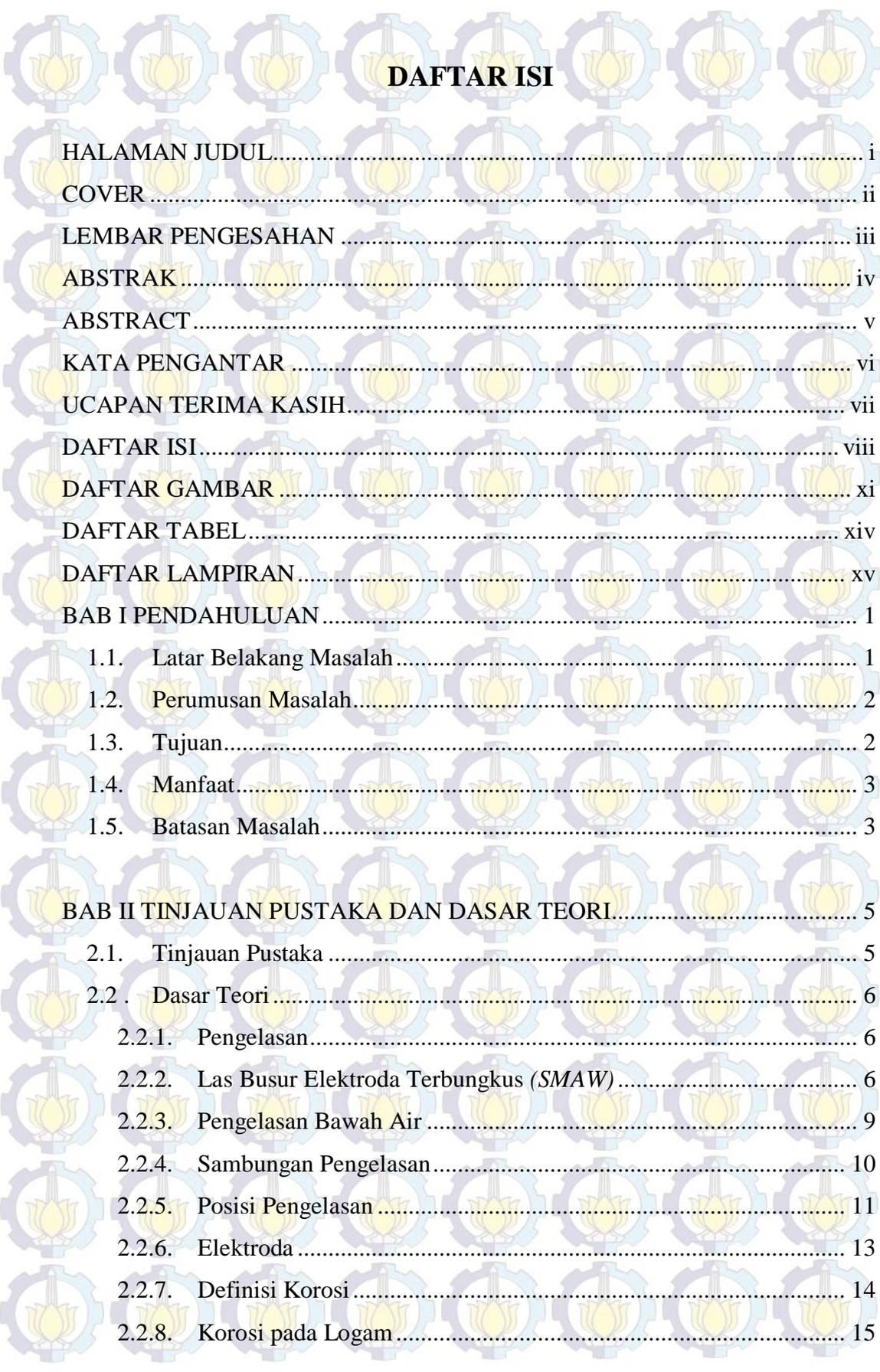
Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibunda Dewi Sumiati dan keluarga besar yang telah memberikan segala do'a, kasih sayang, perhatian, dukungan, kepercayaan, kesabaran, dan cinta selama masa kuliah hingga dapat diselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pembimbing tugas akhir Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc. dan Bapak Nur Syahroni, ST, MT. atas bimbingan dan ilmu-ilmunya dalam pengerjaan tugas akhir ini. Kepada Bapak Dr. Ir. Suntoyo, M.eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST, MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Kelautan, Bapak Drs. Mahmud Mustain, M.Sc, Ph.D. selaku dosen wali yang selalu memberi pengarahan, serta kepada semua Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Kelautan atas semua bimbingan dan ilmunya. Semoga bimbingan yang bapak dan ibu berikan dicatat sebagai amal ibadah oleh Allah SWT.

Terima kasih juga penulis tujukan kepada Bapak Pardi selaku welder dan Bapak Adrian selaku teknisi penguji korosi yang telah mensukseskan tugas akhir ini, para senior yang telah mengajari dan mengamalkan ilmunya kepada saya, teman-teman seperjuangan LEVIATHAN yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan dan dorongan. Serta teman-teman kos yang selalu menemani dalam suka maupun duka. Sukses untuk kalian semua semoga mendapat balasan dari Allah SWT.

Surabaya, Agustus 2014

Miftakhul Huda



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1. Pengelasan.....	6
2.2.2. Las Busur Elektroda Terbungkus (<i>SMAW</i>).....	6
2.2.3. Pengelasan Bawah Air.....	9
2.2.4. Sambungan Pengelasan.....	10
2.2.5. Posisi Pengelasan.....	11
2.2.6. Elektroda.....	13
2.2.7. Definisi Korosi.....	14
2.2.8. Korosi pada Logam.....	15

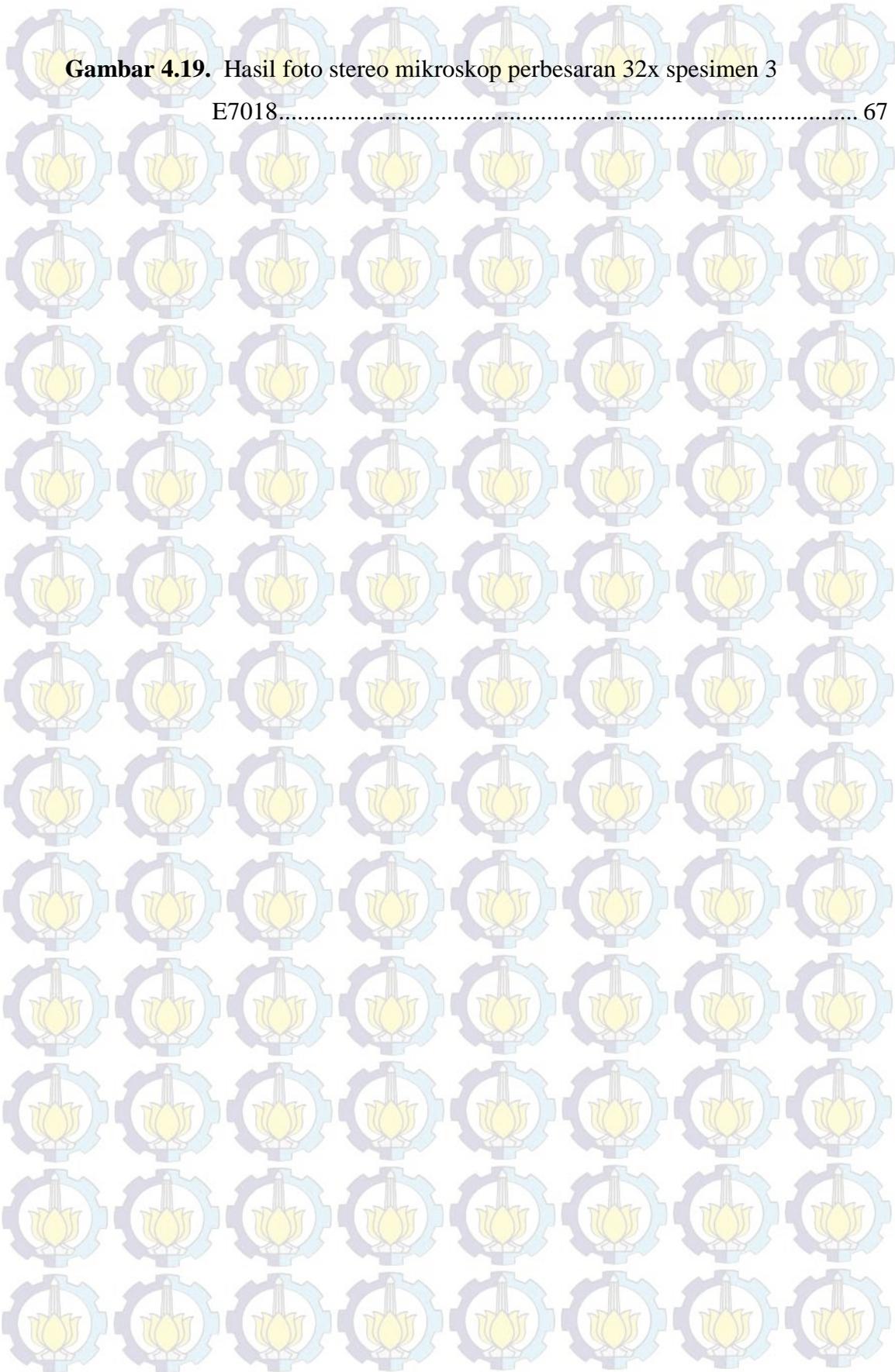
2.2.9.	Jenis-Jenis Korosi.....	15
2.2.10.	Laju Korosi.....	17
2.2.11.	Sel Tiga Elektroda.....	19
2.2.12.	Baja	20
2.2.13.	Foto Stereo Mikroskop.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2.	Persiapan Sebelum Pengujian.....	24
3.2.1.	Studi Literatur	24
3.2.2.	Persiapan Material, Alat, dan Media untuk Pengelasan Bawah Air	24
3.2.3.	Pengelasan Bawah Air	30
3.2.4.	Pembuatan Spesimen untuk Uji Korosi	32
3.2.5.	Persiapan Alat dan Media untuk Uji Korosi	33
3.2.6.	Pelaksanaan Uji Korosi.....	34
3.2.7.	Foto Stereo Mikroskop.....	36
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1.	Hasil Pengujian Laboratorium.....	39
4.1.1.	Hasil Pengujian Laboratorium Laju Korosi untuk Elektroda E6013	39
4.1.2.	Hasil Pengujian Laboratorium Laju Korosi untuk Elektroda E6019	42
4.1.3.	Hasil Pengujian Laboratorium Laju Korosi untuk Elektroda E7018	45
4.2.	Hasil Perhitungan Manual	48
4.2.1.	Perhitungan Manual untuk Elektroda E6013	48
4.2.2.	Perhitungan Manual untuk Elektroda E6019	49
4.2.3.	Perhitungan Manual untuk Elektroda E7018.....	50
4.3.	Hasil Foto Stereo Mikroskop.....	51

4.3.1.	Hasil Foto Stereo Mikroskop pada Sambungan Las dengan Elektroda E6013.....	52
4.3.2.	Hasil Foto Stereo Mikroskop pada Sambungan Las dengan Elektroda E6019.....	56
4.3.3.	Hasil Foto Stereo Mikroskop pada Sambungan Las dengan Elektroda E7018.....	60
4.4.	Analisa Perbandingan Nilai Laju Korosiyang Terjadi pada Pengelasan Bawah Air dengan Variasi Elektroda.....	64
4.5.	Analisa Bentuk Morfologi Menggunakan Foto Stereo Mikroskop.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
5.1.	Kesimpulan.....	69
5.2.	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

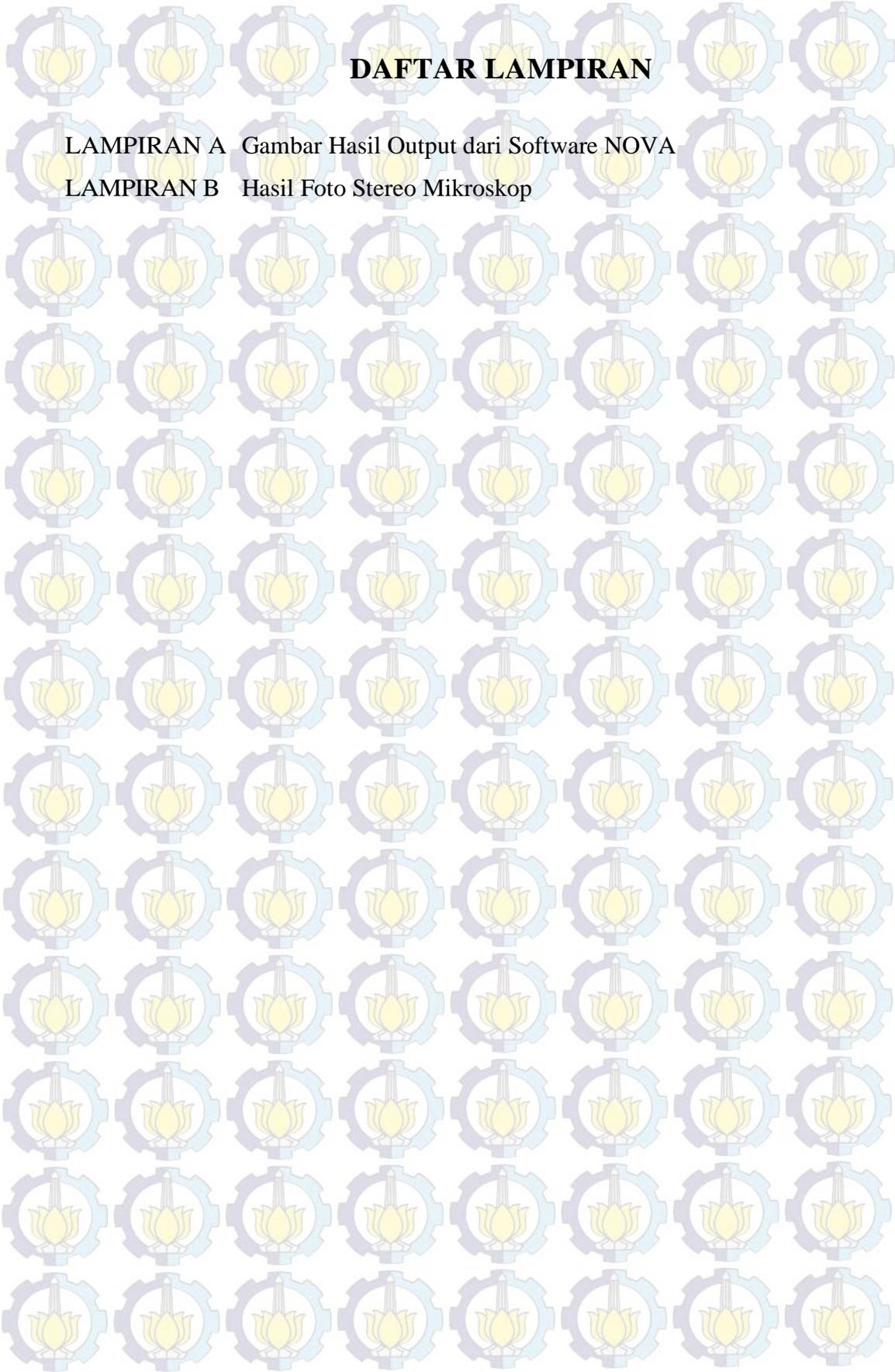
Gambar 2.1.	Skema proses SMAW.....	7
Gambar 2.2.	Skema rangkaian peralatan SMAW.....	8
Gambar 2.3.	Jenis-jenis sambungan dasar.....	11
Gambar 2.4.	Posisi pengelasan pada plat.....	12
Gambar 2.5.	Posisi pengelasan untuk las fillet.....	12
Gambar 2.6.	Pembagian bentuk korosi berdasarkan cara identifikasinya.....	17
Gambar 2.7.	Sel tiga elektroda.....	19
Gambar 3.1.	Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	23
Gambar 3.2.	Material baja ASTM A36 sebelum dibevel.....	24
Gambar 3.3.	Material baja ASTM A36 setelah dibevel.....	25
Gambar 3.4.	Mesin skrap.....	25
Gambar 3.5.	Elektroda yang sudah dilapisi dengan selotip.....	26
Gambar 3.6.	Mesin las dan gerinda.....	27
Gambar 3.7.	Larutan pengganti air laut yang siap dipakai.....	29
Gambar 3.8.	Larutan pengganti air laut yang dituangkan ke dalam bak.....	29
Gambar 3.9.	Pengelasan bawah air.....	30
Gambar 3.10.	Hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E6019.....	31
Gambar 3.11.	Hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E6013.....	31
Gambar 3.12.	Hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E7018.....	31
Gambar 3.13.	Cutting wheel.....	32
Gambar 3.14.	Spesimen yang telah dipotong.....	32
Gambar 3.15.	Alat sel tiga elektroda.....	33
Gambar 3.16.	Spesimen yang siap diuji korosi.....	34
Gambar 3.17.	Potensiostat.....	35
Gambar 3.18.	Potensiostat yang dihubungkan ke sel tiga elektroda.....	35
Gambar 3.19.	Output software NOVA.....	36
Gambar 3.20.	Kamera digital yang digunakan untuk mengambil gambar.....	37
Gambar 3.21.	Alat foto stereo mikroskop yang dihubungkan ke komputer.....	38
Gambar 3.22.	Hasil pengambilan gambar foto stereo mikroskop.....	38

Gambar 4.1. Nilai laju korosi menggunakan elektroda E6013.....	40
Gambar 4.2. Hasil pengujian laju korosi pada spesimen (a) 1, (b) 2, dan (c) 3 untuk elektroda E6013.....	41
Gambar 4.3. Nilai laju korosi menggunakan elektroda E6019.....	42
Gambar 4.4. Hasil pengujian laju korosi pada spesimen (a) 1, (b) 2, dan (c) 3 untuk elektroda E6019.....	44
Gambar 4.5. Nilai laju korosi menggunakan elektroda E7018.....	45
Gambar 4.6. Hasil pengujian laju korosi pada spesimen (a) 1, (b) 2, dan (c) 3 untuk elektroda E7018.....	47
Gambar 4.7. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 1 jenis elektroda E6013.....	53
Gambar 4.8. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 2 jenis elektroda E6013.....	54
Gambar 4.9. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 3 jenis elektroda E6013.....	55
Gambar 4.10. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 1 jenis elektroda E6019.....	57
Gambar 4.11. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 2 jenis elektroda E6019.....	58
Gambar 4.12. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 3 jenis elektroda E6019.....	59
Gambar 4.13. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 1 jenis elektroda E7018.....	61
Gambar 4.14. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 2 jenis elektroda E7018.....	62
Gambar 4.15. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 3 jenis elektroda E7018.....	63
Gambar 4.16. Diagram perbandingan nilai laju korosi	64
Gambar 4.17. Diagram perbandingan nilai rata-rata laju korosi	65
Gambar 4.18. Hasil foto stereo mikroskop perbesaran 32x spesimen 1 E6019.....	67



Gambar 4.19. Hasil foto stereo mikroskop perbesaran 32x spesimen 3

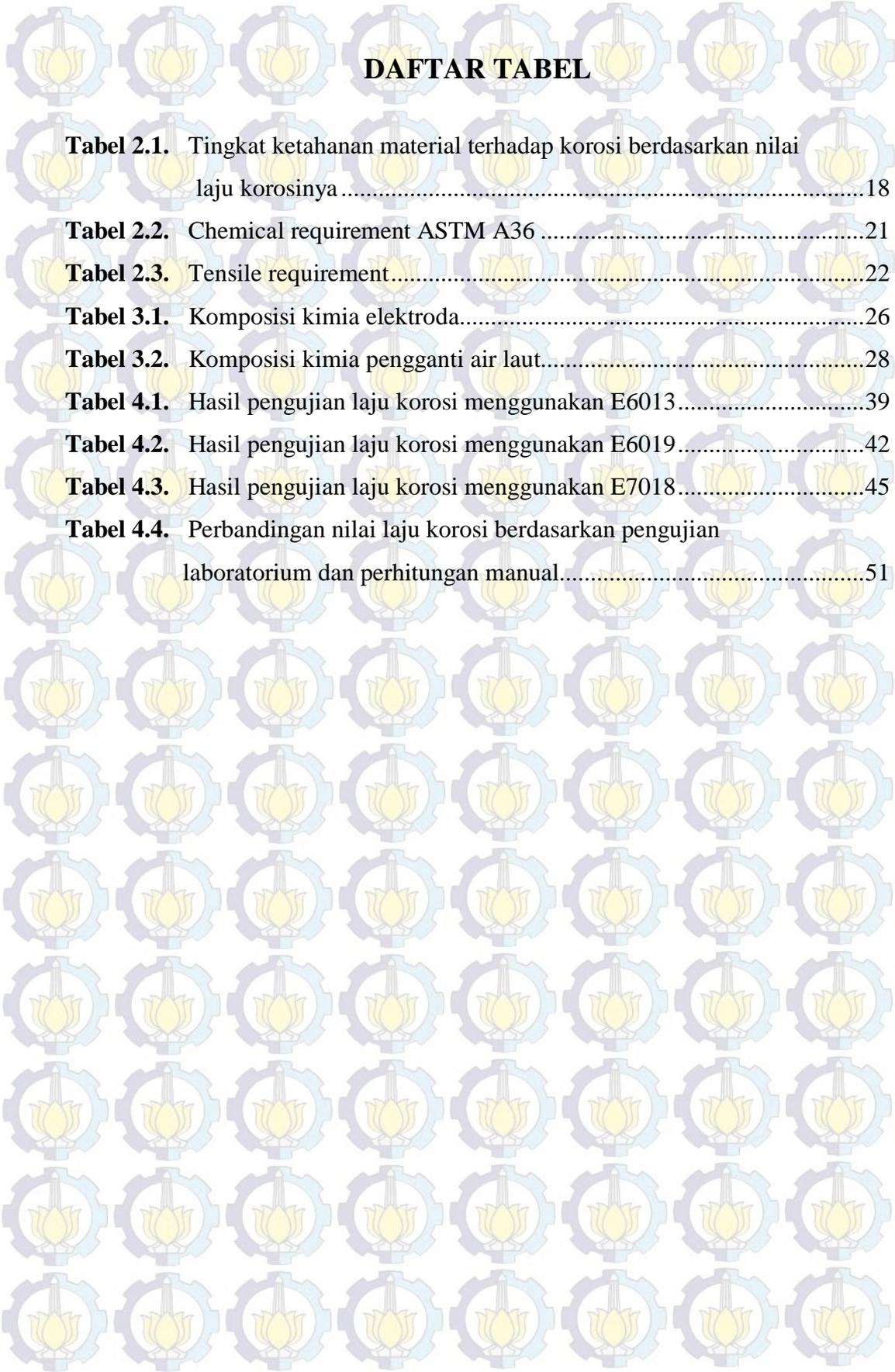
E7018..... 67



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Gambar Hasil Output dari Software NOVA

LAMPIRAN B Hasil Foto Stereo Mikroskop



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tingkat ketahanan material terhadap korosi berdasarkan nilai laju korosinya	18
Tabel 2.2. Chemical requirement ASTM A36	21
Tabel 2.3. Tensile requirement.....	22
Tabel 3.1. Komposisi kimia elektroda.....	26
Tabel 3.2. Komposisi kimia pengganti air laut.....	28
Tabel 4.1. Hasil pengujian laju korosi menggunakan E6013.....	39
Tabel 4.2. Hasil pengujian laju korosi menggunakan E6019.....	42
Tabel 4.3. Hasil pengujian laju korosi menggunakan E7018.....	45
Tabel 4.4. Perbandingan nilai laju korosi berdasarkan pengujian laboratorium dan perhitungan manual.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pekerjaan pengelasan. Hal ini disebabkan karena pengelasan mempunyai peranan penting. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan karena prosesnya yang lebih mudah dan efektif. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, bangunan lepas pantai, jembatan, bejana tekan, sarana transportasi, pipa, dan lain sebagainya.

