



**TUGAS AKHIR - MO141326**

**ANALISIS PREDIKSI LAJU KOROSI DAN SIFAT MEKANIS  
PADA SAMBUNGAN BAJA A36 DAN BAJA A53  
MENGUNAKAN PENGELASAN SMAW PADA WET  
UNDERWATER WELDING**

**WENDY LAKSONO  
NRP. 0431144000080**

**Dosen Pembimbing  
Herman Praktikno, S.T., M.T., Ph.D  
Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T**

**Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan**



**TUGAS AKHIR - MO141326**

**ANALISIS PREDIKSI LAJU KOROSI DAN SIFAT MEKANIS  
PADA SAMBUNGAN BAJA A36 DAN BAJA A53  
MENGUNAKAN PENGELASAN SMAW PADA WET  
UNDERWATER WELDING**

WENDY LAKSONO  
NRP. 0431144000080

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D  
Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T

Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**FINAL PROJECT - MN091387**

**ANALYSIS OF CORROSION RATE PREDICTION AND  
MECHANICAL PROPERTIES ON JOINT OF STEEL A36  
AND STEEL A53 USE METHOD WELDING SMAW ON WET  
UNDERWATER WELDING**

WENDY LAKSONO  
NRP. 04311440000080

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D  
Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PREDIKSI LAJU KOROSI DAN SIFAT MEKANIS PADA SAMBUNGAN BAJA A36 DAN BAJA A53 MENGGUNAKAN PENGELASAN SMAW PADA WET UNDERWATER WELDING

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi S-1  
Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember Surabaya.

Oleh:

**Wendy Laksono**

NRP: 04311440000080

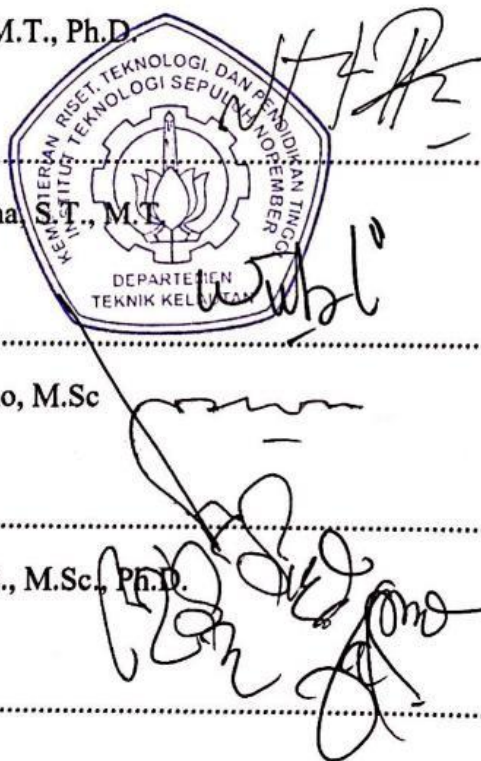
Disetujui Oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc (Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)



Surabaya, Juli 2018

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT karena atas Rahmat-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. dan Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing, atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan ITS yang telah banyak membantu;
3. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, atas izin pemakaian fasilitas laboratorium.
4. Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS atas izin pemakaian fasilitas laboratorium.
5. Pak Rahmat dari Laboratorium Perkapalan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membantu pengelasan dan pengujian metalografi dan kekerasan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan semangat, motivasi dan bantuan baik moril maupun materil.
7. Mbak dan Mas penulis yang telah memberikan dorongan untuk terus semangat.
8. Ilya Masruroh teman penulis yang selalu memberikan dorongan untuk terus semangat.
9. Teman-teman Kelautan angkatan 2014 “Maelstrom” atas segala bantuan, doa dan dukungannya.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 24 Juli 2018

Wendy Laksono

# **ANALISIS PREDIKSI LAJU KOROSI DAN SIFAT MEKANIS PADA SAMBUNGAN BAJA A36 DAN BAJA A53 MENGUNAKAN PENGELASAN SMAW PADA WET UNDERWATER WELDING**

Nama Mahasiswa : Wendy Laksono  
NRP : 04311440000080  
Jurusan / Fakultas : Teknik Kelautan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D  
2. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T

## **ABSTRAK**

Struktur konstruksi badan kapal lambat laut mengalami kerusakan . Apabila kapal mengalami kerusakan pada konisi darurat, pekerjaan las bawah air menjadi hal yang diutamakan. Sedangkan faktor korosi pada pengelasan basah bawah air merupakan masalah yang pasti terjadi. Melalui penelitian ini dikaji perbandingan prediksi laju korosi sambungan las material baja A36 dan Baja A53 yang diberi perlakuan pengelasan basah bawah air dengan elektroda E-6013 dan elektroda E-6019. Penelitian Prediksi laju korosi dilakukan dengan pengujian terhadap material baja A36 dan baja A53 yang dilas menggunakan metode SMAW pada pengelasan basah bawah air pada posisi 1G (datar) dengan elektroda AWS E-6013 dan E-6019 yang dilapisi isolasi yang bersifat kedap air. Dari data pengujian laju korosi diketahui bahwa pengelasan basah bawah air dengan elektroda AWS E-6013 lebih tinggi di bandingkan dengan pengelasan basah bawah air dengan elektroda AWS E-6019. sedangkan untuk pengujian uji tarik dengan variasi elektroda diketahui bahwa dengan elektroda AWS E-6019 cenderung lebih besar, dibandingkan dengan elektroda AWS E-6013. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai prediksi laju korosi untuk sambungan elektroda E-6013 sebesar 2.17255(mm/year), untuk sambungan elektroda E-6019 sebesar 0.86722(mm/year), dan untuk sambungan elektroda campuran sebesar 1.5541(mm/year). Hasil dari uji tarik untuk sambungan elektroda E-6013 sebesar 252(Mpa) dan 374(Mpa), untuk elektroda E-6019 sebesar 272.6(Mpa) dan 385(Mpa), dan untuk elektroda campuran sebesar 272.5(Mpa) dan 380(Mpa).

**Kata kunci:** *Prediksi Laju Korosi, Uji Tarik, Pengelasan bawah bawah air , Elektro*

# **ANALYSIS OF CORROSION RATE PREDICTION AND MECHANICAL PROPERTIES ON JOINT OF STEEL A36 AND STEEL A53 USE METHOD WELDING SMAW ON WET UNDERWATER WELDING**

Author : Wendy Laksono  
ID No. : 04311440000080  
Dept. / Faculty : Ocean Engineering / Marine Technology  
Supervisors : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D  
2. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

The structure of the hull construction is slowly damaged. If the ship was damaged in an emergency situation, underwater welding repair will be preferred. While the factor of corrosion on wet underwater welding is the inevitable problem. This research examined comparison of the corrosion rate of the weld joint of steel material A36 and A53 treated with wet underwater welding of AWS E-6013 , AWS E-6019 electrode. This research was conducted by testing the corrosion rate of the welded A36 steel and A53 steel material using SMAW on wet underwater welding on 1G position (flat) with AWS E-6013 and AWS E-6019 electrode coated with a water-resistant insulation. The test result shown that the corrosion rate of wet underwater welding with AWS E-6013 electrode is higher compared with underwater wet welding with AWS E-6019 electrode , while for tensile test with electrode variation it is known that with AWS E-6019 electrodes tend to be higher, compared to AWS E-6013 electrode. The test results showed that the predicted rate of corrosion rate for E-6013 electrode was 2.17255 (mm / year), for E-6019 electrode was 0.86722 (mm / year), and for the combined electrode was 1.5541 (mm / year). The results of the tensile test for the E-6013 electrode are 252 (Mpa) and 374 (Mpa), for E-6019 electrodes were 272.6 (Mpa) and 385 (Mpa), and for the mixed electrode were 272.5 (Mpa) and 380 (Mpa ).

**Keyword** : *Prediction of Corrosion rate, Tensile Test, Wet underwater welding, Electrode.*

## DAFTAR ISI

1.1	Latar Belakang Masalah .....	1
1.2	Perumusan Masalah.....	4
1.3	Batasan Masalah.....	4
1.4	Tujuan.....	5
1.5	Manfaat.....	5
1.6	Hipotesis.....	5
1.7	Sistematika Penulisan.....	6
2.1	Baja.....	7
2.1.1	Klasifikasi Baja.....	7
2.1.2	Baja ASTM A36.....	8
2.2.3	Baja ASTM A53.....	9
2.2	Dasar Teori.....	10
2.2.1	Definisi Korosi.....	10
2.2.2	Dasar Terjadinya Korosi.....	10
2.2.3	Faktor Penyebab Korosi.....	12
2.2.4	Jenis Korosi.....	16
2.2.5	Korosi Pada Pengelasan.....	18
2.2.6	Persamaan Laju Korosi.....	20
2.2.6.1	Metode Kehilangan Berat.....	21
2.2.6.2	Metode Elektrokimia.....	22
2.2.7	Teori Sel Tiga Elektroda.....	23
2.3	Pengelasan Wet Welding.....	24
2.3.1	Pengertian Proses Pengelasan Bawah Air.....	24
2.3.2	Parameter Pengelasan Bawah Air.....	24
2.3.2.1	Pengelasan Kering.....	24
2.3.2.2	Pengelasan Basah.....	25
2.4	Elektroda.....	25
2.4.1	Elektroda Untuk Pengelasan SMAW pada WER WELDING.....	25
3.1	Diagram Alur Penelitian.....	27
3.2	Penjelasan Diagram Alur.....	29
3.2.1	Studi Literatur.....	29
3.2.2	Persiapan Material Uji.....	29
3.2.3	Persiapan Alat.....	29
3.2.4	Persiapan Media Laurantan Uji (pengganti air laut).....	32
3.2.5	Pengujian NDT.....	33
3.2.6	Persiapan Pengujian Tarik.....	33
3.2.7	Persiapan Pengujian Korosi.....	34
3.2.8	Persiapan Struktur Makro.....	34
3.2.9	Persiapan Struktur Mikro.....	35
3.2.10	Persiapan Uji Kekerasan.....	36
4.1	Welding Procedure Specification (WPS).....	37
4.2	Visualisasi Pengelasan.....	38
4.3	Visualisasi Hasil Radiografi Pengelasan.....	39
4.3.1	Radiografi Pengelasan AWS E-6013.....	40
4.3.2	Radiografi Pengelasan AWS E-6019.....	40
4.3.3	Radiografi Pengelasan Campuran.....	41