Struktur anjungan lepas pantai, badan kapal, dan konstruksi lainnya yang ada di laut bisa mengalami kerusakan akibat kegagalan pada elemen-elemennya selama beroperasi dan kemungkinan mengalami kerusakan akibat sesuatu yang tidak diprediksi seperti badai dan benturan. Teknologi pengelasan bawah air digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada bagian yang terendam air. Pada pelaksanaannya, pekerjaan pengelasan di darat masih merupakan prioritas utama sedangkan pengelasan di bawah air adalah alternatif lain yang dipilih jika tidak memungkinkan untuk dikerjakan di darat. Ada beberapa keuntungan yang didapat dari teknik pengelasan bawah air, diantaranya adalah biaya yang relatif lebih murah dan persiapan yang dibutuhkan jauh lebih singkat dibanding dengan teknik yang lain, seperti jika harus menggunakan cara perbaikan dengan mengangkat badan kapal, bangunan lepas pantai dan konstruksi lainnya ke atas permukaan air maka akan menghabiskan biaya dan waktu yang lebih boros.

Pengelasan bawah air memiliki kelemahan mendasar, yaitu kualitas pengelasan yang kurang baik dibandingkan dengan pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air karena terbentuknya banyak cacat las. Selain itu, pengelasan bawah air memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi dimana sangat mempengaruhi sifat mekanisnya, seperti lebih getasnya logam lasan, mengurangi keuletan, dan meningkatkan porositas. Ini merupakan beberapa perbedaan antara

pengelasan bawah air dan pengelasan di udara terbuka. Perbedaan lainnya adalah pada pengelasan bawah air banyak kandungan hidrogen yang terdapat pada logam lasan sehingga menyebabkan embrittlement, retak, dan porositas.

Masukan panas (heat input) pada pengelasan bisa menghasilkan terjadinya tegangan sisa. Akibat adanya tegangan sisa bisa menyebabkan korosi di daerah dekat sambungan las. Masukan panas pengelasan dipengaruhi oleh besarnya arus las (I), voltase (V), dan kecepatan pengelasan (v). Tiap jenis elektroda yang akan dipakai dalam pengelasan bawah air membutuhkan besar arus dan voltase listrik yang berbeda-beda, sehingga masukan panas yang dihasilkan juga berbeda. Dengan demikian tegangan sisa yang dihasilkan akan berbeda yang pada akhirnya menyebabkan laju korosi yang berbeda.

Laju korosi pada daerah yang di las sangat menentukan umur dari suatu konstruksi. Maka dari itu dalam melakukan pekerjaan pengelasan diperlukan pemilihan elektroda yang cocok sehingga diperoleh hasil pengelasan yang maksimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa laju korosi pada pengelasan bawah air dengan variasi elektroda untuk mengetahui elektroda mana yang cocok digunakan dalam proses pengelasan bawah air dengan hasil yang paling baik dan mempunyai nilai laju korosi yang paling kecil.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan Masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Berapa nilai laju korosi pada tiap sambungan las SMAW bawah air pada baja ASTM A36 dengan jenis elektroda E6013, E6019, dan E7018?
2. Faktor apa yang mempengaruhi perbedaan laju korosi pada ketiga jenis elektroda tersebut?
3. Bagaimana bentuk morfologi pada permukaan daerah pengelasan dengan menggunakan foto Stereo Mikroskop?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai laju korosi pada tiap sambungan las SMAW bawah air pada baja ASTM A36 dengan jenis elektroda E6013, E6019, dan E7018.
2. Mengetahui faktor apa yang mempengaruhi perbedaan laju korosi pada ketiga jenis elektroda tersebut.
3. Mengetahui bentuk morfologi pada permukaan daerah pengelasan dengan menggunakan foto Stereo Mikroskop

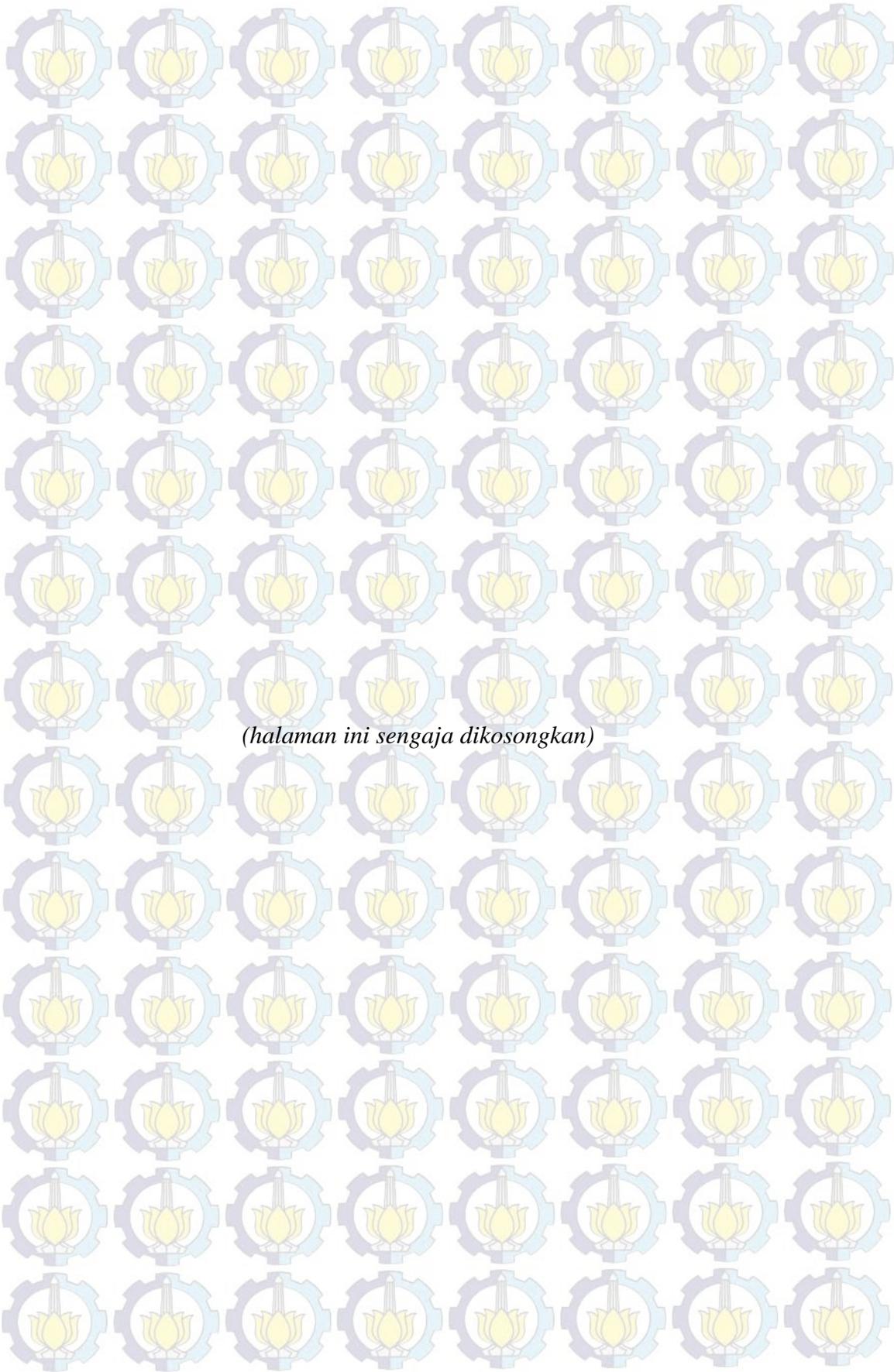
1.4. Manfaat

Dari hasil analisa diharapkan dapat memberikan informasi untuk pekerjaan pengelasan tipe SMAW bawah air. Terutama pada pemilihan jenis elektroda yang akan digunakan agar dapat memperoleh nilai laju korosi yang sekecil mungkin. Serta akan memberikan masukan berharga tentang pekerjaan pengelasan bawah air. Sehingga bisa digunakan untuk mengantisipasi masalah-masalah yang ada pada pekerjaan pengelasan bawah air.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Material yang diuji adalah baja ASTM A36.
2. Metode pengelasan yang digunakan adalah metode SMAW.
3. Posisi pengelasan adalah 1G.
4. Elektroda yang digunakan adalah yang diklasifikasikan oleh AWS (*American Welding Society*) dengan jenis E6013, E6019, dan E7018.
5. Menggunakan sel tiga elektroda dalam uji laju korosi dengan larutan FeCl_3 .



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Agastama (2010), pada tugas akhirnya menjelaskan bahwa perbedaan laju korosi disebabkan adanya perbedaan masukan panas. Perbedaan masukan panas akan berpengaruh pada daerah sekitar pengelasan dan logam induknya, yaitu berupa perambatan panas dan kekerasan material. Besar masukan panas berbanding terbalik dengan laju pendinginan (CRW atau *Critical Rate Welding*) dimana masukan panas yang tinggi akan menghasilkan laju pendinginan yang rendah. Besar laju pendinginan (CRW) juga berpengaruh terhadap bentuk butir yang terjadi. Laju pendinginan yang cepat akan menghasilkan butir lebih halus, lebih kecil dan lebih rapat yang menyebabkan logam las menjadi keras dan getas.

Burhani (2001) melakukan percobaan dengan mengelas baja karbon rendah ss-41 menggunakan beberapa macam elektroda standar AWS. Dalam percobaan ini dilakukan analisa perbandingan laju korosi *weld metal* dan HAZ pada pengelasan karbon rendah ss-41 dengan menggunakan elektroda E7016, E7018, E7010. Pengukuran laju korosi dilakukan dengan cara tes polarisasi pada larutan NaCl setelah dilakukan dengan pengelasan SMAW menggunakan ketiga jenis elektroda tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa laju korosi pengelasan dengan elektroda E7016 memiliki nilai paling kecil dibandingkan dengan E7018 dan E7010, tetapi laju korosi hasil las dengan elektroda-elektroda tersebut masih berada pada level yang diijinkan.

Muvidah (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh jenis proses las dan salinitas terhadap sifat mekanik *weld joint* material baja pada *underwater welding*. Las bawah air dilakukan dengan membandingkan metode SMAW dan FCAW *wet welding* dengan variasi salinitas 33‰ dan 37‰ serta dilakukan di darat sebagai pembanding. Melalui uji tarik dan uji kekerasan diperoleh kekuatan tarik dan kekerasan material yang dilas dengan proses las FCAW lebih besar dibanding dengan proses las SMAW *underwater* pada salinitas 37‰. Dan dari pengamatan metalografi baik dengan proses las SMAW maupun FCAW,

diketahui struktur mikronya terbentuk martensit pada pengelasan yang dilakukan di lingkungan laut salinitas 37‰ lebih banyak daripada yang dilakukan di lingkungan laut salinitas 33‰ maupun di darat.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengelasan

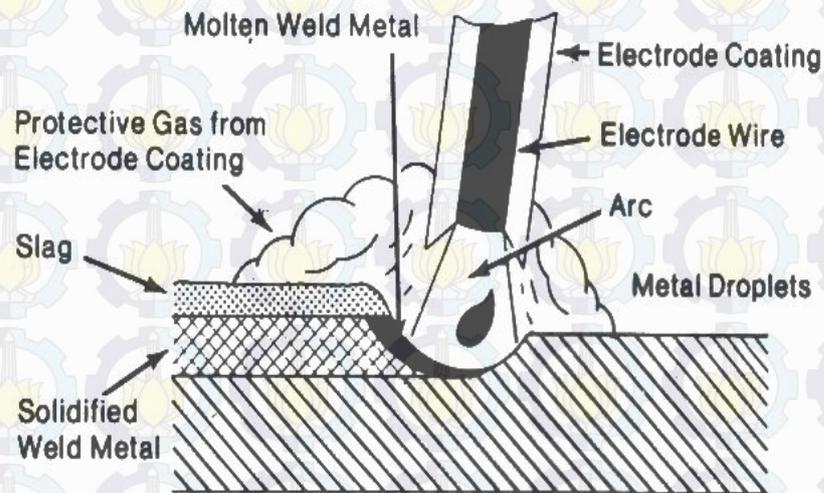
Menurut AWS, proses pengelasan didefinisikan sebagai “proses penyambungan yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi” (Syahroni, 2001).

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak, dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. (Anggaretno, 2012).

Pemanasan yang dilakukan dengan menggunakan busur nyala listrik (gas pembakar) dimana bagian logam yang akan disambungkan dilelehkan dengan busur nyala listrik tersebut sehingga keduanya bisa saling menempel dan menjadi satu dengan kuat.

2.2.2. Las Busur Elektroda Terbungkus (SMAW)

Las busur elektroda terbungkus (SMAW) adalah “proses las dimana panas dihasilkan oleh busur listrik akibat tersentuhnya ujung elektroda yang terbungkus fluks dengan logam induk”. Selama proses pengelasan, cairan logam las dilindungi oleh gas yang dihasilkan dari terbakarnya fluks yang membungkus elektroda. Proses las ini biasa dikenal oleh kalangan awam sebagai las listrik atau nama lainnya adalah las elektroda batang (*stick electrode welding*).



Gambar 2.1. Skema proses SMAW (Syahroni, 2001)

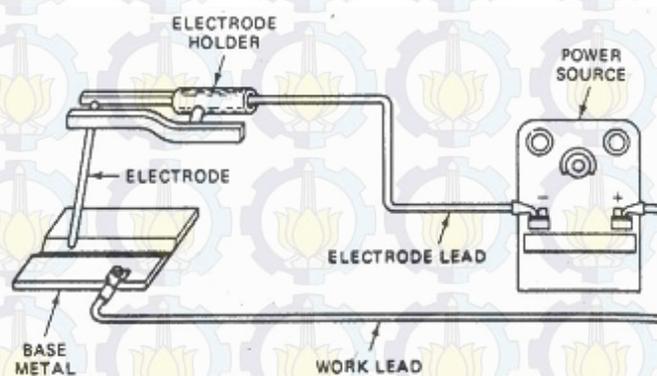
- Prinsip Kerja

Proses kerja SMAW (Gambar 2.1) dimulai dari terbentuknya busur listrik yang dihasilkan dari tersentuhnya ujung elektroda dengan logam induk. Panas yang dihasilkan busur listrik akan mencairkan sebagian permukaan logam induk dan ujung elektroda. Cairan logam dari logam induk dan elektroda tersebut akan membentuk deposit las. Deposit las ini dilindungi oleh terak yang mengambang di atas cairan logam akibat berat jenis yang lebih ringan. Terak ini dihasilkan oleh terbakarnya lapisan fluks yang membungkus elektroda. Di samping menjadi terak terbakarnya lapisan fluks ini juga akan menghasilkan gas yang akan melindungi cairan logam las dari atmosfer. Sebagian besar cairan logam dari kawat las akan berpindah menuju ke daerah las, tetapi ada sebagian kecil cairan logam yang memercik keluar dari daerah lasan, yang disebut sebagai spatter.

- Peralatan

Pada Gambar 2.2 diperlihatkan diagram rangkaian peralatan untuk SMAW. Peralatan dan bahan yang diperlukan adalah mesin las, kabel las, pemegang elektroda, logam induk dan elektroda. Kabel las digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari mesin las ke busur yang terdiri dari *electrode*

lead, yaitu kabel yang menghubungkan mesin las ke elektroda dan *work lead*, yaitu kabel yang menghubungkan mesin las dengan logam yang akan dilas. Mesin las berfungsi menyediakan energi listrik dengan arus dan tegangan tertentu. Karakteristik luaran dari mesin las untuk SMAW ini harus jenis arus konstan (*constan-current* – CC). Range arus listrik yang dihasilkan adalah 25 sampai dengan 500 A, sedangkan tegangan busur bervariasi dari 15 sampai dengan 35V. Dan peralatan lainnya adalah pemegang elektroda. Pemegang elektroda ini berfungsi untuk menjepit ujung elektroda sekaligus mengalirkan arus listrik. Pemegang elektroda ini harus memiliki isolator yang baik untuk mencegah sengatan listrik dan panas.



Gambar 2.2. Skema rangkaian peralatan SMAW (Syahroni, 2001)

- Keuntungan dan Kegunaannya

SMAW adalah jenis las busur yang paling terkenal. Proses las ini mempunyai fleksibilitas yang tinggi dan bisa digunakan untuk mengelas berbagai jenis logam dengan posisi bermacam-macam serta ketebalan yang bervariasi. Biasanya digunakan untuk proses fabrikasi, reparasi dan pemeliharaan baik di ruangan maupun di lapangan terbuka

- Keterbatasan

Keterbatasan yang paling nyata dari SMAW adalah diperlukannya waktu berhenti untuk pergantian elektroda, jika panjang elektroda tinggal kira-kira 5 cm. Disamping itu diperlukan pembersihan terak sebelum pengelasan

dilanjutkan untuk menghindari cacat *slag inclusion*. Keterbatasan lainnya adalah penggunaan elektroda hanya sekitar 65% saja dari keseluruhan yang terpakai, selebihnya terbuang percuma.

2.2.3. Pengelasan Bawah Air

Teknologi pengelasan (*welding*) sering sekali digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada badan kapal, bangunan lepas pantai serta konstruksi lainnya yang terendam air. Pada pelaksanaannya, pengelasan di permukaan air masih merupakan prioritas utama sedangkan pengelasan di bawah air adalah alternatif lain yang dipilih bilamana tidak memungkinkan untuk dikerjakan di permukaan air. Ada beberapa keuntungan yang didapat dari teknik pengelasan ini, diantaranya adalah biaya yang relatif lebih murah dan persiapan yang dibutuhkan jauh lebih singkat dibanding dengan teknik yang lain, namun ada hal-hal lain yang mesti dipertimbangkan sebelum mengaplikasikannya. Selama masa operasinya, struktur lepas pantai akan membutuhkan beberapa intervensi bawah air untuk perawatan, perbaikan atau bahkan untuk sebuah perubahan pada material yang akan dikerjakan, seperti:

1. Penguatan untuk resertifikasi struktur yang telah habis desain life-nya.
2. Perbaikan karena kesalahan desain.
3. Perbaikan karena kerusakan yang disebabkan oleh:
 - a. Kesalahan pada saat instalasi,
 - b. Insiden, misalkan tertabrak kapal, badai,
 - c. kejatuhan benda dari atas dek, dan sebagainya,
 - d. keretakan pada sambungan karena keadaan lingkungan (ombak, angin).
4. Penambahan struktur karena adanya perubahan operasi (pemasangan riser, clamp, caisson, dan sebagainya).
5. Pemasangan anode.

Ada dua kategori utama pada teknik pengelasan di dalam air adalah pengelasan basah (*Wet Underwater welding*) dan pengelasan kering (*Dry Underwater Welding*).

➤ Pengelasan Basah (*Wet Underwater Welding*)

Dimana proses pengelasan ini berlangsung dalam keadaan basah dalam arti bahwa elektroda maupun benda berhubungan langsung dengan air. Metode pengelasan memberikan hasil yang kurang memuaskan, disamping memerlukan *welder* yang memiliki keahlian menyelam yang tangguh dan memerlukan pakaian khusus untuk selam, gelembung gas yang terjadi selama proses pengelasan akan sangat mengganggu pengamatan *welder* tersebut.

➤ Pengelasan Kering (*Dry Underwater Welding*)

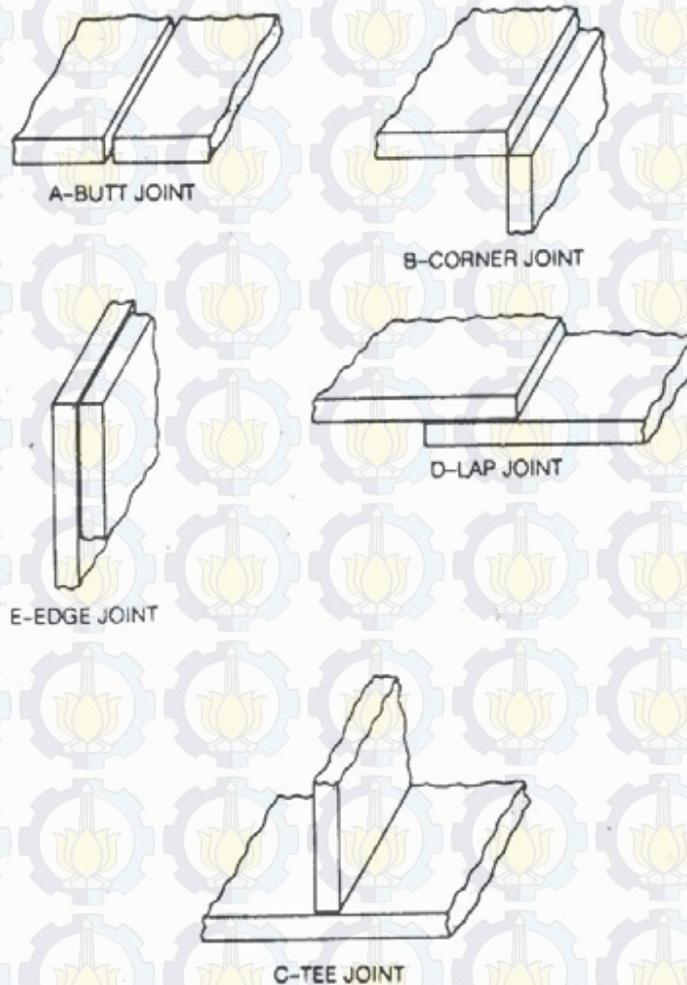
Metode pengelasan ini tidak berbeda dengan pengelasan pada udara terbuka. Hal ini dapat dilakukan dengan bantuan suatu peralatan yang bertekanan tinggi yang biasa disebut dengan *Dry Hyperbaric Weld Chamber*, dimana alat ini secara otomatis didesain kedap air seperti layak desain kapal selam. Seorang *welder/diver* sebelum menjalankan tugas ini tidak boleh langsung terjun pada kedalaman yang dituju, tetapi harus menyesuaikan terlebih dahulu step by step tekanan yang terjadi pada kedalaman tertentu sampai dapat menyesuaikan tekanan yang terjadi pada kedalaman yang dituju, otomatis untuk pengelasan 1 joint bisa memakan waktu yang cukup lama.

2.2.4. Sambungan Pengelasan

Sambungan (*joint*) merupakan pertemuan dari beberapa komponen atau sisi dari suatu komponen yang telah disatukan. Ada lima jenis sambungan dasar (Gambar 2.3), yaitu :

- Sambungan tumpul (*butt joint*), adalah sambungan dua komponen yang bidangnya hampir sama.
- Sambungan sudut (*corner joint*), adalah sambungan dua komponen yang ujung-ujung bidangnya bertemu pada satu garis dan membentuk sudut tertentu.
- Sambungan T (*T joint*), adalah sambungan yang bidang-bidangnya membentuk huruf T.

- Sambungan tumpang (*lap-joint*) adalah sambungan yang bagian-bagiannya menumpang satu dengan lainnya pada bidang yang paralel.
- Sambungan sisi (*edge joint*) adalah sambungan pada ujung sisi beberapa bagian yang disatukan secara paralel.



Gambar 2.3. Jenis-jenis sambungan dasar (Syahroni, 2001)

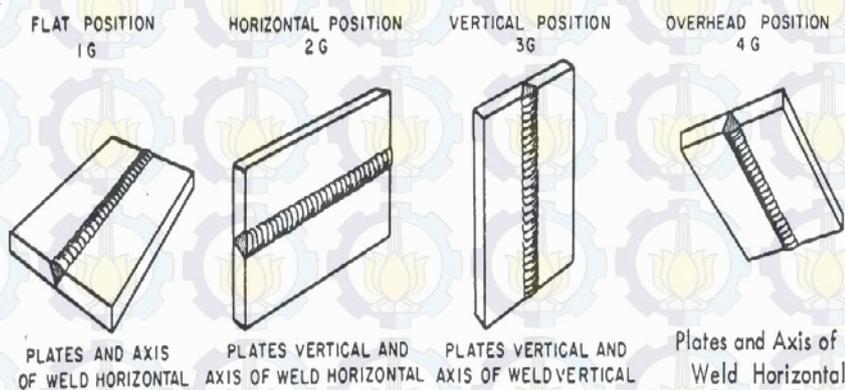
2.2.5. Posisi Pengelasan

Pengelasan pada sebuah struktur dapat dilakukan dengan berbagai posisi disesuaikan dengan letak sambungan tersebut berada. Terdapat 4 jenis posisi dasar pada pengelasan (Gambar 2.4 dan 2.5), yaitu :

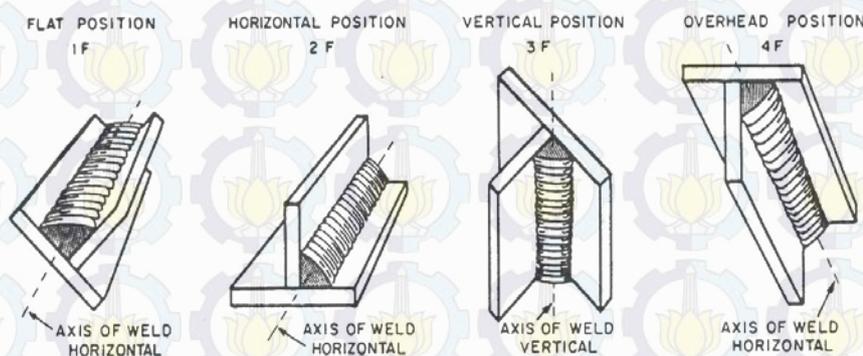
- Posisi datar (*flat*) adalah posisi pengelasan yang dilakukan tepat di bagian atas sambungan, dimana sumbu las berada pada bidang horisontal dan

muka las (*weld face*) menghadap ke arah atas. Posisi ini disebut juga dengan posisi di bawah tangan (*downhand*).

- Posisi horisontal adalah posisi pengelasan dimana sumbu pengelasan berada pada bidang horisontal tetapi muka las tidak menghadap ke atas (ada perbedaan arah muka las pada plat dan las fillet, seperti terlihat pada Gambar 2.4 & 2.5).
- Posisi vertikal adalah posisi pengelasan dimana sumbu pengelasan berada pada bidang vertikal. Pengelasan bisa dilakukan dari bawah ke atas (*vertical up*) atau dari atas ke bawah (*vertical down*).
- Posisi di atas kepala (*overhead*) adalah posisi pengelasan dimana sumbu pengelasan berada pada bidang horisontal tetapi muka las menghadap ke bawah.



Gambar 2.4. Posisi pengelasan pada plat (Syahroni, 2001)



Gambar 2.5. Posisi pengelasan untuk las fillet (Syahroni, 2001)

2.2.6. Elektroda

Elektroda karbon maupun logam umumnya digunakan dalam jenis las busur. Kedua jenis elektroda tersebut mengalirkan arus listrik antara elektroda dan busur listrik. Pada las busur elektroda logam, elektroda juga merupakan sumber logam pengisi. Elektroda dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu elektroda yang dilapisi dan tak dilapisi (Agastama, 2010)

Fungsi lapisan elektroda dapat diringkas sebagai berikut :

1. Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair sehingga mencegah oksigen dan nitrogen memasuki logam las.
2. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
3. Menyediakan terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan logam las sehingga menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
4. Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan.
5. Membantu mengontrol ukuran frekuensi tetesan logam cair.

Penjelasan standarisasi kode elektroda sebagai contoh elektroda E6013 adalah sebagai berikut :

E menyatakan elektroda busur listrik

XX (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik

X (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan

X (angka keempat) menyatakan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Karakteristik dari elektroda E6013, E6019, dan E7018.

- E6013

Elektroda jenis E6013 merupakan elektroda yang mempunyai tipe fluks High Titania Potassium dimana elektroda E6013 digunakan untuk pengelasan penetrasi dangkal. Bisa digunakan untuk pengelasan material baja karbon. Arus yang digunakan berkisar antara 80-130 ampere. E6013 bisa digunakan

untuk semua posisi pengelasan yakni F-flat, V-Vertikal, H-Horizontal, dan OH-Ovehead. Serta tipe arus pengelasan yang bisa digunakan adalah ac, dcep, dan dcen.

- E6019

Elektroda jenis E6019 merupakan elektroda yang mempunyai tipe fluks Iron Oxide Titania Pottasium dimana elektroda E6019 digunakan untuk pengelasan penetrasi dalam. Bisa digunakan untuk pengelasan material baja karbon. Arus yang digunakan berkisar antara 80-140 ampere. E6019 bisa digunakan untuk semua posisi pengelasan yakni F-flat, V-Vertikal, H-Horizontal, dan OH-Ovehead. Serta tipe arus pengelasan yang bisa digunakan adalah ac, dcep, dan dcen.

- E7018

Elektroda jenis E7018 merupakan elektroda yang mempunyai tipe fluks Low-Hydrogen Pottasium, Iron Powder dimana elektroda E7018 digunakan untuk pengelasan penetrasi menengah. Bisa digunakan untuk pengelasan material baja karbon tinggi, baja paduan rendah dan baja kekuatan tinggi. Arus yang digunakan berkisar antara 100-150 ampere. E7018 bisa digunakan untuk semua posisi pengelasan yakni F-flat, V-Vertikal, H-Horizontal, dan OH-Ovehead. Serta tipe arus pengelasan yang bisa digunakan adalah ac atau dcep.

2.2.7. Definisi Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya. Berdasarkan pada teori kimia, korosi terjadi akibat adanya reaksi oksidasi dan reduksi antara material dengan lingkungannya. Reaksi oksidasi diartikan sebagai reaksi yang menghasilkan elektron dan reduksi adalah reaksi antara dua unsur yang mengikat elektron (Anggaretno, 2012).

Korosi didefinisikan sebagai penurunan sifat material karena hasil interaksi antara material dan lingkungannya yang berakibat menurunnya kualitas material tersebut. Dengan menurunnya kualitas material tersebut maka material itu akan

cepat mengalami kerusakan. Dan jika material itu sudah mengalami kerusakan maka akan berdampak pada material yang keropos, berlubang, menipis dan bahkan mengalami patah.

2.2.8. Korosi pada Logam

Bahan logam adalah bahan yang paling banyak digunakan, tetapi kebanyakan logam mempunyai kelemahan terhadap serangan korosi, sehingga perlindungan logam terhadap korosi perlu menjadi perhatian yang serius. Ada beberapa hal penting mengenai pengertian korosi yang menyangkut logam, yaitu :

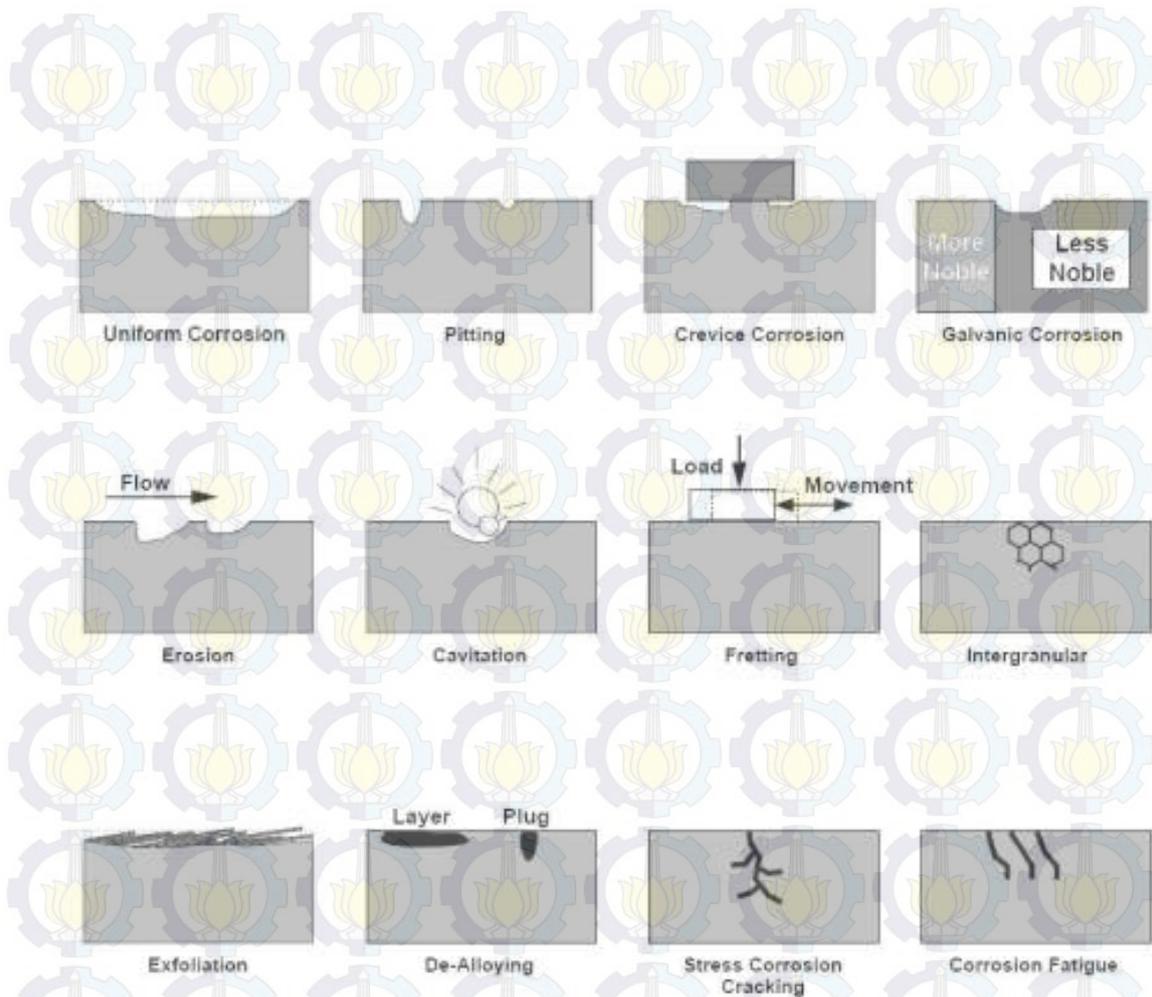
1. Korosi yang terjadi pada logam adalah suatu reaksi kimia yang berlangsung sebanyak setengah reaksi saja.
2. Korosi adalah proses yang tidak dikehendaki, meskipun ada beberapa hal yang diperlukan, namun ini hanya sedikit dan sifatnya sangat spesifik.
3. Penurunan mutu logam selain melibatkan reaksi kimia juga melibatkan elektrokimia, yaitu antara bahan-bahan yang bersangkutan mengalami perpindahan elektron.
4. Lingkungan adalah faktor yang sangat menentukan agar reaksi korosi dapat berlangsung.

2.2.9. Jenis-Jenis Korosi

Berdasarkan penyebabnya, korosi dapat dibedakan menjadi:

1. Korosi Homogen, yaitu jenis korosi yang sering dan umum terjadi pada konstruksi-konstruksi logam. Jenis ini biasanya dikategorikan menurut reaksi *electro-chemical* yang secara homogen terjadi karat ke seluruh bagian material yang terbuka.
2. Korosi Galvanik, yaitu korosi yang terjadi pada dua logam berbeda potensial dalam satu elektrolit. Logam yang mempunyai tahanan korosi kecil (anodik) akan terkorosi.
3. Korosi celah (*crevice corrosion*), yaitu korosi yang sering terjadi pada celah dan permukaan tertutup lainnya dari suatu logam yang terletak pada *corrosive media*. Tipe korosi jenis ini selalu dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap lewat lubang, gasket, *lap joint* maupun baut.

4. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*), yaitu korosi yang terjadi pada batas butir yang merupakan tempat mengumpulnya impurity atau presipitat dan lebih tegang.
5. Korosi sumuran (*pitting corrosion*), yaitu korosi yang terjadi akibat adanya sistem anoda pada logam yang terdapat konsentrasi ion Cl⁻ yang tinggi.
6. *Selective Leaching*, yaitu larutnya salah satu komponen dari suatu paduan dan mengakibatkan paduan yang tersisa akan menjadi berpori sehingga ketahanan korosi berkurang.
7. Korosi Erosi (*erosion corrosion*), yaitu korosi yang disebabkan oleh gerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan metal.
8. Korosi Tegangan (*stress corrosion*), yaitu korosi akibat adanya retakan akibat tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan.
9. Korosi Biologi, yaitu kerusakan logam oleh proses korosi sebagai akibat langsung maupun tidak langsung dari aktivitas organisme hidup, baik mikroorganisme maupun makroorganisme.
10. Korosi Kavitasi, merupakan bentuk khas dari korosi erosi. Kerugian kavitasi disebabkan oleh formasi vapour bubble dekat permukaan metal. Kerugian kavitasi terjadi dalam hidrolis turbin, propeller, pompa dan permukaan dimana kecepatan aliran dan tekanan terjadi.
11. Korosi Fretting, yaitu korosi yang terjadi pada daerah bersinggungan di antara material di bawah beban akibat getaran dan slip. Fretting ini berupa lubang atau alur dalam metal yang mengalami korosi di sekelilingnya.
12. Corrosion Fatigue, merupakan kegagalan karena fatigue corrosion terjadi pada tegangan di bawah yield point dan setelah adanya pembebanan cyclic. Retak merambat sampai luas penampang lintang dari logam berkurang sampai pada suatu titik dimana ultimate strength dilalui dan brittle fracture terjadi secara cepat.



Gambar 2.6. Pembagian bentuk korosi berdasarkan cara identifikasinya (Handbook of Corrosion Engineering, 2000)

2.2.10. Laju Korosi

Laju korosi adalah perambatan korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah dengan menghitung laju korosi. Karena laju korosi sangat berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis material. Cara menghitung laju korosi pada umumnya dengan menggunakan 2 cara yaitu metode kehilangan berat dan metode elektrokimia.

Metode elektrokimia adalah salah satu cara untuk menghitung laju korosi menggunakan sel elektrokimia (sel tiga elektroda) yang dilakukan dengan memberikan potensial pada benda uji sehingga akan terjadi proses korosi dimulai dari reaksi katodik hingga reaksi anodik. Kelebihan metode ini adalah laju korosi

dapat langsung diketahui pada saat di ukur sehingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia menggunakan sel tiga elektroda (pengujian laju korosi yang dipercepat) dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Faraday sebagai berikut :

$$CPR = \frac{k.a.i}{n.D} \text{ mmpy} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

CPR= *Corrosion penetrate rate*

k = Konstanta (0.00327 untuk mmpy)

a = Berat atom logam terkorosi (gram/mol)

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

D = Densitas logam terkorosi (gram/cm^3)

n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi

Satuan laju korosi disini bermacam macam sesuai satuan yang akan digunakan, dengan mm/th (Standar Internasional) atau mill/year (mpy, British).

Tingkat ketahanan dari material itu sendiri dapat dilihat dari nilai laju korosinya, korosif atau tidaknya material tersebut bisa dilihat berdasarkan satuan yang digunakan sesuai tabel, dan tingkat ketahanan korosi material dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1. Tingkat ketahanan material terhadap korosi berdasarkan nilai laju korosinya

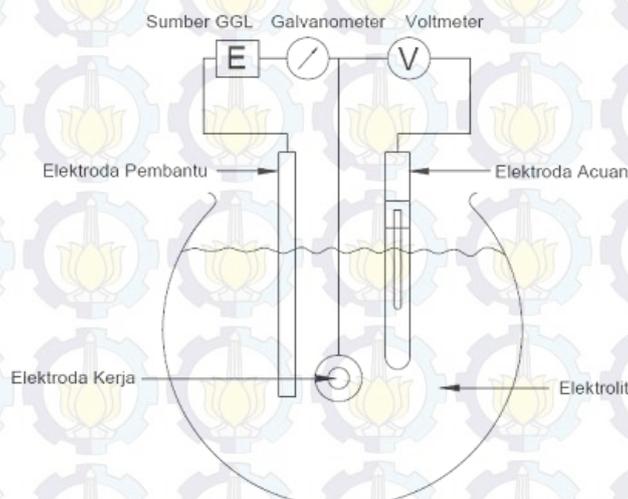
Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{yr}$	Nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 – 0.1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Good	5 – 20	0.1 – 0.5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
Fair	20 – 50	0.5 – 1	500 – 1000	50 – 100	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 - 5000	150 - 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

2.2.11. Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda adalah mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya berbeda). Dan juga merupakan perangkat laboratorium baku yang digunakan untuk uji korosi yang terdiri dari konfigurasi beberapa komponen.

Komponen sel tiga elektroda ditunjukkan pada Gambar 2.7, dengan keterangan bagian-bagiannya adalah:

- Elektroda kerja (*working electrode*) sebagai benda uji (anoda) yang dicelupkan pada fluida kerja. Ini sebutan yang diberikan kepada elektroda yang diteliti.
- Elektroda bantu (*auxiliary electrode*) yang digunakan untuk membantu memberikan potensial pada elektroda kerja dan mengangkut arus listrik yang timbul akibat reaksi korosi.
- Elektroda acuan (*reference electrode*) disebut juga elektroda pembanding untuk acuan potensial yang diberikan pada elektroda kerja serta potensial yang diberikan pada elektroda bantu. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan.



Gambar 2.7. Sel tiga elektroda (Tretthewey, 1991)

2.2.12. Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran biji besi (misalnya belerang dan phosphor) yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin. Sebagian lagi unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi/baja (misalnya silikon dan mangan). Selain itu, sering kali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam untuk memperoleh sifat tertentu sehingga jenis baja akan beragam.

Menurut komposisi kimianya, baja dapat digolongkan menjadi dua, yaitu baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang tidak mengandung sama sekali sejumlah unsur lain selain besi dan karbon. Baja masih mengandung unsur lain, tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan baja/besi, seperti mangan dan silikon, dan beberapa unsur lain seperti belerang, phosphor, oksigen, nitrogen dan lainnya yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil (Zakharov, 1962).

Baja karbon rendah (Low Carbon Steel/Mild Steel) merupakan baja karbon yang mempunyai kadar karbon sampai 0,30%. Baja karbon rendah sangat luas penggunaannya, yaitu sebagai baja konstruksi umum untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur-baut, pipa, pelat dan lain-lain. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi, mudah di-bending dan di-machining. Baja ini tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan pengerasan permukaan). Ada juga yang membagi kelompok ini, diantaranya adalah untuk kadar karbon yang sangat rendah, yaitu kurang dari 0,15% sebagai dead mild steel, yang biasanya digunakan untuk besi lembaran, besi ton, besi dtrip, dan lainnya (Zakharov, 1962).

Baja karbon menengah (Medium Carbon Steel) yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,30%-0,70% masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, tetapi dengan perlit yang cukup banyak. dengan kandungan perlit yang cukup banyak, baja karbon ini lebih kuat dan keras serta dapat dikeraskan akan tetapi

akan membuatnya lebih getas. Baja karbon jenis ini banyak digunakan untuk konstruksi mesin, seperti poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas, dll. yang lebih memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi (Zakharov, 1962).

Baja karbon tinggi (High Carbon Steel) mempunyai kadar karbon lebih dari 0,70% yang bersifat lebih kuat dan lebih keras, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja jenis ini digunakan untuk konstruksi mesin yang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi dan untuk perkakas yang memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk gunting, mata bor, reamer dan perkakas yang lain (Zakharov, 1962).

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tipe ASTM A36 yang masih merupakan baja karbon rendah. Dalam dunia industri kelautan baja tipe ASTM A36 sering digunakan dalam berbagai bidang contohnya digunakan sebagai bahan struktur bangunan lepas pantai, pipa transmisi minyak dan gas bertekanan rendah, dll. Baja ASTM A36 mempunyai komposisi material, *mechanic property* yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.2. Chemical requirement ASTM A36 (sumber ASTM A36-96)

Product	Plates				
	To ³ / ₄ [20] Inch	Over ³ / ₄ To 1 ¹ / ₂ [20 to 40] inch	Over 1 ¹ / ₂ To 2 ¹ / ₂ [40 to 65] inch	Over 2 ¹ / ₂ To 4 [65 to 100] inch	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	...	0.8-1.20	0.8-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Phosporus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Cooper, min, % when copper steel is Specified	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabel 2.3. Tensile Requirements (sumber ASTM A36-96)

Plates :	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^c
Plates :	
Elongation in 8 in [200mm], min, %	20
Elongation in 2 in [50mm], min, %	23

2.2.13. Foto Stereo Mikroskop

Stereo Mikroskop merupakan suatu jenis mikroskop yang hanya bisa digunakan untuk benda yang mempunyai ukuran relatif besar. Foto stereo mikroskop mempunyai perbesaran ukuran 7 sampai 30 kali. Benda yang diamati menggunakan foto stereo mikroskop ini dapat dilihat dalam bentuk 3 dimensi. Komponen utama pada stereo mikroskop ini hampir sama dengan komponen mikroskop cahaya. Ada beberapa perbedaan antara stereo mikroskop dan mikroskop cahaya sebagai berikut:

1. Ruang ketajaman lensa stereo mikroskop jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskop cahaya sehingga kita dapat melihat bentuk 3 dimensi dari benda yang diamati.
2. Sumber cahaya berasal dari atas sehingga objek yang tebal dapat diamati.
3. Perbesaran lensa okuler biasanya 3x, sehingga perbesaran objek total minimal sebesar 30x.

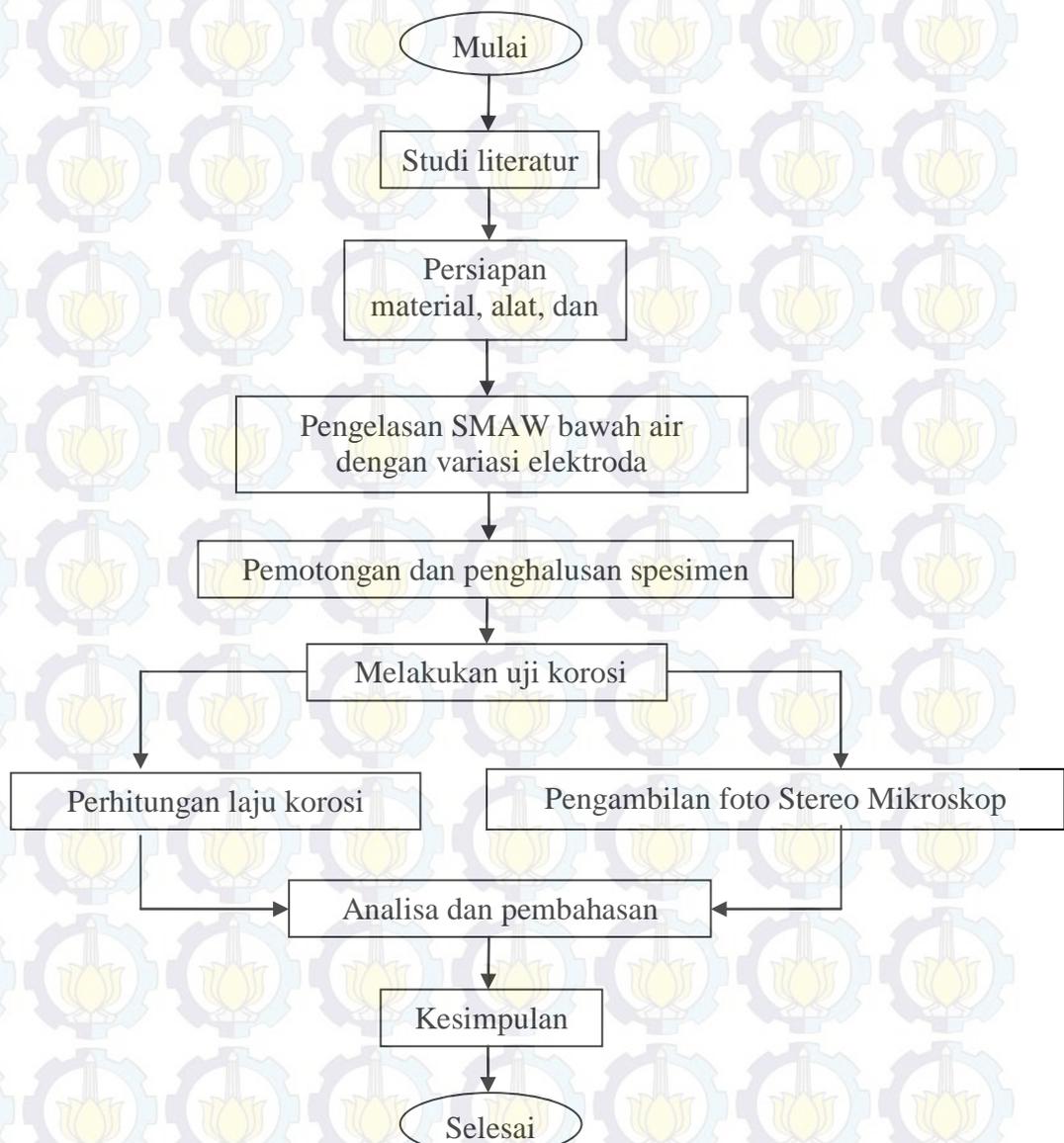
Pada bagian bawah mikroskop terdapat meja preparat. Pada daerah dekat lensa objektif terdapat lampu yang dihubungkan dengan transformator. Pengaturan fokus objek terletak di samping tangkai mikroskop, sedangkan pengaturan perbesaran terletak di atas pengaturan fokus.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini bisa dilihat pada diagram alir (*flowchart*) berikut:



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Persiapan Sebelum Pengujian

Persiapan yang dilakukan sebelum pengujian dilakukan dengan tujuan agar memperoleh hasil yang sesuai dengan apa yang diinginkan. Oleh karena itu diperlukan langkah-langkah yang terperinci, langkah-langkah yang dilakukan pada persiapan sebelum pengujian korosi dijelaskan pada sub bab berikut.