4.4	Hasil Uji Tarik.....	42
4.4.1	Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E-6013.....	42
4.4.2	Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E-6019.....	43
4.4.3	Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E-6013 dan AWS E-6019.....	43
4.4.4	Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	44
4.5	Hasil Prediksi Laju Korosi.....	45
4.5.1	Prediksi Laju Korosi Pengelasan AWS E-6013.....	46
4.5.2	Prediksi Laju Korosi Pengelasan AWS E-6019.....	46
4.5.3	Prediksi Laju Korosi Pengelasan AWS E-6013 & AWS E-6019.....	47
4.5.4	Analisis Hasil Prediksi Laju Korosi.....	47
4.6	Hasil Uji Metalografi.....	49
4.6.1	Struktur Mikro Pengelasan Basah Bawah Air Elektrode AWS E-6013.....	49
4.6.2	Struktur Mikro Pengelasan Basah Bawah Air Elektrode AWS E-6019.....	51
4.6.3	Struktur Mikro Pengelasan Basah Bawah Air Elektrode Campuran.....	52
4.7	Hasil Pengamatan Struktur Makro.....	54
4.8	Hasil Uji Kekerasan Vickers.....	55
4.8.1	Hasil Pengujian Vickers.....	56
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	59
	LAMPIRAN A.....	61
	PERHITUNGAN LAJU KOROSI DENGAN SOFTWARE CORRTEST.....	61
	ELEKTRODA AWS E-6013.....	61
	ELEKTRODA AWS E-6019.....	61
	ELEKTRODA CAMPURAN.....	62
	LAMPIRAN B.....	63
	DOKUMENTASI Pengerjaan Tugas Akhir.....	63
	ISOLASI MERK 3M.....	63
	ELEKTRODA AWS E-6013 dan AWS E-6019.....	63
	ELEKTRODA YANG SUDAH DI LAPISI ISOLASI.....	63
	PLAT YANG SEDANG DI BAVEL.....	64
	MESIN SMAW.....	64
	PROSES PENGELASAN UNDERWATER WELDING.....	64
	CONTOH SPECIMEN UJI TARIK.....	65
	PROSES Pengerjaan Uji Tarik.....	65
	CONTOH SPECIMEN UJI KOROSI.....	65
	PROSES UJI KOROSI.....	66
	SOFTWARE CORRTEST.....	66
	PEMOLESAN SPECIMEN METALOGRAFI.....	66
	PROSES PENGAMBILAN GAMBAR STRUKTUR MAKRO.....	66
	PROSES PENGAMBILAN GAMBAR STRUKTUR MIKRO.....	67
	LAMPIRAN C.....	68
	GRAFIK UJI TARIK DAN FOTO SPECIMEN.....	68
	GRAFIK DAN SPECIMEN 1.1.....	68
	GRAFIK DAN SPECIMEN 1.2.....	68
	GRAFIK DAN SPECIMEN 1.3.....	69
	GRAFIK DAN SPECIMEN 2.1.....	69
	GRAFIK DAN SPECIMEN 2.2.....	70

GRAFIK DAN SPECIMEN 2.3.....	70
GRAFIK DAN SPECIMEN 3.1.....	71
GRAFIK DAN SPECIMEN 3.2.....	71
GRAFIK DAN SPECIMEN 3.3.....	72
BIODATA PENULIS.....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengeplotan Diagram Tafel Yang Di Idealkan.....	23
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian.....	28
Gambar 3.2	Elektroda Merk Kobe Steel.....	29
Gambar 3.3	Isolasi Merk 3M.....	30
Gambar 3.4	Hasil Elektroda Yang Suda Dilapisi Isolasi.....	30
Gambar 3.5	Mesin Pengalasan SMAW.....	31
Gambar 3.6	Mesin Uji Tarik.....	33
Gambar 3.7	Seperangkat Elektroda Uji Korosi.....	34
Gambar 3.8	Pengambilan Foto Makro.....	35
Gambar 3.9	Pengambilan Foto Mikro.....	36
Gambar 4.1	Hasil Pengelasan Basah Bawah Air Elektroda AWS E-6013.....	38
Gambar 4.2	Hasil Pengelasan Basah Bawah Air Elektroda AWS E-6019.....	38
Gambar 4.3	Hasil Pengelasan Basah Bawah Air Elektroda Campuran.....	39
Gambar 4.4	Hasil Radiografi Pada Elektroda AWS E-6013.....	39
Gambar 4.5	Hasil Radiografi Pada Elektroda AWS E-6019.....	40
Gambar 4.6	Hasil Radiografi Pada Elektroda Campuran.....	41
Gambar 4.7	Contoh Grafik Tafel.....	45
Gambar 4.8	Contoh Hasil Perhitungan Software.....	46
Gambar 4.9	Foto Mikro Untuk Elektroda AWS E-6013.....	50
Gambar 4.10	Foto Mikro Untuk Elektroda AWS E-6019.....	51
Gambar 4.11	Foto Mikro Untuk Elektroda Campuran.....	53
Gambar 4.12	Fotor Struktur Makro Pada Elektroda AWS E-6013.....	54
Gambar 4.13	Foto Struktur Makro Pada Elektroda AWS E-6019.....	54
Gambar 4.14	Foto Struktur Makro Pada Elektroda Campuran.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Chemical Requirements ASTM A36.....	8
Tabel 2.2	Tensil Requirements ASTM A36.....	9
Tabel 2.3	Tabel Kandungan Kimia ASTM A53.....	9
Tabel 2.4	Tingkat Ketahanan Laju Korosi Berdasarkan Laju Korosi.....	21
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Pengganti Air Laut.....	32
Tabel 4.1	Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E-6013.....	42
Tabel 4.2	Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E-6019.....	43
Tabel 4.3	Hasil Kekuatan Tarik Pengelasa Campuran.....	44
Tabel 4.4	Output Software Corrtest Elektroda AWS E-6013.....	46
Tabel 4.5	Output Software Corrtest Elektroda AWS E-6019.....	47
Tabel 4.6	Outpur Software Corrtest Elektroda Campuran.....	47
Tabel 4.7	Tingkat Ketahanan Korosi.....	48
Tabel 4.8	Hasil Struktur Mikro.....	53
Tabel 4.9	Hasil Uji Kekerasan Elektroda AWS E-6013.....	56
Tabel 4.10	Hasil Uji Kekerasan Elektroda AWS E-6019.....	56
Tabel 4.11	Hasil Uji Kekerasan Elektroda Campuran.....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Teknik penyambungan logam sudah dikenal manusia sejak jaman prasejarah, yaitu penyambungan logam mulia dengan menggunakan panas. Setelah listrik ditemukan, teknologi pengelasan logam berkembang pesat, diawali dengan penggunaan las busur listrik oleh Bernades pada tahun 1885 (Okumura, 1994).