3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah berupa diktat, jurnal, tugas akhir, standar code, maupun informasi di internet yang berkaitan dengan:

- Pengelasan
- Korosi
- Elektroda
- Material ASTM A36

3.2.2. Persiapan Material, Alat, dan Media untuk Pengelasan Bawah Air

Material yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baja plat tipe ASTM A36. Dimana baja ASTM A36 termasuk baja lunak atau baja karbon rendah. Persiapan material untuk penelitian ini dilakukan di CV. Lasser Tunggal Surabaya. Baja dipotong dengan ukuran 350 mm x 100 mm x 10 mm sebanyak 6 buah karena pengujian menggunakan 3 variasi elektroda.



Gambar 3.2. Material baja ASTM A36 sebelum dibevel

Gambar 3.2 di atas merupakan material baja plat ASTM A36 yang belum dibevel. Kemudian masing-masing material tersebut dibevel dengan sudut 30° . Dan tipe sambungan las yang akan digunakan adalah sambungan single-V butt weld. Untuk bentuk material baja plat ASTM A36 yang sudah dibevel bisa dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 3.3. Material baja ASTM A36 setelah dibevel
Pembuatan bevel ini dilakukan di bengkel mitra dengan menggunakan mesin skrap. Mesin skrap yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4. Mesin skrap

Elektroda yang digunakan dalam pengelasan bawah air ini adalah elektroda tipe E6013, E6019 dan E7018 dengan diameter 3.2 mm. Dengan komposisi untuk masing-masing elektroda bisa dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Komposisi Kimia elektroda (sumber: AWS A5.1 M)

AWS Classification	Type of covering	Chemical Composition (weight percent)								
		c	mn	si	p	s	ni	cr	mo	v
E6019	Iron Oxide Titania Pottasium	0.1	0.58	0.11	0.16	0.009	0.3	0.2	0.3	0.08
E6013	High Titania Pottasium	0.08	0.38	0.33	0.16	0.01	0.3	0.2	0.3	0.08
E7018	Low- Hydrogen Pottasium, Iron Power	0.07	0.97	0.6	0.13	0.01	0.3	0.2	0.3	0.08

Sebelum digunakan untuk pengelasan bawah air elektroda yang akan digunakan sebelumnya dibungkus dengan selotip terlebih dahulu. Pelapisan elektroda dengan selotip bertujuan agar elektroda terlindung dari air saat dilakukan pengelasan bawah air. Elektroda yang sudah dilapisi menggunakan selotip bisa dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Elektroda yang sudah dilapisi dengan selotip

Peralatan yang akan digunakan dalam pelaksanaan pengelasan bawah air ini adalah mesin las SMAW yang ada di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Dan juga menggunakan mesin gerinda yang digunakan untuk membuat celah akar (*rootgap*)

serta digunakan untuk membersihkan dan menghaluskan material. Peralatan mesin las dan gerinda bisa dilihat pada Gambar 3.6.



(a)



(b)

Gambar 3.6. mesin las dan gerinda

Persiapan media yang akan digunakan yaitu larutan pengganti air laut dilakukan di laboratorium kimia analitik di jurusan D3 teknik kimia. Pembuatan larutan pengganti air laut ini mengacu pada code ASTM D11 41-98, “*Standard*

Specification for Substitute Ocean Water” dengan perincian seperti terlihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Komposisi Kimia Pengganti Air Laut (sumber: ASTM D1141-98)

Larutan	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba (NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.0000340
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

Tabel 3.2 di atas menunjukkan bahan yang akan digunakan untuk membuat larutan pengganti air laut pada kondisi salinitas 35 (35‰) sebanyak 10 liter. Dan perincian cara pembuatannya adalah sebagai berikut:

- a. Larutan 1 bervolume 200 ml terdiri dari:
MgCl₂, CaCl₂, dan SrCl₂
- b. Larutan 2 bervolume 100 ml terdiri dari:
KCl, NaHCO₃, KBr, H₃BO₄, SrCl₂, NaF

Cara pencampurannya yaitu : 245.3 gram NaCl dan 40.9 gram Na₂SO₄ dilarutkan pada 8 hingga 9 liter air murni (*aquades*). Kemudian larutan 1 dan 2 dimasukkan perlahan dengan vigorous stirring, sehingga dihasilkan 10 liter larutan pengganti air laut dengan salinitas 35 ‰. Larutan pengganti air laut yang sudah siap digunakan untuk pengelasan bisa dilihat pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7. Larutan pengganti air laut yang siap dipakai

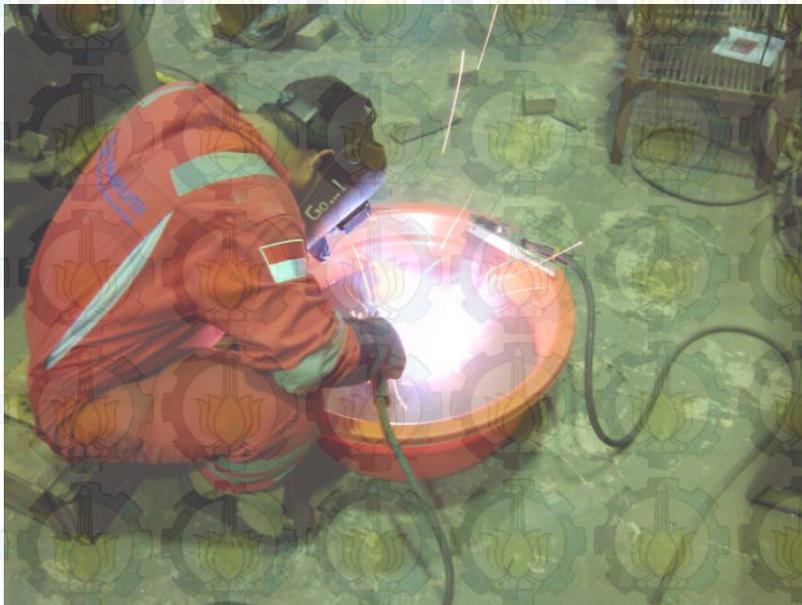
Kemudian larutan pengganti air laut dituangkan dalam bak yang telah disiapkan yang akan digunakan sebagai tempat pelaksanaan pengelasan bawah air seperti yang terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Larutan pengganti air laut yang dituangkan ke dalam bak

3.2.3. Pengelasan Bawah Air

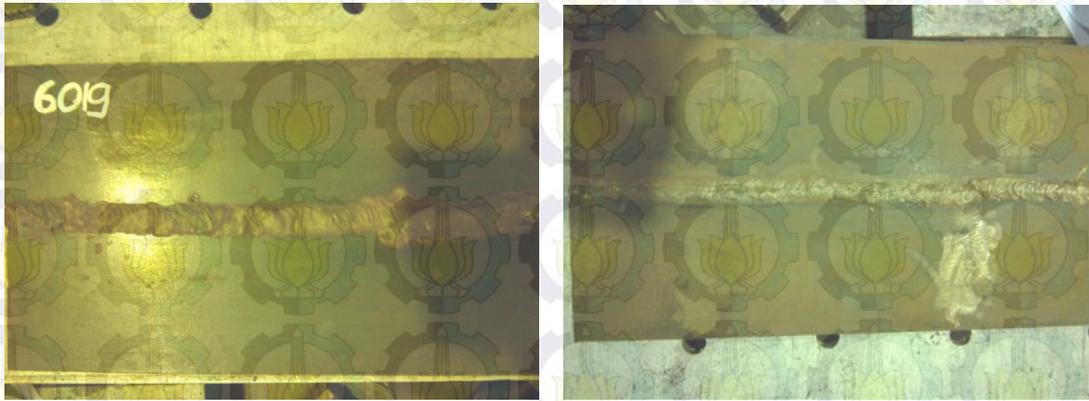
Proses pengelasan bawah air ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Sebelum pengelasan bawah air ini dilakukan maka sebelumnya harus dipersiapkan perlengkapan alat yang akan dipakai, seperti: mesin las SMAW, palu, sikat baja, elektroda yang sudah dibungkus dengan selotip, bak yang sudah diisi dengan larutan pengganti air laut, dan alat *safety* pengelasan. Hal yang dilakukan pertama adalah membersihkan dan membuat sisi *rootgap* menggunakan mesin gerinda. Jarak *rootgap* yang digunakan sebesar 2 mm, kemudian membuat *fixture* yang digunakan sebagai pengikat dua plat yang akan dilas, pengelasan bawah air ini menggunakan posisi pengelasan 1G. selanjutnya material yang siap dilas dimasukkan ke dalam bak dan dilakukan pengelasan bawah air. Pengelasan bawah air ini menggunakan 4 layer pengelasan untuk sisi cup weld dan 1 layer untuk sisi back weld. Proses pekerjaan pengelasan bawah air bisa dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut:



Gambar 3.9. Pengelasan bawah air

Setelah proses pengelasan selesai maka material diangkat dari bak. kemudian *fixture* yang digunakan sebagai pengunci dilepaskan. Dan dilanjutkan dengan pengelasan pada bagian belakang. Setelah semua pengelasan selesai bekas dari las pada material bekas *fixture* dibersihkan dengan mesin gerinda. Dan hasil

pengelasan bawah air bisa dilihat pada Gambar 3.10, 3.11, dan 3.12 seperti di bawah ini:



Gambar 3.10. Hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E6019



Gambar 3.11. Hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E6013



Gambar 3.12. Hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E7018

3.2.4. Pembuatan Spesimen untuk Uji Korosi

Hasil dari pengelasan bawah air kemudian dipotong dengan ukuran 50 x 25 mm yang akan digunakan untuk spesimen pada pengujian korosi. Penentuan ukuran spesimen uji korosi mengacu pada code ASTM G48. Pembuatan spesimen uji korosi ini dilakukan di laboratorium teknologi produksi dan manajemen perkapalan-jurusan teknik perkapalan FTK-ITS dengan menggunakan gergaji baja dan *cutting wheel*. Alat *cutting wheel* yang digunakan untuk memotong material dan material yang siap diuji korosi dengan ukuran 50 x 25 mm bisa dilihat pada Gambar 3.13 dan 3.14 di bawah ini:



Gambar 3.13. Cutting wheel



Gambar 3.14. spesimen yang telah dipotong

3.2.5. Persiapan Alat dan Media untuk Uji Korosi

Pengujian laju korosi ini menggunakan metode elektrokimia dengan alat yang digunakan menggunakan sel tiga elektroda, adapun komponen dari sel tiga elektroda sendiri meliputi elektroda kerja (spesimen uji), elektroda bantu (platina), elektroda acuan (Ag/AgCl), larutan elektrolit (pengkorosif), sumber potensial, alat pengukur potensial, dan alat pengukur arus. Komponen sel tiga elektroda yang digunakan untuk pengujian korosi bisa dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Alat sel tiga elektroda

Larutan elektrolit yang digunakan dalam pengujian laju korosi ini adalah larutan besi klorida (FeCl_3). Dan untuk spesimen yang akan diuji korosi akan ditutupi menggunakan isolasi dan disisakan ruang sebesar 1 x 1 cm pada bagian lasan, karena bagian lasan adalah bagian yang akan dilakukan uji korosi.

Penutupan spesimen menggunakan isolasi ini bertujuan agar tempat yang akan diuji korosi lebih spesifik. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.16 berikut:



Gambar 3.16. spesimen yang siap di uji korosi

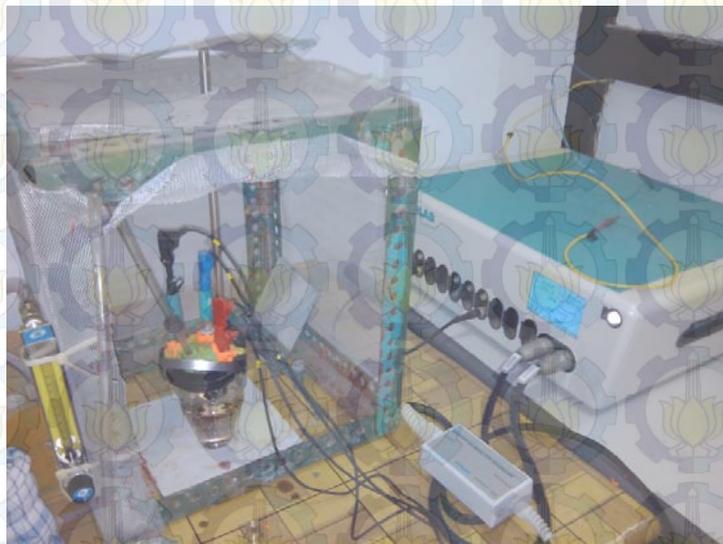
3.2.6. Pelaksanaan Uji Korosi

Pelaksanaan uji korosi dilakukan di Laboratorium Elektrokimia-Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Dalam pelaksanaan pengujian korosi menggunakan sel tiga elektroda dilakukan dengan bantuan software NOVA 1.8. Software NOVA merupakan salah satu software yang biasa digunakan dalam penelitian elektrokimia. Dalam penggunaannya, software NOVA dihubungkan dengan potensiostat agar arus yang dihasilkan pada setiap tegangan yang diberikan potensiostat bisa direkam oleh komputer secara langsung. Software NOVA ini juga akan membaca dengan sendirinya besar dari arus yang diterima pada spesimen, dan secara langsung memberikan hasil laju korosi pada spesimen tersebut. Potensiostat sendiri merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengontrolan tegangan pada sel elektrokimia. Dan potensiostat memiliki dua tugas utama yakni memberikan tegangan konstan pada elektroda acuan dan mengalirkan arus pada elektroda kerja. Potensiostat yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17. Potensiostat

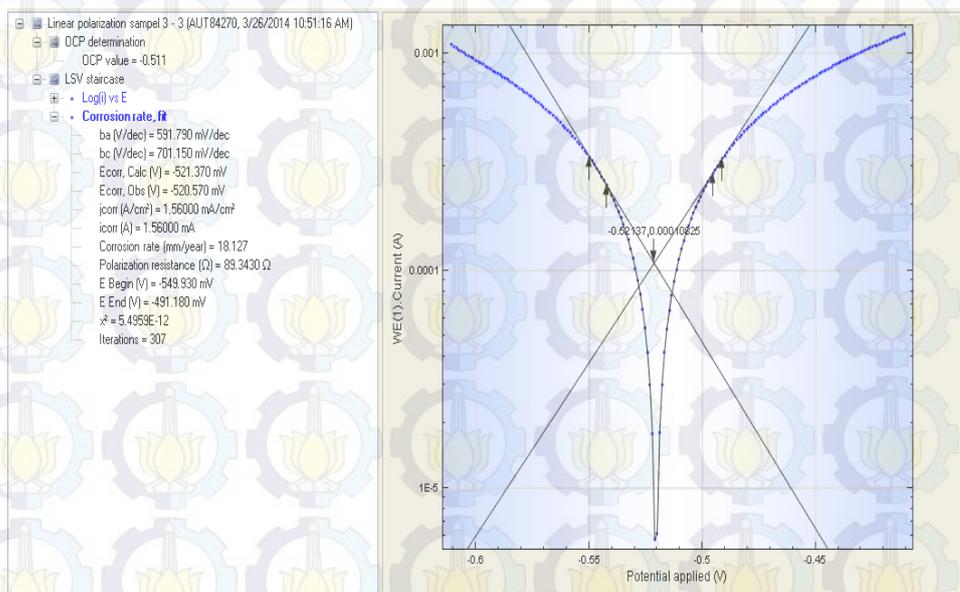
Langkah pertama yang dilakukan dalam pengujian korosi ini adalah menghubungkan sel tiga elektroda dengan potensiostat dan software NOVA 1.8 pada komputer. Kemudian mengatur beda potensial yang digunakan dengan kisaran -1 volt sampai 1 volt. Gambar 3.18 berikut adalah potensiostat yang dihubungkan pada perangkat alat sel tiga elektroda.



Gambar 3.18. Potensiostat yang dihubungkan ke sel tiga elektroda

Selanjutnya membuka software NOVA 1.8 yang digunakan sebagai alat perekam dan analisa data. Spesimen uji dicelupkan sekitar 3-5 menit sehingga

hasil pengukuran voltase akan terbaca di komputer, dan setelah pembacaan voltase selesai maka larutan elektrolit (FeCl_3) akan mulai bekerja mengkorosi bagian yang sudah ditentukan. Ini dilakukan sampai kondisi hasilnya stabil dan software NOVA 1.8 akan menganalisa dengan sendirinya sehingga didapatkan besar laju korosi yang terjadi pada spesimen tersebut. Hal yang sama dilakukan pada spesimen lainnya. Hasil dari software NOVA 1.8 bisa dilihat pada Gambar 3.19 di bawah ini.



Gambar 3.19. Output software NOVA

3.2.7. Foto Stereo Mikroskop

Pengambilan gambar menggunakan stereo mikroskop untuk daerah pengelasan yang telah diuji korosi bisa dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

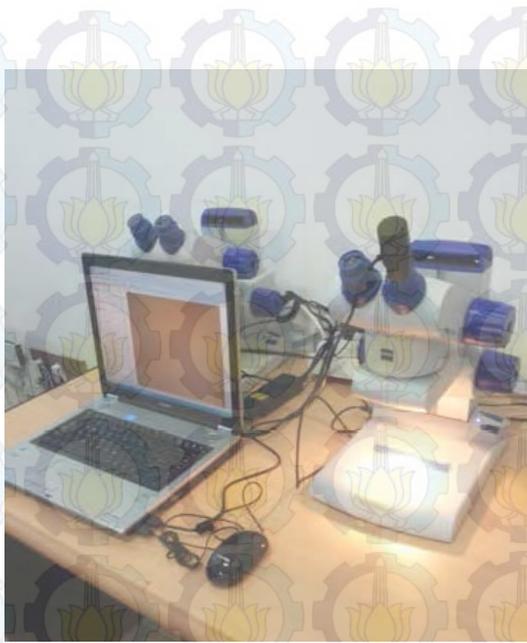
- Mempersiapkan alat-alat dan bahan yang akan digunakan, yaitu stereo mikroskop, kamera digital khusus untuk stereo mikroskop, laptop yang sudah ada software SCOPEIMAGE 9.0, serta malam yang digunakan sebagai alas untuk objek yang akan diambil gambarnya.
- Memasang kamera digital khusus stereo mikroskop ke salah satu lensa okuler yang ada pada mikroskop, kemudian menyambungkannya ke laptop yang

sudah terinstall software SCOPEIMAGE 9.0. kamera yang sudah di pasang pada stereo mikroskop bisa dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20. kamera digital yang digunakan untuk mengambil gambar.

- c. Menyalakan stereo mikroskop setelah itu menyalakan lampu yang ada pada stereo mikroskop yang digunakan sebagai cahaya saat pengambilan gambar dan membuka software SCOPEIMAGE 9.0. kemudian menaruh spesimen di atas malam yang ada di preparat mikroskop agar memiliki permukaan tumpuan yang rata.
- d. Menempatkan spesimen di tengah yang terkena lampu mikroskop kemudian mengatur perbesaran yang akan digunakan dalam mengambil gambar. Setelah ditentukan ukuran perbesarannya selanjutnya mencari fokus gambar untuk mendapatkan hasil gambar yang jelas.
- e. Setelah gambar yang didapatkan sudah jelas maka bisa langsung diambil gambar lewat software SCOPEIMAGE 9.0 yang ada di laptop, dan secara otomatis hasil gambarnya akan tersimpan pada folder yang sudah kita tentukan. Cara yang sama dilakukan untuk perbesaran yang lainnya. Alat foto stereo mikroskop yang dihubungkan pada laptop bisa dilihat pada Gambar 3.21 sebagai berikut:



Gambar 3.21. Alat foto stereo mikroskop yang dihubungkan ke komputer

- f. Perbesaran yang digunakan adalah perbesaran 8x, 16x, dan 32x. Contoh hasil dari foto stereo mikroskop bisa dilihat pada Gambar 3.22. di bawah ini.



Gambar 3.22. Hasil pengambilan gambar foto stereo mikroskop

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian laju korosi telah dilaksanakan di Laboratorium Elektrokimia-Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Setelah proses pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 yang dilakukan sebelumnya di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pengujian korosi dikerjakan dengan menggunakan metode sel tiga elektroda. Setelah pengujian korosi dilaksanakan didapatkan data hasil pengujian laju korosi untuk sambungan las bawah air menggunakan variasi jenis elektroda yakni elektroda dengan jenis E6013, E6019, dan E7018. Untuk tiap jenis elektroda yang digunakan dipakai 3 spesimen yang akan diuji korosi dan ketiga spesimen tersebut adalah potongan sambungan las yang diambil secara acak. Untuk hasil pengujian laju korosi pada tiap jenis elektroda bisa dilihat pada subbab selanjutnya.