Salah satu faktor terpenting pada proses pengelasan adalah elektroda. Tiap jenis elektroda las memiliki komposisi kimia dan sifat mekanik yang berbeda. Oleh karena itu, dengan membandingkan jenis elektroda yang berbeda berdasarkan kekuatan mekaniknya pada pengelasan wet welding akan memberikan informasi elektroda manakah yang menghasilkan sifat-sifat mekanik yang memenuhi atau paling cocok digunakan untuk pengelasan bawah air pada material ASTM A36. (Nizar, 2014)

Pada tahun 1940 terjadi patah getas pada beberapa kapal dan jembatan. Setelah dilakukan penyelidikan menunjukkan bahwa pada kapal dan jembatan terdapat cacat las, retak halus, dan tegangan sisa dalam bahan yang terjadi pada saat proses pengelasan. Secara tidak langsung dapat diketahui bahwa kegagalan sambungan las terjadi karena kurangnya ketelitian dalam menyusun prosedur pengelasan. (Kurniawan, 2000)

Perkembangan teknologi zaman sekarang mengalami kemajuan yang sangat pesat, terutama pada teknologi konstruksi dan bangunan. Umumnya konstruksi bangunan terbuat dari besi dan baja walaupun dari aluminium juga ada, seperti halnya pada industri perkapalan (*marine vessel*) dan industri lepas pantai (*offshore industry*). Proses pembuatan konstruksi kapal maupun bangunan lepas pantai tidak lepas dari proses pengelasan, seperti pembuatan jacket, kapal, pipa penyalur, dan sebagainya. Pengelasan tidak hanya sebatas di darat saja, di dalam air pun pengelasan dapat dilakukan. Biasanya metode pengelasan digunakan dalam proses pembuatan atau reparasi barang yang terbuat dari logam. Umumnya bangunan lepas pantai dirancang untuk beroperasi sekitar 20 tahun. Namun demikian, selama bangunan tersebut beroperasi tidak menutup kemungkinan akan mengalami kerusakan pada struktur. Apabila kerusakan yang terjadi di atas permukaan air mungkin masih bisa untuk diatasi, tetapi apabila kerusakan yang terjadi di bawah permukaan air, maka diperlukan teknologi bawah air dengan penanganan secara khusus.

Dengan demikian tuntutan keanekaragaman proses las yang sesuai dengan standard specification, baik untuk keperluan konstruksi maupun reparasi harus dipenuhi. (Musaikan., 2002).

Pada industri perkapalan, perawatan dan reparasi kapal dilakukan di dry dock. Namun, ini tidak berlaku untuk bangunan lepas pantai (seperti jenis *fixed*), maka dari itu proses reparasi harus dilakukan ditempat *fixed* tersebut berada. Hal ini menyebabkan pekerjaan bawah air menjadi hal yang teramat penting (Joshi, 2000)

Kehadiran konstruksi lasan untuk bangunan super tanker, pipa-pipa penyalur gas alam, pressure vessel, anjungan minyak lepas pantai dengan persyaratan tinggi mutlak diperlukan. Dengan demikian tuntutan keanekaragaman proses las yang sesuai dengan standard specification, baik untuk keperluan konstruksi maupun reparasi harus dipenuhi. (Hudaya, 2008)

Underwater Welding merupakan salah satu kebutuhan pokok untuk menunjang reparasi bangunan lepas pantai. Hal ini disebabkan karena tidak ada alternatif lain untuk melakukan penyambungan bagian konstruksi yang patah atau rusak di bawah garis air misalnya pada *fixed offshore structure*. *Underwater welding* mulai berkembang pada waktu Perang Dunia I, yaitu ketika Angkatan Laut Inggris memperbaiki kapalnya pada bagian bawah garis air dengan pengelasan. Sejak itulah las bawah air (*underwater welding*) dikembangkan terus. Hal ini disebabkan karena semakin pentingnya pengelasan bawah air untuk menunjang kebutuhan perbaikan pada konstruksi kapal di bawah garis air, penyambungan dan perbaikan pipa-pipa di bawah permukaan air dan reparasi laki-laki anjungan minyak lepas pantai. (Muvida, 2008)