4.1.1. Hasil Pengujian Laboratorium Laju Korosi untuk Elektroda E6013

Setelah proses pengelasan bawah air proses SMAW dengan jenis elektroda E6013 dan pengujian korosi telah dilaksanakan dengan pengujian korosi menggunakan 3 sampel uji. Maka didapatkan hasil pengujian korosi untuk pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6013 yang bisa dilihat pada Tabel 4.1. sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengujian laju korosi menggunakan elektroda E6013

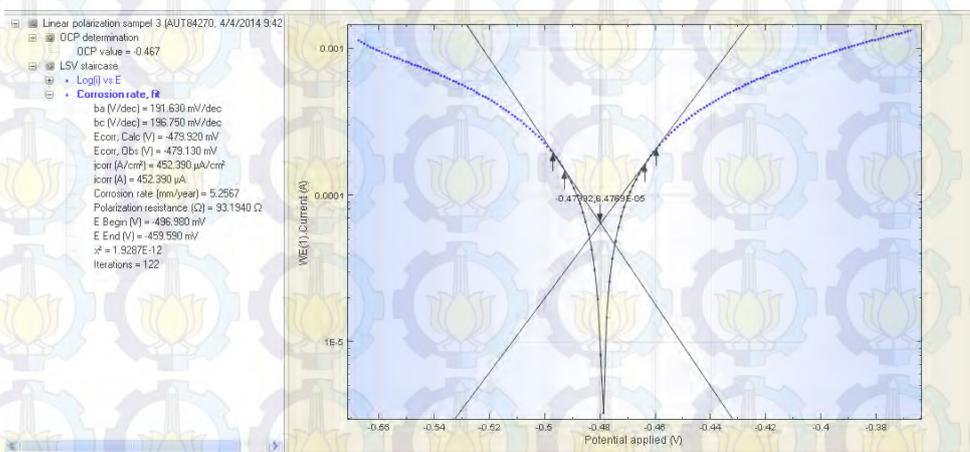
spesimen	elektroda	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)	Rata-rata CR (mmpy)
1	E6013	452.39	5.257	9.626
2	E6013	1560	18.127	
3	E6013	472.87	5.495	



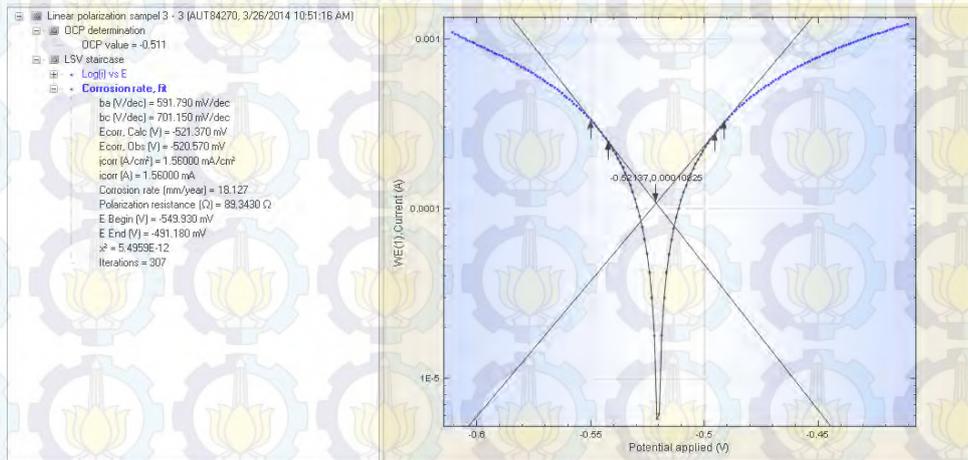
Gambar 4.1. Nilai laju korosi menggunakan elektroda E6013

Dari Gambar 4.1. di atas dapat diketahui nilai laju korosi pada pengelasan menggunakan jenis elektroda E6013 memiliki hasil yang bervariasi untuk tiga spesimen yang diuji, pada spesimen 1 memiliki laju korosi sebesar 5.257 mm/year, dan pada spesimen 2 memiliki nilai laju korosi yang paling besar untuk pengujian jenis elektroda E6013 yaitu sebesar 18.127 mm/year, serta pada spesimen 3 memiliki nilai laju korosi sebesar 5.495 mm/year. Dari ketiga spesimen tersebut didapatkan rata-rata laju korosi sebesar 9.626 mm/year.

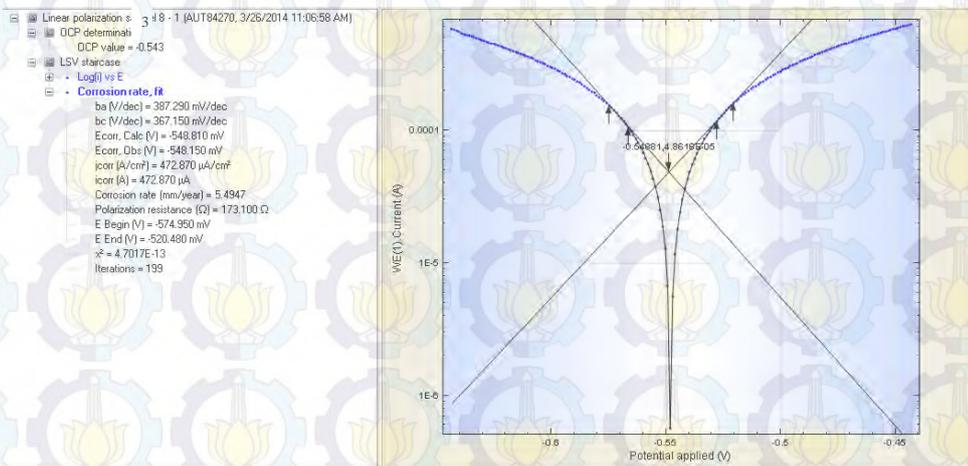
Output hasil dari pengujian laju korosi menggunakan metode sel tiga elektroda dengan bantuan software NOVA 1.8 untuk tiap spesimen hasil pengelasan bawah air pada sambungan plat ASTM A36 menggunakan elektroda tipe E6013 bisa dilihat pada Gambar 4.2. sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. Hasil pengujian laju korosi pada spesimen (a) 1, (b) 2, dan (c) 3 untuk elektroda jenis E6013

Pada gambar grafik hasil pengujian laju korosi di atas bisa dilihat bahwa pada proses perhitungan laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diberi voltage (V) dengan range -1 sampai dengan 1 V, akan mengalami 3 fase yang terjadi yaitu fase pertama yakni arus akan mengalami penurunan secara perlahan-lahan secara terus-menerus karena pada phase ini terjadi reaksi anodik, sehingga dengan turunnya arus ini akan menyebabkan hilangnya butiran-butiran halus pada spesimen yang diuji. Pada phase kedua arus yang turun secara terus-menerus akan berada pada titik terendah dan tidak bisa turun lagi. Selanjutnya adalah phase ketiga yakni arus yang sudah tidak bisa turun lagi akan kembali naik kembali

sampai arus itu menjadi stabil karena pada phase ini terjadi reaksi katodik, maka setelah besarnya arus mulai stabil maka software akan secara otomatis menghitung besarnya nilai laju korosi yang terjadi dan pengujian bisa dihentikan. Dari gambar grafik hasil pengujian laju korosi di atas juga bisa diketahui nilai I_{corr} yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan besarnya laju korosi yang terjadi secara manual. Besarnya nilai I_{corr} pada spesimen 1 diperoleh sebesar $452.39 \mu A/cm^2$ dan pada spesimen 2 didapatkan besarnya nilai I_{corr} adalah $1560 \mu A/cm^2$, serta untuk spesimen 3 didapatkan besarnya nilai I_{corr} sebesar $472.87 \mu A/cm^2$.

4.1.2. Hasil Pengujian Laboratorium Laju Korosi untuk Elektroda E6019

Setelah proses pengelasan bawah air proses SMAW dengan jenis elektroda E6019 dan pengujian korosi telah dilaksanakan dengan pengujian korosi menggunakan 3 sampel uji. Maka didapatkan hasil pengujian korosi untuk pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6019 yang bisa dilihat pada Tabel 4.2. sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil pengujian laju korosi menggunakan elektroda E6019

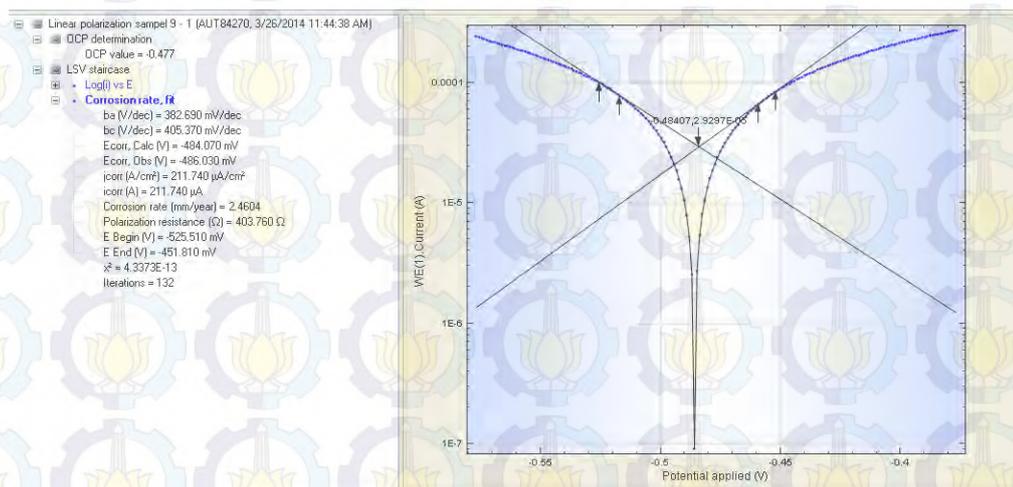
spesimen	elektroda	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	CR (mmpy)	Rata-rata CR (mmpy)
1	E6019	211.24	2.46	12.02033
2	E6019	1975.1	22.951	
3	E6019	916.54	10.65	



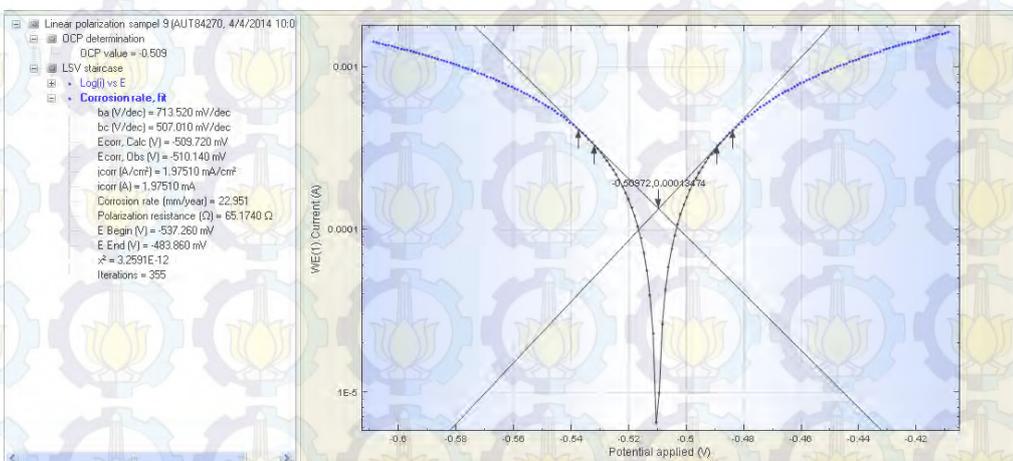
Gambar 4.3. Nilai laju korosi menggunakan elektroda E6019

Dari Gambar 4.3. di atas dapat diketahui nilai laju korosi pada pengelasan menggunakan jenis elektroda E6019 memiliki hasil yang bervariasi untuk tiga spesimen yang diuji, pada spesimen 1 memiliki laju korosi sebesar 2.46 mm/year, dan pada spesimen 2 memiliki nilai laju korosi yang paling besar untuk pengujian jenis elektroda E6019 yaitu sebesar 22.951 mm/year, serta pada spesimen 3 memiliki nilai laju korosi sebesar 10.65 mm/year. Dari ketiga spesimen tersebut didapatkan rata-rata laju korosi sebesar 12.02033 mm/year.

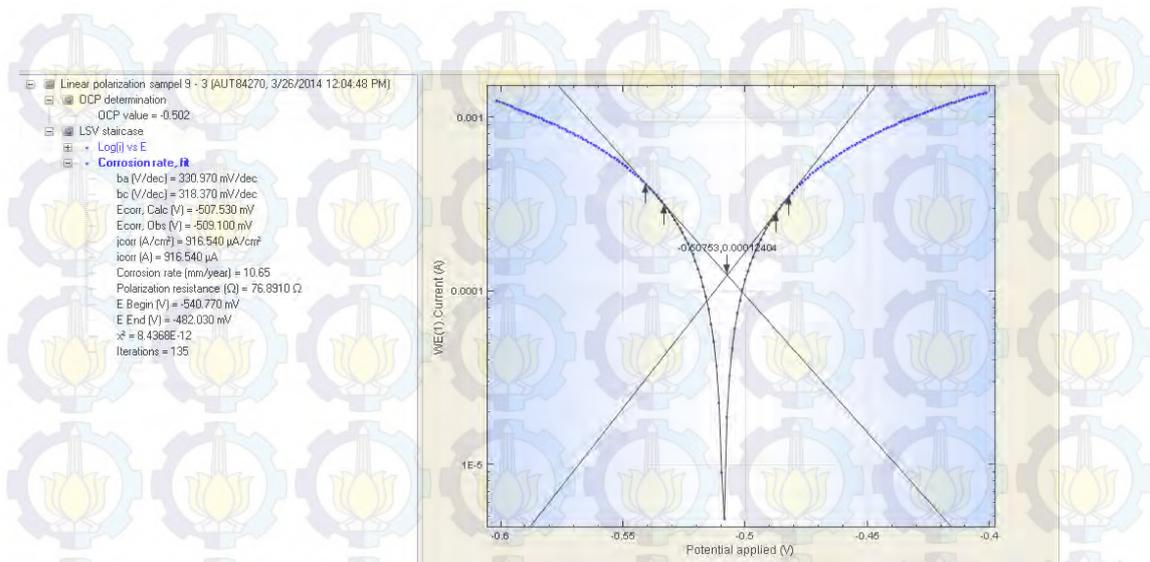
Output hasil dari pengujian laju korosi menggunakan metode sel tiga elektroda dengan bantuan software NOVA 1.8 untuk tiap spesimen hasil pengelasan bawah air pada sambungan plat ASTM A36 menggunakan elektroda tipe E6019 bisa dilihat pada Gambar 4.4. sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4. Hasil pengujian laju korosi pada spesimen (a) 1, (b) 2, dan (c) 3 untuk elektroda jenis E6019

Pada gambar grafik hasil pengujian laju korosi di atas bisa dilihat bahwa pada proses perhitungan laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diberi voltage (V) dengan range -1 sampai dengan 1 V, akan mengalami 3 phase yang terjadi yaitu phase pertama yakni arus akan mengalami penurunan secara perlahan-lahan secara terus-menerus karena pada phase ini terjadi reaksi anodik, sehingga dengan turunnya arus ini akan menyebabkan hilangnya butiran-butiran halus pada spesimen yang diuji. Pada phase kedua arus yang turun secara terus-menerus akan berada pada titik terendah dan tidak bisa turun lagi. Selanjutnya adalah phase ketiga yakni arus yang sudah tidak bisa turun lagi akan kembali naik kembali sampai arus itu menjadi stabil karena pada phase ini terjadi reaksi katodik, maka setelah besarnya arus mulai stabil maka software akan secara otomatis menghitung besarnya nilai laju korosi yang terjadi dan pengujian bisa dihentikan. Dari gambar grafik hasil pengujian laju korosi di atas juga bisa diketahui nilai I_{corr} yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan besarnya laju korosi yang terjadi secara manual. Besarnya nilai I_{corr} pada spesimen 1 diperoleh sebesar $211.24 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan pada spesimen 2 didapatkan besarnya nilai I_{corr} adalah $1975.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, serta untuk spesimen 3 didapatkan besarnya nilai I_{corr} sebesar $916.54 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

4.1.3. Hasil Pengujian Laju Korosi Menggunakan Elektroda E7018

Setelah proses pengelasan bawah air proses SMAW dengan jenis elektroda E7018 dan pengujian korosi telah dilaksanakan dengan pengujian korosi menggunakan 3 sampel uji. Maka didapatkan hasil pengujian korosi untuk pengelasan bawah air menggunakan elektroda E7018 yang bisa dilihat pada Tabel 4.3. sebagai berikut:

Tabel 4.3. Hasil pengujian laju korosi menggunakan elektroda E7018

spesimen	elektroda	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)	Rata-rata CR (mmpy)
1	E7018	1696	19.707	20.255
2	E7018	1848.3	21.477	
3	E7018	1685.1	19.581	

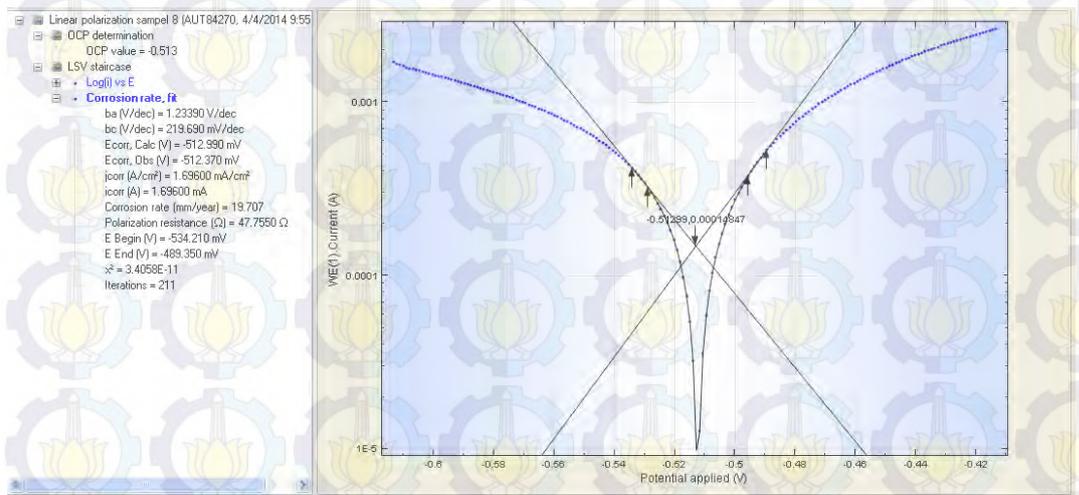


Gambar 4.5. Nilai laju korosi menggunakan elektroda E7018

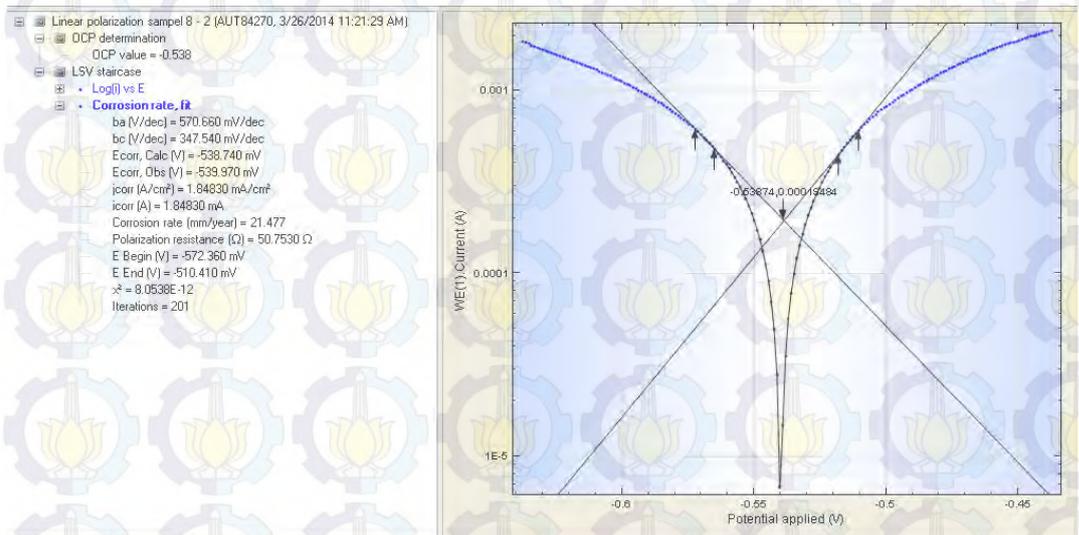
Dari Gambar 4.5. di atas dapat diketahui nilai laju korosi pada pengelasan menggunakan jenis elektroda E7018 memiliki hasil yang tidak terlalu besar perbedaan nilainya untuk tiga spesimen yang diuji, pada spesimen 1 memiliki laju korosi sebesar 19.707 mm/year, dan pada spesimen 2 memiliki nilai laju korosi yang paling besar untuk pengujian jenis elektroda E7018 yaitu sebesar 21.477 mm/year, serta pada spesimen 3 memiliki nilai laju korosi sebesar 19.581

mm/year. Dari ketiga spesimen tersebut didapatkan rata-rata laju korosi sebesar 20.255 mm/year.

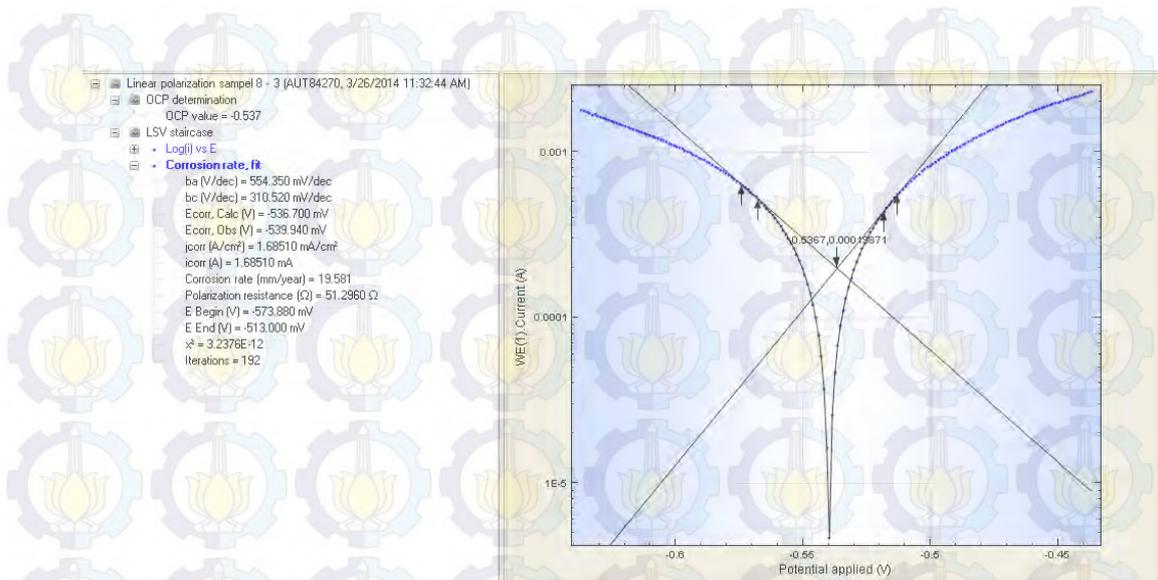
Output hasil dari pengujian laju korosi menggunakan metode sel tiga elektroda dengan bantuan software NOVA 1.8 untuk tiap spesimen hasil pengelasan bawah air pada sambungan plat ASTM A36 menggunakan elektroda tipe E7018 bisa dilihat pada Gambar 4.6. sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6. Hasil pengujian laju korosi pada spesimen (a) 1, (b) 2, dan (c) 3 untuk elektroda jenis E7018

Pada gambar grafik hasil pengujian laju korosi di atas bisa dilihat bahwa pada proses perhitungan laju korosi yang terjadi pada spesimen yang diberi voltage (V) dengan range -1 sampai dengan 1 V, akan mengalami 3 phase yang terjadi yaitu phase pertama yakni arus akan mengalami penurunan secara perlahan-lahan secara terus-menerus karena pada phase ini terjadi reaksi anodik, sehingga dengan turunnya arus ini akan menyebabkan hilangnya butiran-butiran halus pada spesimen yang diuji. Pada phase kedua arus yang turun secara terus-menerus akan berada pada titik terendah dan tidak bisa turun lagi. Selanjutnya adalah phase ketiga yakni arus yang sudah tidak bisa turun lagi akan kembali naik kembali sampai arus itu menjadi stabil karena pada phase ini terjadi reaksi katodik, maka setelah besarnya arus mulai stabil maka software akan secara otomatis menghitung besarnya nilai laju korosi yang terjadi dan pengujian bisa dihentikan. Dari gambar grafik hasil pengujian laju korosi di atas juga bisa diketahui nilai I_{corr} yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan besarnya laju korosi yang terjadi secara manual. Besarnya nilai I_{corr} pada spesimen 1 diperoleh sebesar $1696 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan pada spesimen 2 didapatkan besarnya nilai I_{corr} adalah $1848.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, serta untuk spesimen 3 didapatkan besarnya nilai I_{corr} sebesar $1685.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

4.2. Hasil Perhitungan Manual

Perhitungan manual yang digunakan untuk mengetahui besarnya nilai laju korosi yang terjadi menggunakan persamaan Faraday (2.1) seperti sebagai berikut:

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

dengan :

CPR = Corrosion Penetrate Rate

K = Konstanta (0.00327 untuk mmpy)

a = Berat atom logam terkorosi (gram/mol)