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. (Huda, 2014)

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 analisis 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. (Huda, 2014)

Pada dasarnya pelat yang digunakan adalah jenis Baja AH 36 karena memiliki kekuatan dan kandungan karbon yang sesuai. Namun pada suatu saat perusahaan mitra yang menjadi distributor pelat memiliki masalah dalam fabrikasi sehingga distribusi pelat harus ditunda selama 1,5 bulan. Akhirnya, setelah dilakukan kajian beberapa hari pihak klasifikasi memutuskan untuk memilih Baja ASTM A 53 sebagai material pengganti pelat Baja AH 36 untuk sambungan pelat *tank deck*.

Melalui tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh sambungan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53 pada *wet underwater welding*, pada hasil pengelasan baja terhadap laju korosinya. Hanya saja, tipe baja yang digunakan berbeda yaitu ASTM A36 dan ASTM A53. Analisis akan dilakukan dengan pengujian elektrolisis sel tiga elektroda menggunakan larutan NaCl (sebagai pengganti air laut) serta pengaruh elektroda pada pengelasan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53 terhadap laju korosi apabila dilakukan pengelasan bawah air.

## 1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang tersebut di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi elektroda terhadap nilai prediksi laju korosi dari hasil sambungan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53?
2. Bagaimana pengaruh variasi elektroda terhadap sifat mekanis yang berupa nilai kekerasan dari hasil sambungan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53?
3. Bagaimana pengaruh variasi elektrode terhadap sifat mekanis yang berupa nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53?
4. Bagaimana pengaruh variasi elektrode terhadap pengujian metalografi dari hasil sambungan las pelat Baja ASTM A36 dengan Baja ASTM A53?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang ada dalam penelitian ini adalah :

1. Material pelat yang digunakan adalah ASTM A36 dan ASTM A53.
2. Ketebalan pelat adalah 12 mm.
3. Pengelasan yang dilakukan menggunakan *welding machine* pada *wet underwater welding*.
4. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Shield Metal Arc Welding* (SMAW)
5. Elektrode yang digunakan adalah E 6013 dan E 6019 dengan lapisan isolasi.
6. Pengujian dilakukan dengan metode elektrolisis sel tiga elektrode.
7. Larutan penguji yang digunakan adalah campuran NaCl sebagai pengganti air laut.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mendapatkan nilai prediksi laju korosi dari hasil sambungan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53 dengan variasi elektroda.
2. Mendapatkan sifat mekanis yang berupa nilai kekerasan dari hasil sambungan baja ASTM A36 dan ASTM A53 dengan variasi elektroda.
3. Mendapatkan sifat mekanis yang berupa nilai kekuatan tarik dari hasil sambungan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53 dengan variasi elektroda.
4. Mendapatkan hasil pengujian metalografi yang berupa struktur makro dan struktur mikro dari hasil sambungan las pelat Baja ASTM A36 dengan Baja ASTM A53 dengan variasi elektroda.

### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Memberikan penjelasan tentang pengaruh sambungan baja ASTM A36 dan baja ASTM A53, terhadap laju korosi pada *wet underwater welding*.
2. Menunjang penelitian-penelitian sebelumnya.
3. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.
4. Sebagai bahan referensi untuk meminimalisir terjadinya korosi.



## **1.6 Hipotesis**

1. Pengelasan menggunakan elektode E 6019 akan menghasilkan spesimen dengan nilai kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan pengelasan menggunakan elektode E 6013 pada pengelasan bawah air.
2. Pengelasan menggunakan elektode E 6019 akan menghasilkan spesimen dengan nilai prediksi laju korosi yang lebih rendah dibandingkan pengelasan menggunakan elektroda E 6013 pada pengelasan bawah air.
3. Pengelasan menggunakan elektode E 6019 akan menghasilkan spesimen dengan nilai kekerasan yang lebih besar dibandingkan pengelasan menggunakan elektroda E 6013 pada pengelasan bawah air.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

### **BAB I Pendahuluan**

Pada bab ini berisi konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan, dan manfaat.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini membahas tentang teori-teori yang mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini yaitu teori tentang korosi, pengelasan dan baja.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Pada bab ini memaparkan metode dalam melakukan pengujian, meliputi persiapan dan cara kerja percobaan.

### **BAB IV Analisis dan Pembahasan**

Pada bab ini akan melakukan kajian penyebab nilai laju korosi yang berbeda-beda tiap variasi eletrode, terhadap laju korosi.

## BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dari semua perhitungan yang sudah dilakukan serta saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon yang mempunyai kandungan karbon maksimum 1,7 %. Selain terdiri dari besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain, yang biasanya kadarnya akan ditekan serendah mungkin. Sebagian berasal dari pengotoran bijih 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 [Zakharov, 1962].

##### 2.1.1 Klasifikasi Baja

Berdasarkan komposisinya, baja dapat dikelompokkan menjadi beberapa golongan, diantaranya:

- Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel / Mild Steel*) yang mengandung karbon antara 0,1% - 0,3%. 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 relative rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi, mudah di-bending dan di-machining. Baja ini tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan pengerasan permukaan). Ada juga sangat rendah, yaitu kurang dari 0,15% sebagai dead mild steel yang biasanya digunakan untuk besi lembaran, besi ton, besi ditrip dan lainnya. [Zakharov, 1962].
- Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,30% - 0,70%. Baja ini terdiri dari ferrit dan perlit, 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 dan lain-lain, yang lebih memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi [Zakharov, 1962].

- Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) yang mempunyai kadar karbon di atas 0,70%. Baja ini 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 campuran atau baja khusus (*alloy steel*) adalah baja yang sudah mengalami proses penambahan unsur-unsur paduan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat kekerasan dan keuletan
- Baja tahan karat yang biasanya disebut *stainless steel*, bersifat memberikan perlawanan terhadap karat. Dan untuk menghasilkan baja tahan karat, baja karbon ditambahi unsur paduan *chromium* sebesar 2%.

### 2.1.2 Baja ASTM A36

ASTM A36 adalah jenis baja mild steel yang banyak digunakan dalam industri perkapalan. Spesifikasi baja ini telah ditetapkan oleh American Society for testing and Material (ASTM) dengan komposisi kimia seperti tabel berikut pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Chemical Requirement ASTM A36

NOTE 1— Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.										
Product	Shapes <sup>a</sup>	Plates <sup>b</sup>					Bars <sup>b</sup>			
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

<sup>a</sup>Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].  
<sup>b</sup>For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

(Sumber: ASTM A36 – 2004)

Spesifikasi baja standar ASTM (American Society for Testing and Materials), khususnya pada baja ASTM A36 memiliki Tensile Requirement pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Tensile Requirements

Plates, Shapes, <sup>a</sup> and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] <sup>c</sup>
Plates and Bars <sup>d, e</sup> :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 <sup>e</sup>
<sup>a</sup> See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.	
<sup>b</sup> For wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.	
<sup>c</sup> Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.	
<sup>d</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.	
<sup>e</sup> For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.	

(Sumber : ASTM A36 – 2004)

### 2.2.3 BAJA ASTM A53

Material ini sering digunakan untuk pipa, Material ini juga dilapisi oleh unsur zinc (galvanized), Kandungan kimia dari baja ASTM A53 dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Tabel Kandungan Kimia ASTM A 53

Composition	Grade A	Grade B
Carbon max. %	0.25	0.30
Manganese %	0.95	1.2
Phosphorous, max. %	0.05	0.05
Sulfur, max. %	0.045	0.045
Copper, max. %	0.40	0.40
Nickel, max. %	0.40	0.40
Chromium, max. %	0.40	0.40
Molybdenum, max. %	0.15	0.15
Vanadium, max. %	0.08	0.08

Grade	Mechanical Properties, Min.	
	Tensile Strength(Mpa)	Yield Strength(Mpa)
A	330	205

(Sumber : ASTM standard, 1993)

## 2.2 DASAR TEORI KOROSI

### 2.2.1 Definisi Korosi

Korosi diartikan sebagai karat yaitu suatu yang hampir dianggap musuh masyarakat. Karat (*rust*) tentu saja sebutan yang belakangan ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi, sedangkan korosi adalah gejala destruktif yang mempengaruhi semua logam, walaupun besi bukan logam pertama yang dimanfaatkan oleh manusia. [Trethwey, 1991]

Korosi bersal dari bahasa latin “*Corrode*” yang artinya karat. Sedangkan untuk lebih memahami pengertian korosi, di bawah ini disajikan beberapa definisi korosi:

1. Korosi adalah serangan yang bersifat merusak pada suatu logam oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Istilah karat digunakan untuk korosi besi atau campuran besi (*ferrous alloy*) dengan pembentukan produksi korosi berupa oksida besi.
2. Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan. Istilah karat (*rust*) adalah sebutan yang hanya digunakan khusus pada korosi besi.
3. Korosi adalah penurunan mutu atau kerusakan bahan karena berinteraksi dengan lingkungannya. Istilah karat hanya digunakan untuk korosi logam.

Dari ketiga definisi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara logam dengan lingkungannya, yang dapat mengakibatkan penurunan sifat atau mutu logam.

### 2.2.2 Dasar Terjadinya Korosi

Berdasarkan mekanisme proses terjadinya, korosi dapat dibedakan atas:

#### 1. Korosi sebagai Reaksi Kimia

Korosi secara kimia adalah korosi yang terjadi dengan reaksi kimia murni. Pada proses ini terjadinya korosi tanpa ikut sertanya elektron. Reaksinya dapat digambarkan pada reaksi besi yang dicelup ke dalam asam klorida (HCl) dengan reaksi:



#### Korosi sebagai Reaksi Elektrokimia

Reaksi elektrokimia dapat digunakan untuk menerangkan mekanisme terjadinya korosi. Reaksi elektrokimia dapat digambarkan pada reaksi besi yang dicelupkan dalam asam klorida (HCl). Pada proses besi dalam HCl, reaksinya berlangsung dengan cepat, gas hydrogen dilepas dan besi akan larut membentuk FeCl<sub>2</sub>, dengan reaksi:

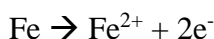


Dengan memperhatikan bahwa ion  $\text{Cl}^-$  tidak terlibat dalam reaksi, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

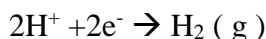


Pada persamaan di atas, besi bereaksi dengan ion hidrogen dalam larutan asam membentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan gas hidrogen. Dapat dimengerti bahwa selama reaksi, Fe teroksidasi menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan ion hidrogen tereduksi menjadi  $\text{H}_2$ .