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

D = Densitas logam terkorosi (gram/cm^3)

n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi

K adalah konstanta yang digunakan untuk persamaan Faraday dengan nilai 0.00327 untuk satuan mm/year. nilai a yaitu berat atom yang digunakan untuk uji laju korosi, untuk percobaan ini yang dipakai adalah berat atom Fe. Pada tabel sistem periodik unsure yaitu 55.85 gram/mol dan nilai ini digunakan untuk semua spesimen yang diuji karena material yang digunakan adalah sama untuk spesimennya. N yaitu valensi dari atom Fe yaitu 2. Massa jenis baja adalah $7.86 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

4.2.1. Perhitungan Manual untuk Elektroda Jenis E6013

- Perhitungan manual pada spesimen 1

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 452.39 \mu\text{A}/\text{cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr}/\text{cm}^3}$$

$$CPR = 5.256 \text{ mm/year}$$

- Perhitungan manual pada spesimen 2

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 1560 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 18.123 \text{ mm/year}$$

- Perhitungan manual pada spesimen 3

$$CPR = K \frac{\alpha \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 472.87 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 5.494 \text{ mm/year}$$

4.2.2. Perhitungan Manual untuk Elektroda Jenis E6019

- Perhitungan manual pada spesimen 1.

$$CPR = K \frac{\alpha \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 211.74 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 2.459 \text{ mm/year}$$

- Perhitungan manual pada spesimen 2

$$CPR = K \frac{\alpha \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 1975.1 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 22.946 \text{ mm/year}$$

- Perhitungan manual pada spesimen 3

$$CPR = K \frac{\alpha \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 916.54 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 10.648 \text{ mm/year}$$

4.2.3. Perhitungan Manual untuk Elektroda Jenis E7018

- Perhitungan manual pada spesimen 1

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 1696 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 19.703 \text{ mm/year}$$

- Perhitungan manual pada spesimen 2

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 1848.3 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 21.473 \text{ mm/year}$$

- Perhitungan manual pada spesimen 3

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

$$CPR = 0.00327 \frac{55.85 \text{ gr/mol} \times 1681.1 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7.86 \text{ gr/cm}^3}$$

$$CPR = 19.577 \text{ mm/year}$$

Dari perhitungan manual yang sudah dilakukan maka bisa dilakukan validasi nilai laju korosi yang didapatkan dari perhitungan manual dengan hasil pengujian laboratorium. Berikut adalah tabel perbandingan nilai laju korosi yang didapatkan dari perhitungan manual dan pengujian laboratorium:

Tabel.4.4. Perbandingan nilai laju korosi berdasarkan pengujian laboratorium dan perhitungan manual.

elektroda	spesimen	Nilai laju korosi (mm/year)	
		Pengujian laboratorium	Perhitungan manual
E6013	1	5.2567	5.256
	2	18.127	18.124
	3	5.495	5.494
E6019	1	2.46	2.459
	2	22.951	22.946
	3	10.65	10.648
E7018	1	19.707	19.703
	2	21.477	21.473
	3	19.581	19.577

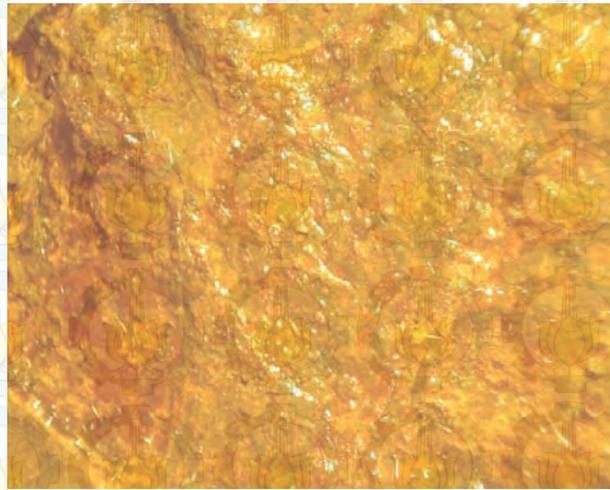
Dari Tabel 4.4 di atas diketahui hasil nilai laju korosi yang didapatkan dari perhitungan manual memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dari nilai laju korosi yang didapatkan dari pengujian laboratorium. Hanya memiliki perbedaan besar nilai pada angka kedua dibelakang koma. Maka hasil yang didapatkan adalah valid.

4.3. Hasil Foto Stereo Mikroskop

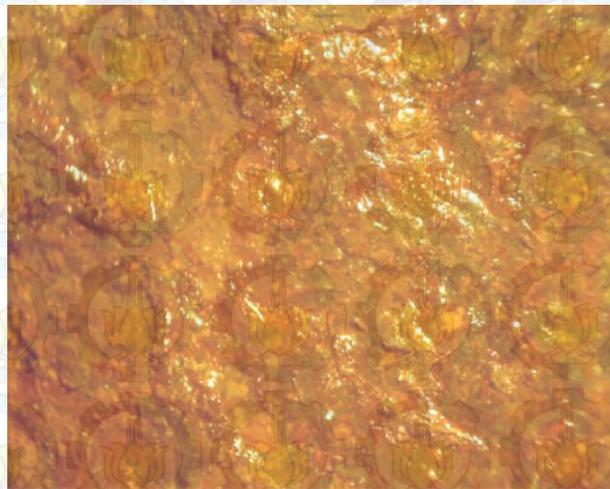
Setelah pengujian laju korosi untuk semua spesimen telah dilakukan, spesimen yang diuji korosi kemudian dianalisa bentuk morfologi permukaannya menggunakan stereo mikroskop. Dan tempat yang dianalisa adalah bagian yang mengalami korosi. Yaitu bagian yang telah dilakukan uji korosi yang memiliki luas area 1x1 cm. Dalam analisa bentuk morfologi permukaan yang terkorosi ini menggunakan foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x, 16x, dan 32x. perbesaran yang dilakukan akan memberikan hasil foto yang lebih jelas untuk mengetahui bentuk morfologi dari spesimen yang mengalami korosi. Hasil dari pengambilan foto stereo mikroskop untuk semua spesimen akan diuraikan pada subbab berikut :

4.3.1. Hasil Foto Stereo Mikroskop pada Sambungan Las dengan Elektroda E6013

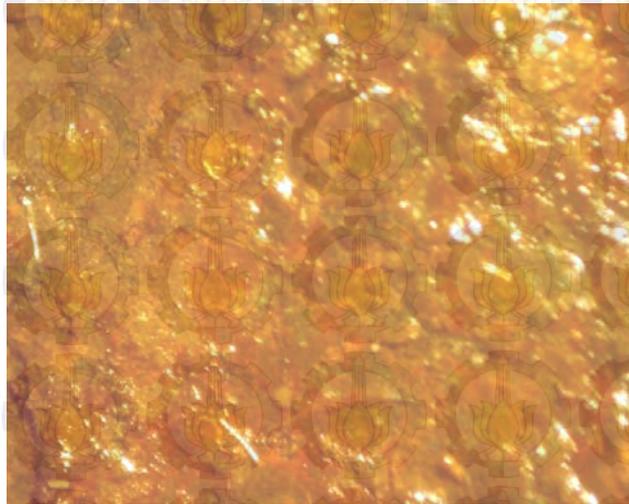
Gambar di bawah menunjukkan bentuk permukaan bagian yang terkorosi dengan foto stereo mikroskop untuk hasil pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 menggunakan elektroda jenis E6013.



(a)



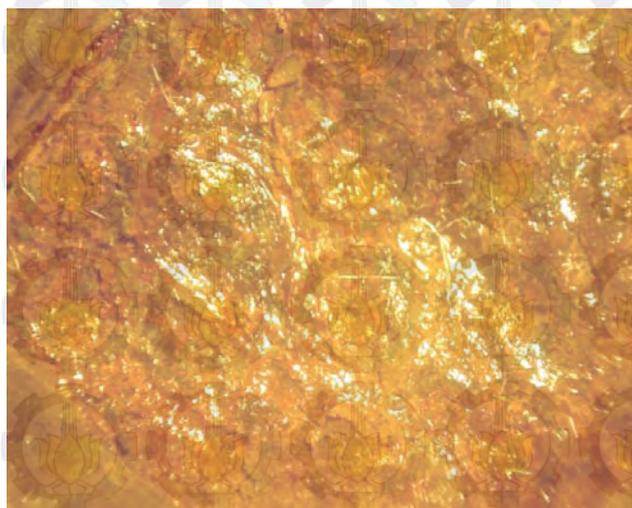
(b)



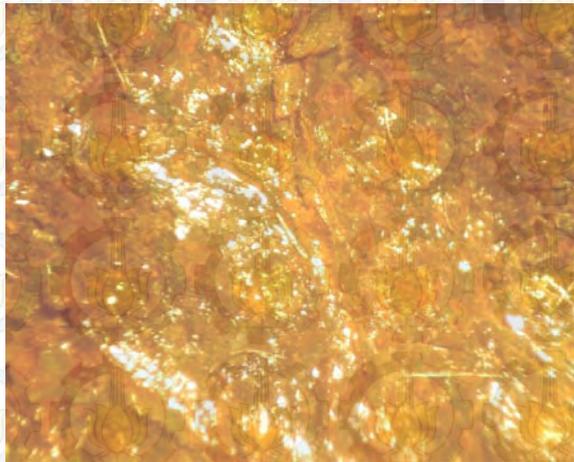
(c)

Gambar 4.7. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 1 jenis elektroda E 6013

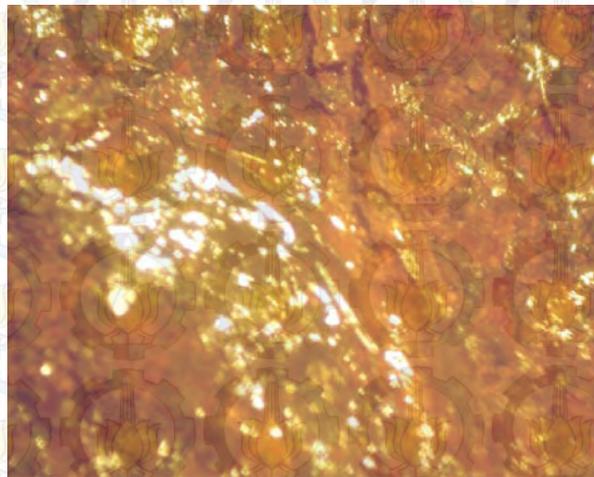
Gambar 4.7. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 1 untuk jenis elektroda E6013. Dimana spesimen 1 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 5.257 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi dan menutupi permukaan plat tetapi bentuknya masih belum terlalu kasar.



(a)



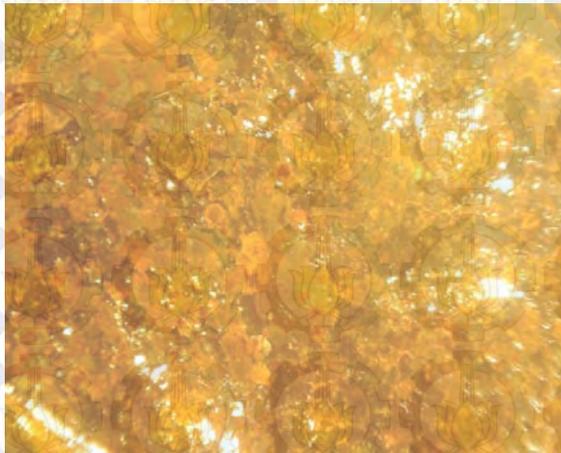
(b)



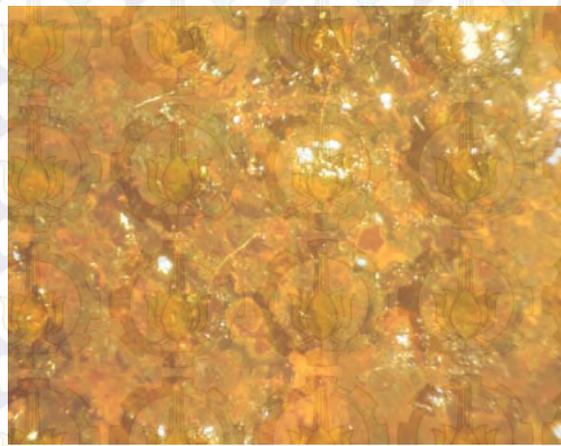
(c)

Gambar 4.8. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 2 jenis elektroda E 6013

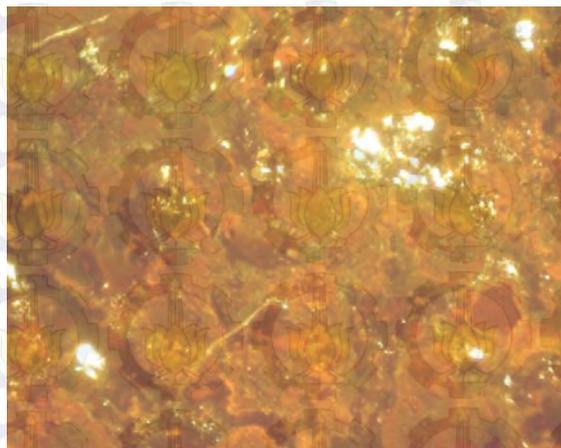
Gambar 4.8. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 2 untuk jenis elektroda E6013. Dimana spesimen 2 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 18.127 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi dan menutupi permukaan plat serta bentuknya sudah kasar.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.9. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 3 jenis elektroda E 6013

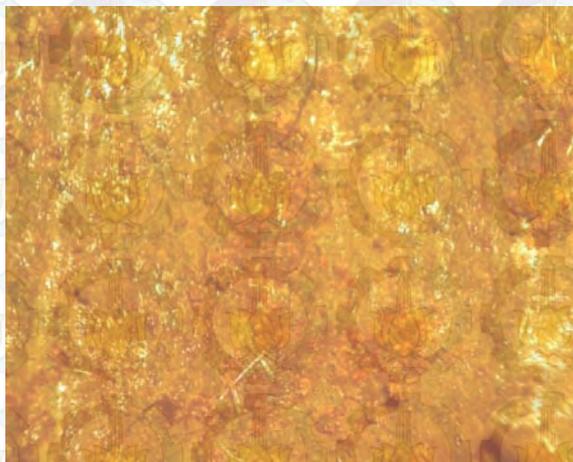
Gambar 4.9. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 3 untuk jenis elektroda E6013. Dimana spesimen 3 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 5.495 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi tetapi tidak merata dan permukaan platnya masih bisa terlihat serta bentuknya tidak kasar.

4.3.2. Hasil Foto Stereo Mikroskop pada Sambungan Las dengan Elektroda E6019

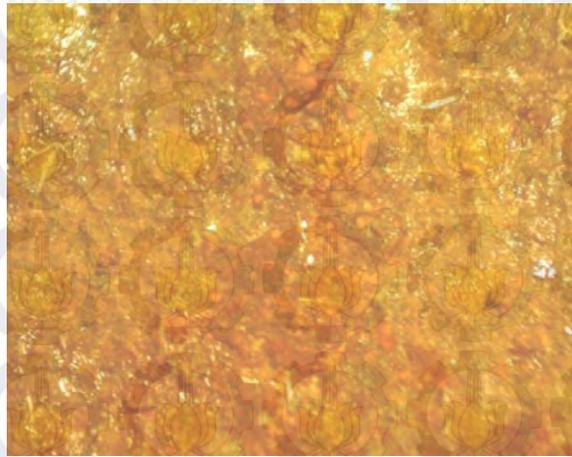
Gambar di bawah menunjukkan bentuk permukaan bagian yang terkorosi dengan foto stereo mikroskop untuk hasil pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 menggunakan elektroda jenis E6019.



(a)



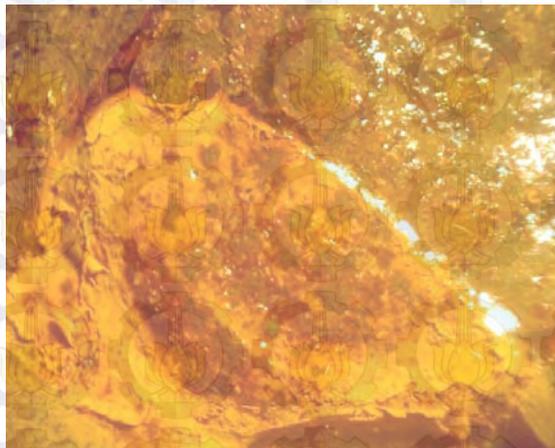
(b)



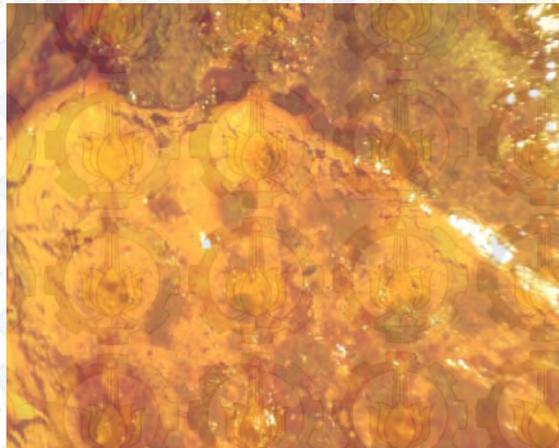
(c)

Gambar 4.10. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 1 jenis elektroda E 6019

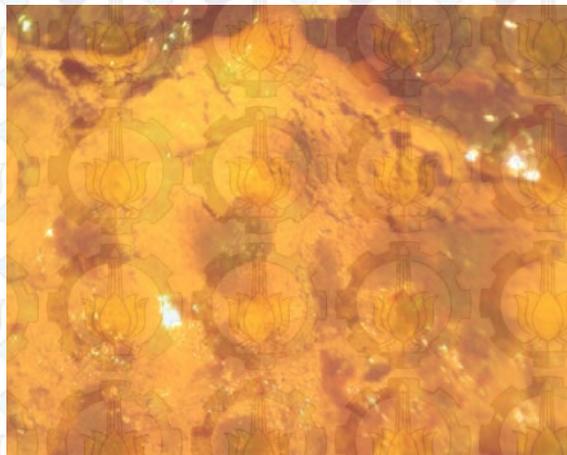
Gambar 4.10. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 1 untuk jenis elektroda E6019. Dimana spesimen 1 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 2.46 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan korosi terjadi hanya di bagian kecil saja yaitu dibagian tengah, permukaan plat yang diuji korosi masih bisa dilihat serta bentuknya tidak kasar.



(a)



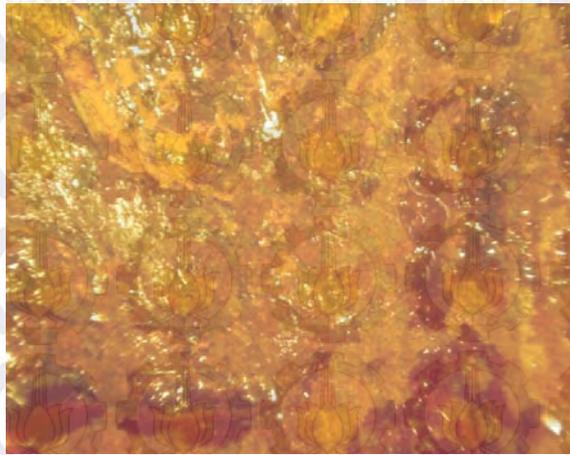
(b)



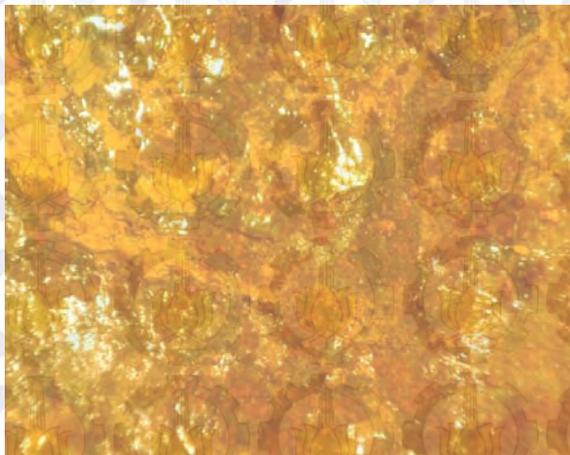
(c)

Gambar 4.11. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 2 jenis elektroda E 6019

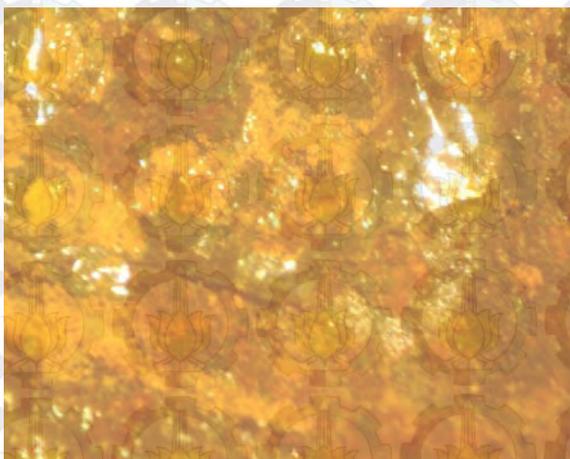
Gambar 4.11. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 2 untuk jenis elektroda E6019. Dimana spesimen 2 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 22.951 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi tetapi tidak merata dan pada bagian bawah terlihat permukaan yang sangat kasar dan mengalami kerusakan material.



(a)



(b)



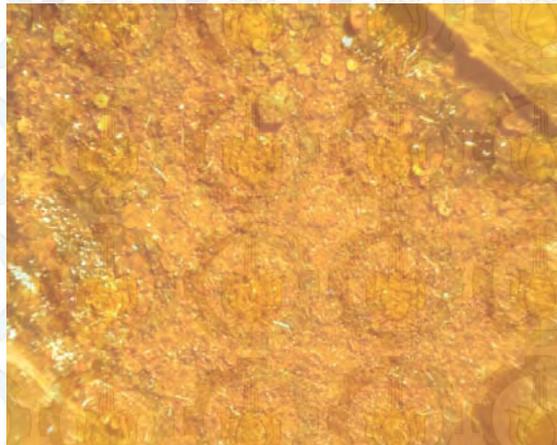
(c)

Gambar 4.12. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 3 jenis elektroda E 6019

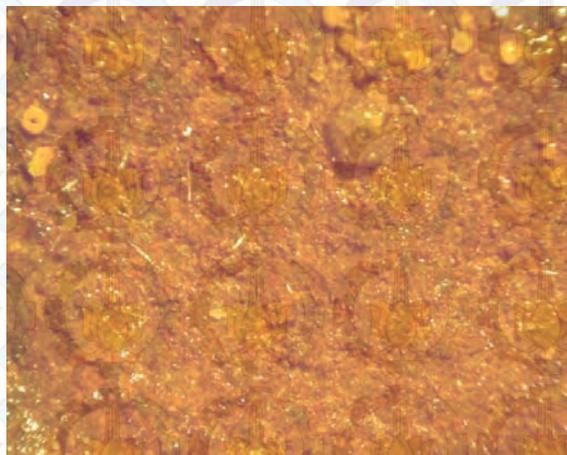
Gambar 4.12. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 3 untuk jenis elektroda E6013. Dimana spesimen 3 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 10.65 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi dan bentuk permukaannya sudah kasar tetapi tidak merata dan permukaan platnya masih bisa terlihat.

4.3.3. Hasil Foto Stereo Mikroskop pada Sambungan Las dengan Elektroda E7018

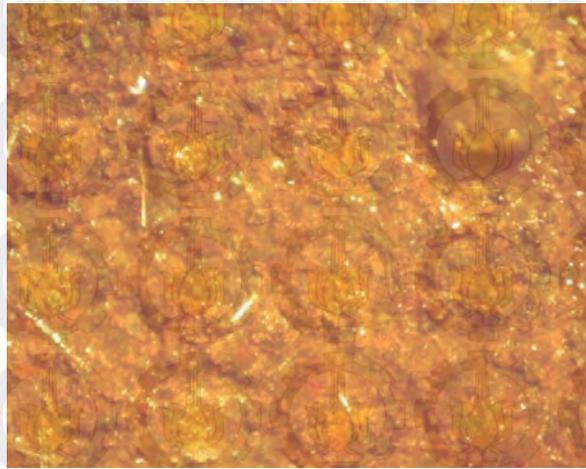
Gambar di bawah menunjukkan bentuk permukaan bagian yang terkorosi dengan foto stereo mikroskop untuk hasil pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 menggunakan elektroda jenis E7018.