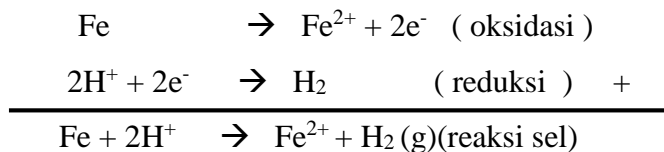
Reaksi oksidasi besi bersifat anodik (anoda)



Sedangkan reduksi ion hidrogen bersifat katodik (katoda)



Reaksi oksidasi atau reaksi anodik ditandai dengan kenaikan valensi atau produksi electron dari 0 menjadi 2, sedangkan ion hidrogen akan direduksi menjadi gas hidrogen. Penulisan reaksi yang lengkap dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan reaksi oksidasi dan reaksi reduksi seperti di bawah ini :



Kedua reaksi tersebut melibatkan muatan listrik pada daerah anodik dan katodik. Reaksi ini dapat berlangsung bila elektron mengalir dari anodik ke katodik melalui suatu elektrolit dan aliran electron hanya dapat terjadi bila ada perbedaan tegangan antara anodik dan katodik. Ini berarti bahwa suatu logam akan terkorosi bila pada permukaan logam terdapat daerah yang bersifat anodik dan katodik.

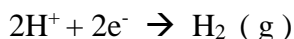
Reaksi anodik pada peristiwa korosi secara umum digambarkan sebagai:



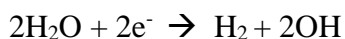
Sedangkan untuk reaksi katodik yang mungkin selama proses korosi logam adalah:

[Widharto, 1987]

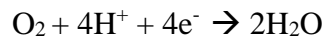
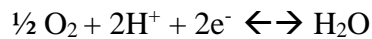
1. Evolusi Hidrogen:



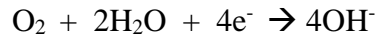
2. Reduksi Air:



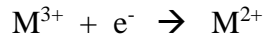
3. Reduksi Oksigen (lingkungan asam):



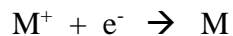
4. Reduksi Oksigen ( lingkungan netral atau basa ):



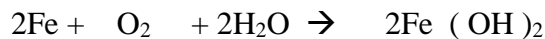
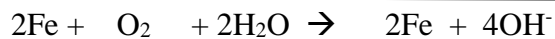
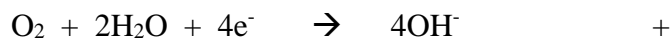
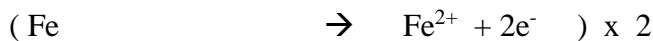
5. Reduksi Ion Logam



6. Pengendapan Logam:



Bila permukaan Fe kontak dengan air maka akan terjadi reaksi anodik sebagai berikut:



Dan produk akhir yaitu  $2\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang diperoleh adalah karat. Jadi selama logam terkorosi, laju oksidasi sama dengan laju reduksi.

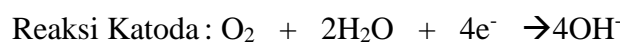
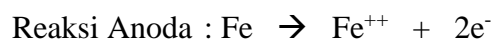
### 2.2.3 Faktor Penyebab Korosi

Ada dua aspek penting mempengaruhi proses korosi yaitu logam dan lingkungannya. Hubungan antara logam dan lingkungannya sangat relatif sekali. Ada logam tertentu yang bersifat korosif pada suatu lingkungan tetapi ada logam lain yang tidak korosif pada lingkungan tersebut, sebagai contoh bahwa hubungan logam dan lingkungannya bersifat relatif adalah dimana logam *Stainless Steel* korosif terhadap elektrolit asam klorida pekat (83% *Chloride Acid*), tetapi pada kepekatan yang sama *Carbon Steel* tidak bersifat korosif. [Widharto, 1987].

1. Aspek Lingkungan

Lingkungan merupakan suatu media yang berada pada sekeliling atau sekitar bahan logam. Adapun factor yang mempengaruhi korosi dari aspek lingkungan ini adalah:

a. Adanya Oksigen terlarut atau bahan oksidator yang lain yang dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi.



Dalam hubungannya dengan aktif-pasif metal apabila *oxidizer* ditambah akan berakibat pada bertambahnya *Corrosion Rate*, pada tingkat tertentu harga *Corrosion Rate* akan



konstan dan apabila diadakan penambahan *oxidizer* lagi akan berakibat pada meningkatnya *Corrosion Rate* secara dramatik.

b. Kecepatan Media

Seperti pada penambahan *oxidizer* pengaruh kecepatan media terhadap *Corrosion Rate* tergantung pada karakteristik logam dan lingkungan dimana benda tersebut berada. Ada tiga jenis karakteristik logam dalam hubungannya dengan kecepatan media yaitu:

- Jenis A : Proses korosi dikontrol oleh katodik diffusion sehingga kecepatan media berpengaruh pada *Corrosion Rate*.
- Jenis B : Proses korosi dikontrol oleh *activation polarization* dan kecepatan media tidak berpengaruh terhadap *Corrosion Rate*.
- Jenis C : Beberapa logam mempunyai ketahanan korosi di dalam media tertentu, apabila agitasi diberikan pada larutan media, maka akan terjadi perilaku hubungan kecepatan dengan *Corrosion Rate*.