(a)



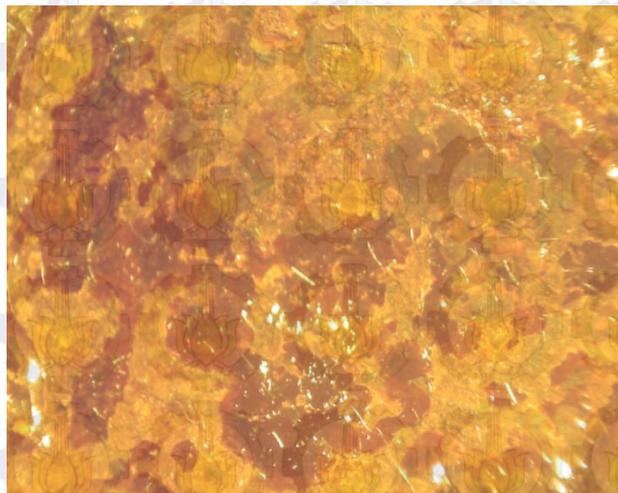
(b)



(c)

Gambar 4.13. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 1 jenis elektroda E7018

Gambar 4.13. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 1 untuk jenis elektroda E7018. Dimana spesimen 1 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 19.707 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi yang merata dan permukaan platnya sudah tidak bisa terlihat karena tertutup korosi serta bentuk permukaannya sangat kasar.

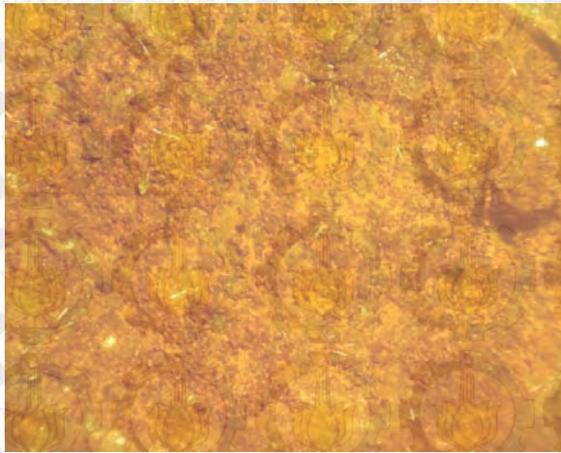


(a)



Gambar 4.14. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 2 jenis elektroda E7018

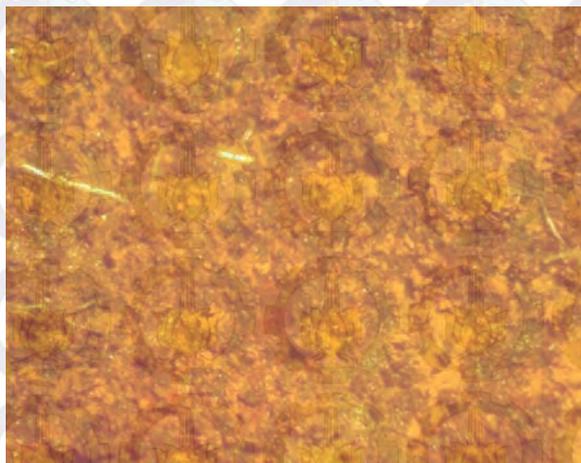
Gambar 4.14. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 2 untuk jenis elektroda E7018. Dimana spesimen 2 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 21.477 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi yang merata dan permukaan platnya sudah tidak bisa terlihat karena tertutup korosi serta bentuk permukaannya sangat kasar.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.15. Hasil foto stereo mikroskop dengan perbesaran 8x (a), 16x (b), dan 32x (c) pada spesimen 3 jenis elektroda E7018

Gambar 4.15. di atas merupakan hasil pengamatan menggunakan foto stereo mikroskop pada spesimen 3 untuk jenis elektroda E7018. Dimana spesimen 3 ini memiliki nilai laju korosi sebesar 19.581 mm/year. Gambar di atas menunjukkan bentuk permukaan luasan yang sudah diuji korosi dan hampir seluruh permukaan yang diuji mengalami korosi yang merata dan permukaan platny sudah tidak bisa terlihat karena tertutup korosi serta bentuk permukaannya sangat kasar.

4.4. Analisa Perbandingan Nilai Laju Korosi yang Terjadi pada Pengelasan Bawah Air dengan Variasi Elektroda

Setelah melakukan pengujian korosi maka bisa dilihat perbandingan laju korosi yang terjadi pada ketiga sambungan las plat ASTM A36 untuk pengelasan bawah air dengan tiga tipe jenis elektroda yang berbeda seperti yang terdapat pada Gambar 4.16. di bawah ini:



Gambar 4.16. Diagram perbandingan nilai laju korosi

Dari gambar di atas bisa diketahui bahwa pada pengelasan bawah air untuk sambungan plat ASTM A36 dengan menggunakan elektroda tipe E6013 dan E6019 memiliki nilai laju korosi yang sangat bervariasi pada ketiga spesimen yang telah diuji korosi. Berbeda dengan hasil nilai laju korosi pada pengelasan

bawah air untuk sambungan plat ASTM A36 yang menggunakan elektroda tipe E7018 yang memiliki hasil nilai laju korosi yang tidak terlalu besar rentang angkanya untuk ketiga spesimen yang telah dilakukan pengujian korosi.

Gambar berikut ini menunjukkan perbandingan rata-rata nilai laju korosi untuk pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 dengan menggunakan 3 (tiga) jenis elektroda yang berbeda.



Gambar 4.17. Diagram perbandingan nilai rata-rata laju korosi

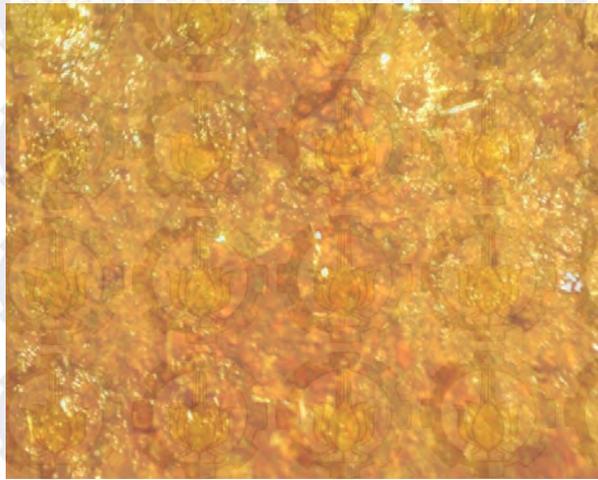
Dari Gambar 4.17. di atas dapat diketahui bahwa rata-rata nilai laju korosi yang terjadi pada sambungan plat ASTM A36 yang menggunakan elektroda jenis E6013 memiliki nilai laju korosi yang paling kecil yaitu sebesar 9.626 mmpy. Untuk nilai laju korosi yang terjadi pada sambungan plat ASTM A36 yang menggunakan elektroda jenis E6019 memiliki nilai laju korosi sebesar 12.020 mmpy. Dan nilai laju korosi yang paling tinggi terjadi pada sambungan plat ASTM A36 yaitu menggunakan elektroda jenis E7018 yang memiliki nilai laju korosi sebesar 20.255 mmpy. Perbedaan nilai laju korosi yang terjadi pada ketiga jenis elektroda di atas disebabkan karena perbedaan perlakuan pengelasan yang digunakan untuk ketiga jenis elektroda tersebut.

Pada pengelasan bawah air dengan menggunakan variasi jenis elektroda memiliki perlakuan pengelasan yang berbeda-beda untuk tiap-tiap elektroda yang digunakan. Pada proses pengelasan bawah air menggunakan elektroda jenis E6013 dan E6019 menggunakan besar arus 120 ampere sudah bisa menyala untuk

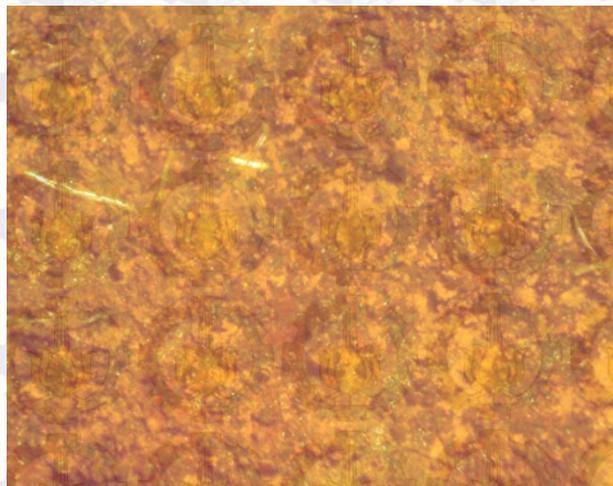
busur listrik las yang digunakan, tetapi berbeda dengan saat proses pengelasan bawah air menggunakan jenis E7018 dimana busur listrik pengelasan sulit menyala saat menggunakan arus 120 ampere dan bisa menyala saat menggunakan arus sebesar 150 ampere. sehingga bisa diketahui bahwa elektroda dengan jenis E7018 membutuhkan arus yang lebih besar saat pengelasan karena elektroda E7018 memiliki tipe flux low-hydrogen potassium dimana elektroda jenis ini memiliki karakteristik jarak nyala busur yang pendek dan harus dijaga jaraknya secara terus menerus saat pengelasan agar busur listriknya tidak padam sehingga lebih sulit jika dilakukan dalam air. Dan dari penggunaan arus yang lebih besar itu maka hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda E7018 akan mempunyai nilai laju korosi yang lebih besar juga itu dikarenakan oleh peningkatan arus akan mempengaruhi heat input yang digunakan saat pengelasan, dan besarnya heat input yang digunakan akan menyebabkan tegangan sisa yang dihasilkan besar dan dari tegangan sisa yang besar akan menyebabkan laju korosi yang besar juga.

4.5. Analisa Bentuk Morfologi Menggunakan Hasil Foto Stereo Mikroskop

Semua spesimen hasil pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 menggunakan 3 jenis elektroda yakni E6013, E6019, dan E7018 yang telah dilakukan pengujian korosi selanjutnya di foto dengan stereo mikroskop untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan yang telah diuji korosi tersebut. Dalam analisa bentuk morfologi permukaan yang terkorosi ini menggunakan perbesaran foto stereo mikroskop sebesar 8x, 16x, dan 32x. Perbesaran yang dilakukan akan memberikan hasil foto yang lebih jelas untuk mengetahui bentuk morfologi dari spesimen yang mengalami korosi.

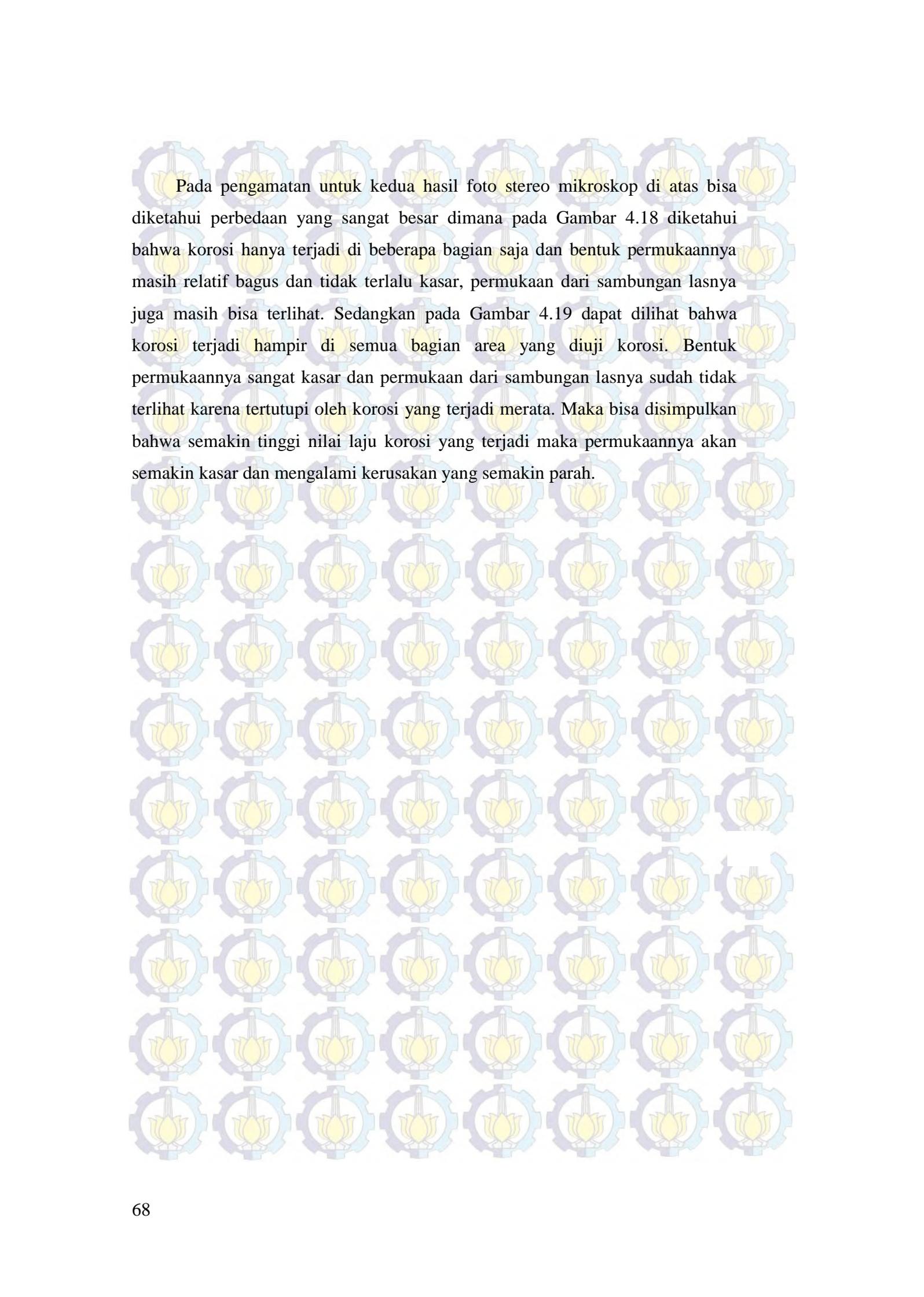


Gambar 4.18. hasil foto stereo mikroskop perbesaran 32x pada spesimen 1 E6019.



Gambar 4.19. hasil foto stereo mikroskop perbesaran 32x pada spesimen 3 E7018.

Gambar 4.18. di atas merupakan hasil pengamatan bentuk morfologi permukaan sambungan las menggunakan foto stereo mikroskop dengan perbesaran 32x untuk spesimen 1 pada pengelasan bawah air menggunakan elektroda jenis E6019 yang memiliki nilai laju korosi sebesar 2.46 mmpy. Sedangkan Gambar 4.19, menunjukkan hasil pengamatan bentuk morfologi permukaan sambungan las menggunakan foto stereo mikroskop dengan perbesaran 32x untuk spesimen 3 pada pengelasan bawah air menggunakan elektroda jenis E7018 yang memiliki nilai laju korosi sebesar 19.581 mmpy.



Pada pengamatan untuk kedua hasil foto stereo mikroskop di atas bisa diketahui perbedaan yang sangat besar dimana pada Gambar 4.18 diketahui bahwa korosi hanya terjadi di beberapa bagian saja dan bentuk permukaannya masih relatif bagus dan tidak terlalu kasar, permukaan dari sambungan lasnya juga masih bisa terlihat. Sedangkan pada Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa korosi terjadi hampir di semua bagian area yang diuji korosi. Bentuk permukaannya sangat kasar dan permukaan dari sambungan lasnya sudah tidak terlihat karena tertutupi oleh korosi yang terjadi merata. Maka bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai laju korosi yang terjadi maka permukaannya akan semakin kasar dan mengalami kerusakan yang semakin parah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang bisa diambil dari percobaan pengelasan bawah air menggunakan proses SMAW pada plat ASTM A36 dengan variasi jenis elektroda adalah:

1. Nilai laju korosi yang diperoleh pada masing-masing elektroda yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Nilai laju korosi yang diperoleh untuk pengelasan bawah air menggunakan proses SMAW pada plat ASTM A36 dengan elektroda E6013 adalah sebesar 9.626 mmpy.
 - Nilai laju korosi yang diperoleh untuk pengelasan bawah air menggunakan proses SMAW pada plat ASTM A36 dengan elektroda E6019 adalah sebesar 12.020 mmpy.
 - Nilai laju korosi yang diperoleh untuk pengelasan bawah air menggunakan proses SMAW pada plat ASTM A36 dengan elektroda E7018 adalah sebesar 20.255 mmpy.
2. Proses pengelasan bawah air pada plat ASTM A36 menggunakan proses SMAW dengan elektroda E7018 mempunyai nilai laju korosi yang lebih besar dibandingkan dengan elektroda E6013 dan E6019, itu disebabkan karena perlakuan pengelasan yang berbeda. Elektroda E7018 membutuhkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan elektroda E6013 dan E6019 karena saat menggunakan elektroda E7018 lebih sulit menyalakan busur listriknya saat pengelasan.
3. Susunan morfologi permukaan pada sambungan plat yang terkorosi dengan nilai laju korosi yang lebih tinggi akan mengalami perubahan yang lebih besar dibandingkan morfologi pada permukaan sambungan plat yang memiliki nilai laju korosi yang lebih rendah. Perubahan pada sambungan plat yang memiliki nilai laju korosi lebih tinggi terlihat sangat kasar dan hampir semua permukaan yang diuji telah tertutupi oleh korosi. Sedangkan Perubahan pada

sambungan plat yang memiliki nilai laju korosi lebih rendah terlihat tidak terlalu kasar dan korosi terjadi hanya di beberapa bagian saja tidak sampai menutupi semua bagian sambungan plat yang diuji korosi.

.5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

- Penelitian selanjutnya bisa menggunakan material yang berbeda yakni material baja karbon menengah atau baja karbon tinggi.
- Penelitian selanjutnya perlu membandingkan studi kasus yang berbeda keadaan lingkungannya, seperti variasi temperatur dan salinitas.
- Penelitian selanjutnya bisa melakukan variasi coating yang digunakan pada elektroda.

DAFTAR PUSTAKA

Agastama, P. 2010. Studi Laju Korosi Weld Joint Material Baja A36 pada Underwater Welding, *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.

Anggaretno, G. 2012. Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl₃. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.

ASTM. 1996. *ASTM A 36 "Standard Specification for Carbon Structural Steel"*. Washington: ASTM International.

ASTM. 2003. *ASTM D1141-98 "Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water"*. Washington: ASTM Publishing.

ASTM. 2003. *ASTM G48 "Standard Test Methods for Pitting and crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution"*. Washington. ASTM International.

AWS. 2004. *AWS A5.1 "Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding"*. Miami: American Welding Society.

Burhani. 2001. Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pelat Baja SS-41, *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Kelautan, ITS.

Fontana, M.G. 1987. *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Company. New York.

Frankel, G.S. 2008. Electrochemical Techniques in Corrosion: Status, Limitations, and Needs. *Journal of ASTM International*. Vol. 5, No.2. The Ohio State University. Columbus.

Hardiansyah, P. dan Supomo, H. 2012. Pengaruh Metode Pemanasan Line Heating pada Proses Pembentukan Badan Kapal terhadap Laju Korosi. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 1, No. 1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Muvidah, U. 2008. Pengaruh Jenis Proses Las dan Salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja Pada Underwater Welding di Lingkungan Laut. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Purwoko. 2012. *Mikroskop Stereo*. <http://atjoex.blogspot.com/2012/06/mikroskop-stereo.html?m=1>. diakses pada 14 Januari 2014

Putri, A.M. 2012. Studi Laju Korosi dan Surface Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Kelautan, ITS. Surabaya.

Santoso, J. 2006. Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.

Supomo, H. 2003. *Buku Ajar Korosi*, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.

Syahroni, N. 2001. *Jenis-Jenis Proses Las*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

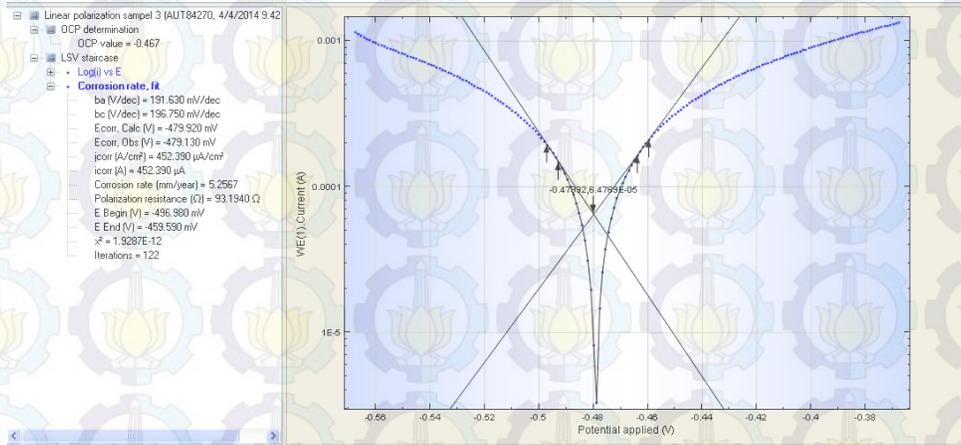
Trethwey, K.R. and J. Chamberlain. 1991. Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Wahab, A. 2010. *Pengelasan di Bawah Permukaan Air Laut*. <http://wahabxxxxx.wordpress.com/2010/12/15/pengelasan-dibawah-permukaan-air-laut-underwater-welding/> diakses pada 14 September 2013.

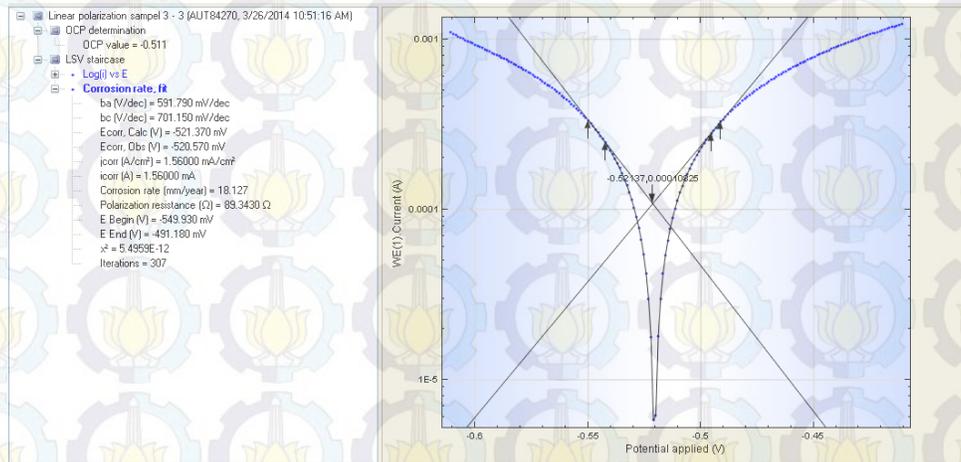
Zakharov, B. 1962. *Heat Treatment of Metal*. Peace Publisher. Moscow.

Sambungan las dengan menggunakan elektroda E6013

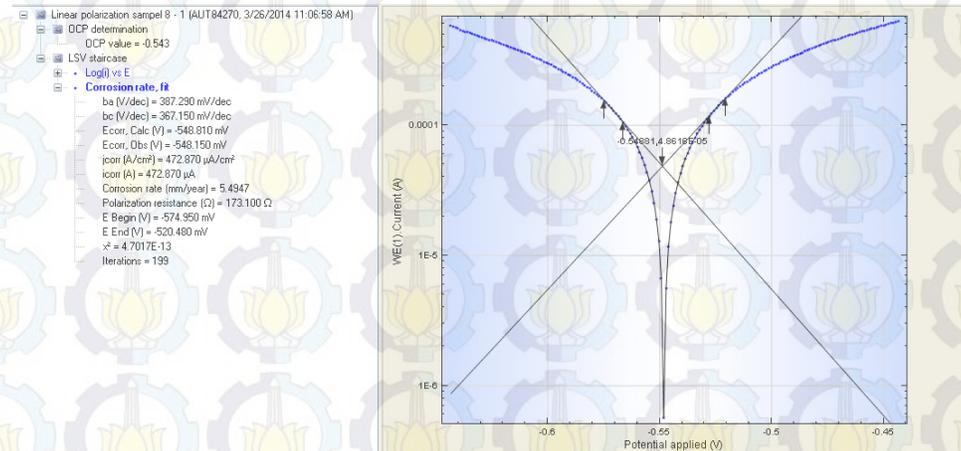
Spesimen 1



Spesimen 2



Spesimen 3

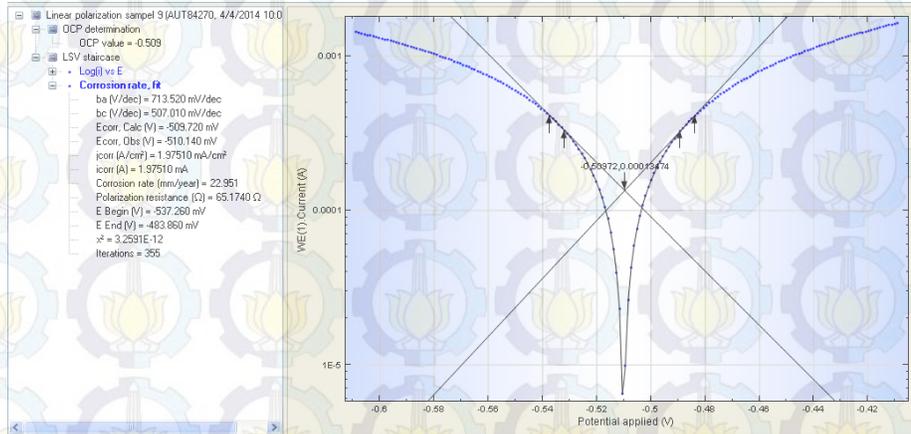


Sambungan las dengan menggunakan elektroda E6019

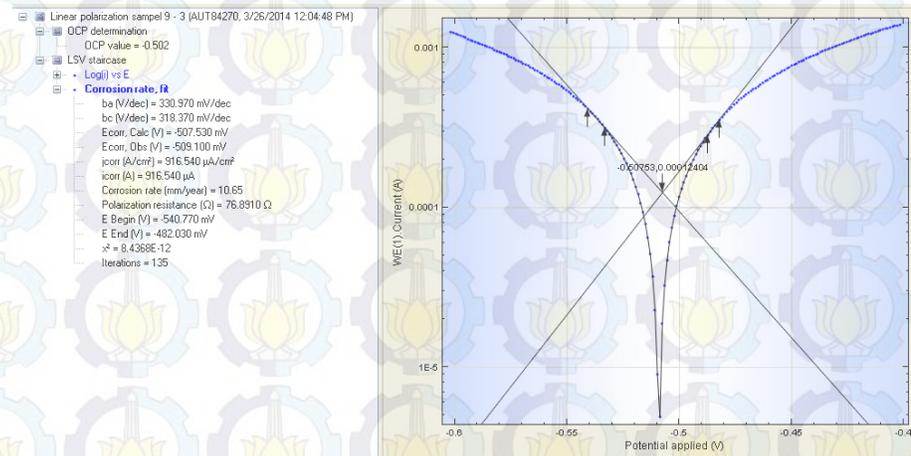
Spesimen 1



Spesimen 2

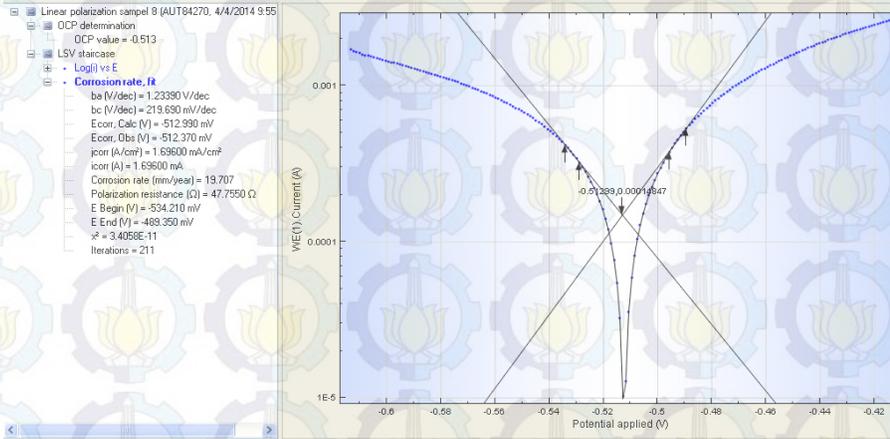


Spesimen 3



Sambungan las dengan menggunakan elektroda E7018

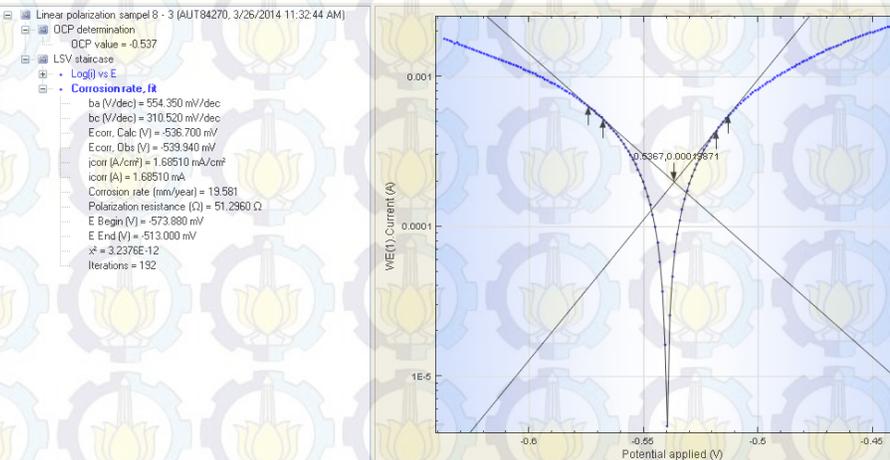
Spesimen 1



Spesimen 2

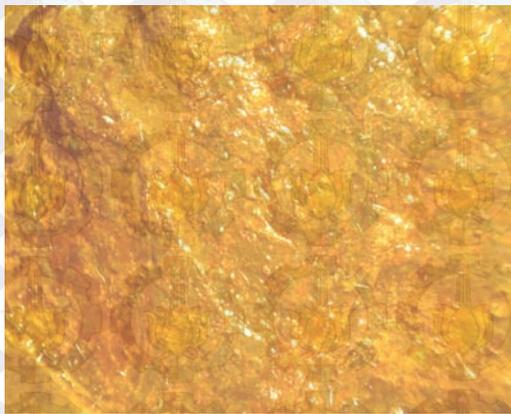


Spesimen 3

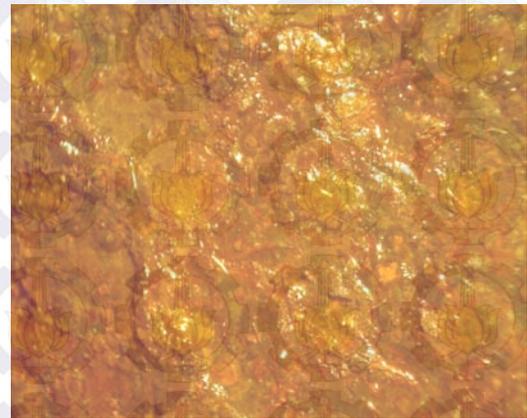


Hasil foto stereo mikroskop pada sambungan las dengan elektroda E6013

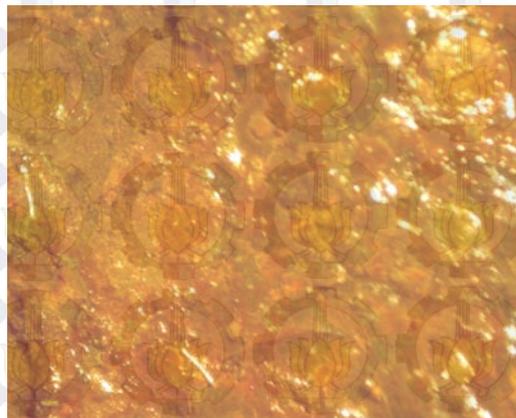
Spesimen 1



8x

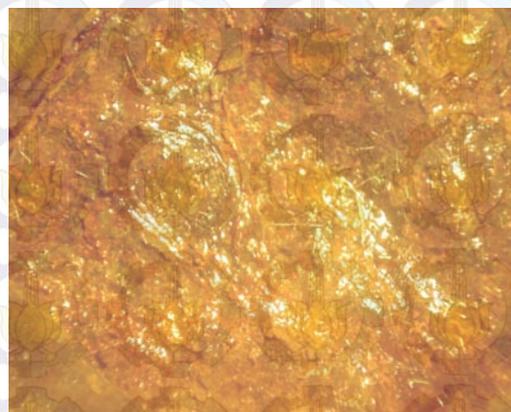


16x

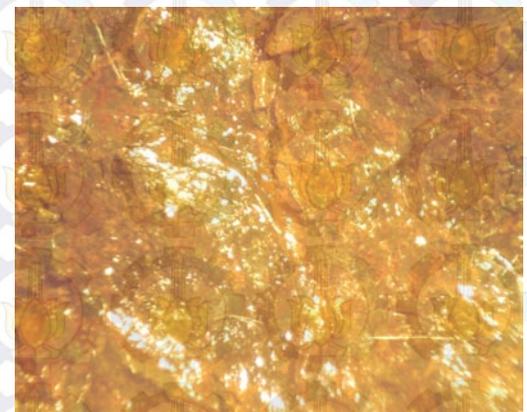


32x

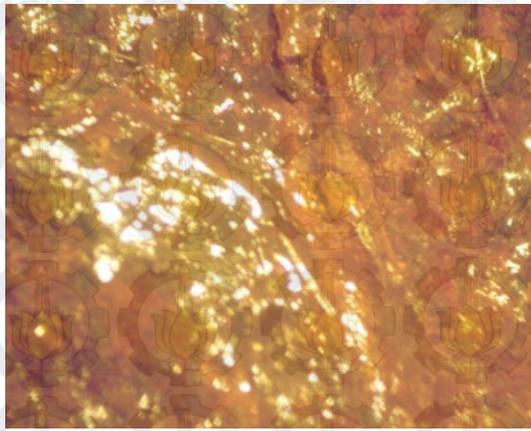
Spesimen 2



8x



16x

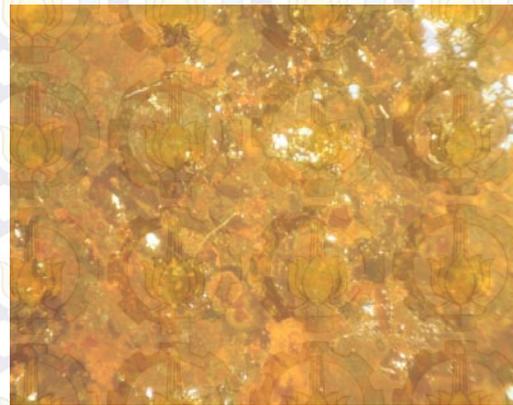


32x

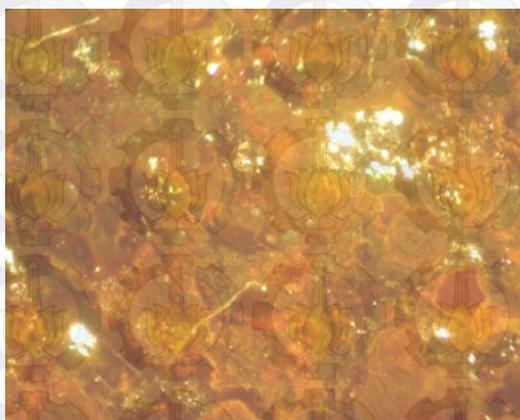
Spesimen 3



8x



16x



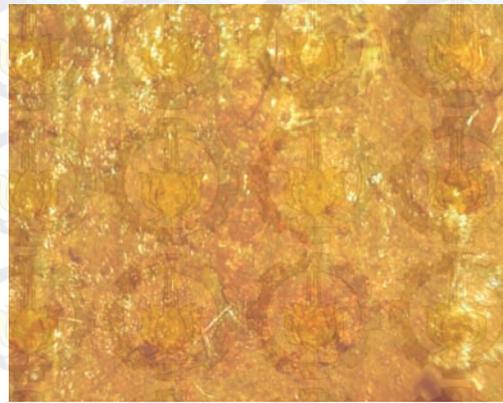
32x

Hasil foto stereo mikroskop pada sambungan las dengan elektroda E6019

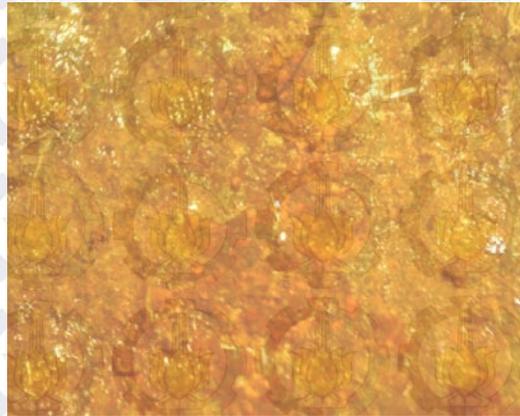
Spesimen 1



8x

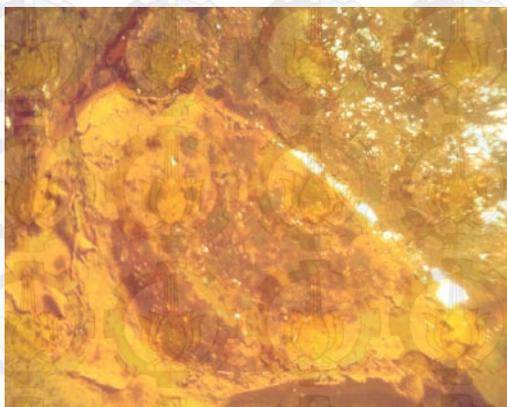


16x

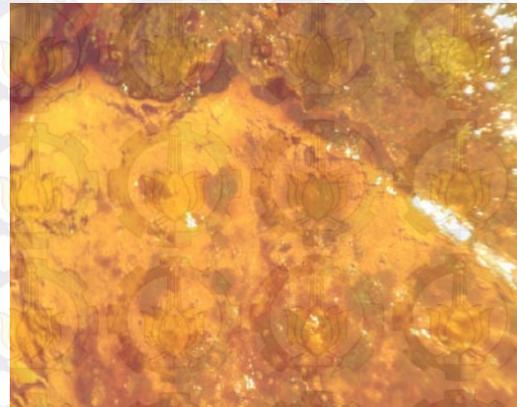


32x

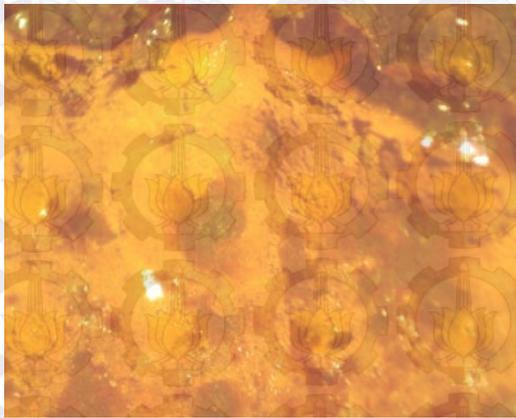
Spesimen 2



8x



16x

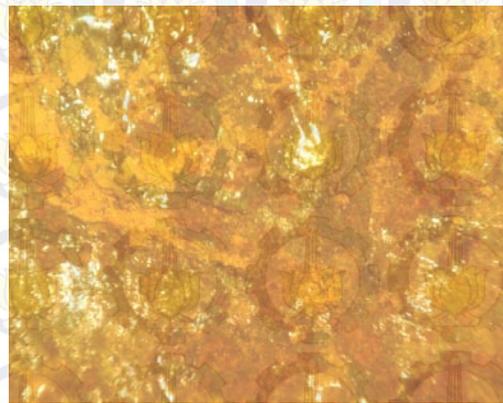


32x

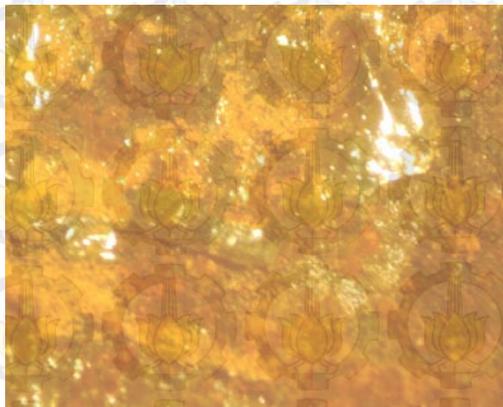
Spesimen 3



8x



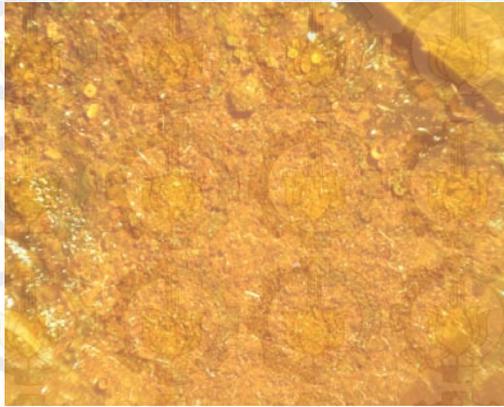
16x



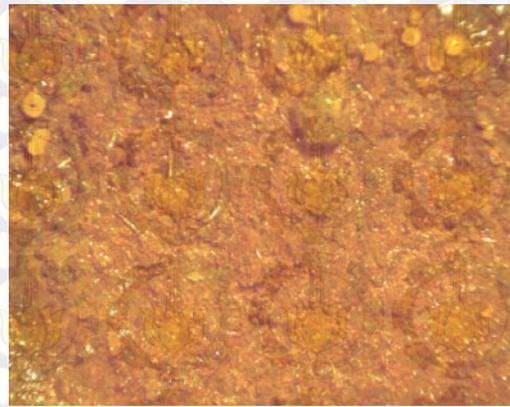
32x

Hasil foto stereo mikroskop pada sambungan las dengan elektroda E7018

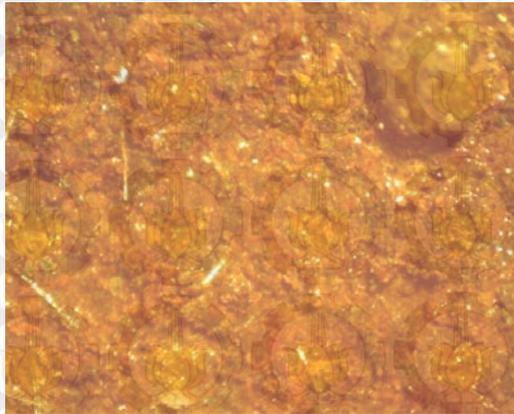
Spesimen 1



8x

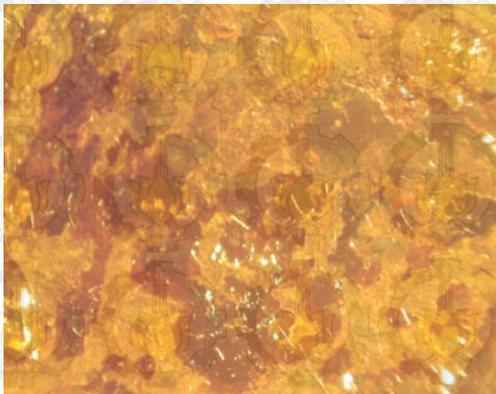


16x



32x

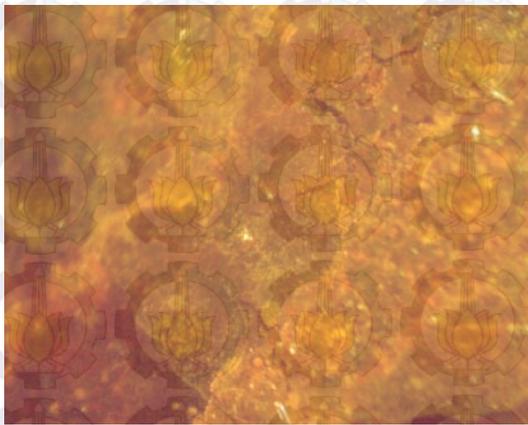
Spesimen 2



8x



16x

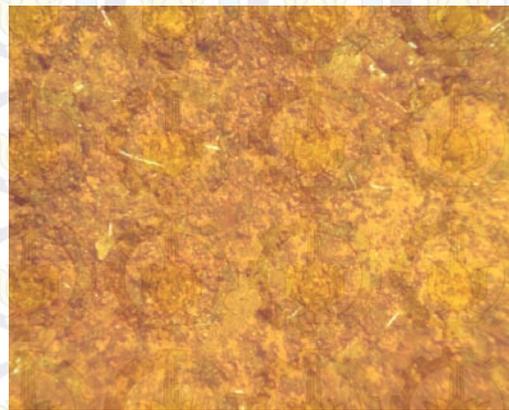


32x

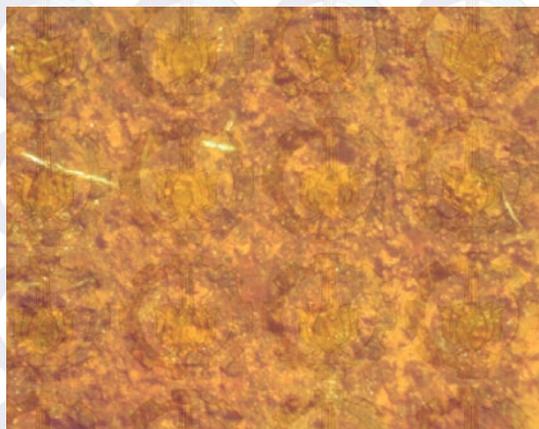
Spesimen 3



8x



16x



32x

BIODATA PENULIS



Miftakhul Huda dilahirkan di Gresik, 7 Juli 1990, Merupakan anak ke-tujuh dari tujuh bersaudara. Penulis mengenyam semua jenjang pendidikan formalnya di kota Gresik. Menyelesaikan pendidikan dasarnya di MI Islamiyah Sidayu-Gresik, lalu MTs. Kanjeng Sepuh Sidayu-Gresik dan MA Kanjeng Sepuh Sidayu-Gresik. Saat akan lulus dari MA Kanjeng Sepuh Sidayu-Gresik pada tahun 2009, penulis memutuskan untuk mengikuti Seleksi PBSB yang diselenggarakan oleh Kementerian Agama (Kemenag) dan PTN yang dipilih adalah Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya kemudian diterima di salah satu jurusannya yaitu Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan. Selama menjalani masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD, ESQ, dan mentoring. Penulis juga aktif dalam berbagai seminar dan pelatihan, baik yang diadakan oleh institut, fakultas maupun jurusan, serta penulis aktif dalam UKM yang ada di kampus seperti sepak bola dan badminton. Penulis telah melaksanakan program mata kuliah Kerja Praktek di PT. Gunanusa Utama Fabricator dan PT. Dinamika Energitama Nusantara. Di akhir masa kuliahnya, penulis mengambil tema tugas akhir mengenai solusi pemilihan elektroda pada pengelasan bawah air agar diperoleh nilai laju korosi yang paling kecil.