c. Garam Terlarut

Garam merupakan senyawa kimia yang bersifat pengoksidasi ataupun bersifat pereduksi, sehingga tingkatan kadar garamnya bias sebanyak mungkin atau sekecil mungkin. Kadar garam yang terlarut dalam lingkungan sangat berpengaruh terhadap laju korosi, semakin tinggi kadar garam akan meningkatkan laju korosi, namun demikian berdasarkan teori pasivitas, pada kadar garam tertentu yaitu dengan kadar garam yang tinggi laju korosi akan menurun. Kondisi tersebut dinamakan kondisi pasif sehingga larutan garam selain bisa bersifat katalisator juga bias bersifat sebagai inhibitor.

d. Konsentrasi Gas

Selain garam terlarut, kondisi udara juga akan sangat berpengaruh terhadap proses korosi. Hal ini karena fase gas merupakan zat yang mudah bereaksi dengan senyawanya. Dengan menganalisis kandungan gas yang ada maka gas-gas yang sangat berpengaruh harus dikurangi sekecil mungkin. Jenis gas yang sangat berpengaruh terhadap proses korosi adalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  selain itu ada jenis gas lain yang ikut berpengaruh, diantaranya adalah  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Gas-gas tersebut bersifat katalisator terhadap proses korosi.

e. Temperatur

Apabila dua logam yang sama berada dalam elektrolit yang sama, dan terletak pada masing-masing tempat yang berbeda suhu, jika kedua logam tersebut dihubungkan maka logam yang terletak di suhu yang rendah akan bersifat anodik dan di tempat yang

bersuhu tinggi akan menjadi katodik, dengan demikian akan terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda dan menyebabkan karat di bagian anoda tersebut. Hal ini terjadi pada kasus elektroda tembaga yang dimasukkan ke dalam elektrolit berupa larutan  $\text{CuSO}_4$ , demikian halnya timah, namun pada perak justru terjadi kebalikannya.

f. Kadar keasaman (pH)

Kecepatan korosi relatif konstan pada Ph antara 4-10. Pada Ph kurang dari 4, asam menyebabkan terjadinya pelepasan hidrogen pada beberapa kondisi asam khususnya yang mengandung sulfida, hydrogen yang terjadi akan terdistribusi ke dalam baja dan menyebabkan blistering pada baja yang berkekuatan rendah (*low strength steel*) dan *cracking* pada baja kuat (*high strength steel*). Pada Ph di atas 10 kecepatan korosi menurun, garam terlarut secara umum menambah kecepatan korosi karena garam ini dapat meningkatkan konduktivitas larutan.

g. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran bisa meningkatkan laju korosi khususnya bila ada aliran tolakan. Pergolakan air laut menyebabkan hancurnya lapisan pelindung apalagi kalau aliran larutan tersebut mengandung partikel-partikel padat. Selain itu benturan-benturan mempercepat penetrasi, sedangkan peronggaan memperbanyak bagian permukaan baja yang tersingkap korosi berlanjut. Namun pada sisi lain, yaitu secara elektrokimia pada kecepatan tertentu kecepatan aliran bisa mengganggu konsistensi dari reaksi korosi dan hal ini bisa menurunkan laju korosi. Pada kecepatan aliran yang relatif tinggi dimana logam tercelup, bisa meningkatkan laju korosi. Jika hal tersebut berlanjut bisa mengakibatkan korosi erosi yang diawali dengan rusaknya lapisan film logam yang selanjutnya permukaan logam akan mengalami kerusakan.

sedikit dan terisolasi justru bisa menyebabkan korosi lubang akibat aerasi diferensial di bawah hewan yang menempel tersebut.

## 2. Aspek Logam

Dalam proses korosi logam berlaku sebagai subyek reaksi, maka dengan sendirinya mempelajari karakteristik dari logam baik secara makro maupun mikro sangatlah penting supaya mendapatkan jenis logam yang cenderung tahan terhadap lingkungan tertentu. Logam dan paduannya terbentuk dari berbagai Kristal atom. Kristal-kristal atom logam tersusun dalam suatu bentuk yang teratur dengan ikatan yang sangat kuat.

Ketika suatu logam mengalami pembekuan dan pendinginan kristal-kristal atom secara acak terdistribusi di dalam logam cair dan nantinya akan terbentuk butiran-butiran, pada saat itu juga ada daerah yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi dan lebih reaktif dibandingkan daerah butiran yang lain. Oleh sebab itu daerah batas butir akan mengalami kerusakan yang lebih cepat pada saat terjadinya proses korosi. Sebagai contoh terbentuknya daerah yang berwarna gelap yang memisahkan daerah satu dengan lainnya pada proses pengetsaan. Cacat Kristal yang terjadi pada butiran logam akan mempercepat proses korosi. [Suherman, 1987]

Berbagai faktor yang mempengaruhi proses korosi dari aspek logam adalah:

a. Komposisi unsur – unsur pada logam

Setiap jenis logam mempunyai kandungan unsur – unsur yang berbeda – beda dan hal ini bisa menyebabkan sifat korosifitas dari logam tersebut. Logam – logam yang mengandung besi (*ferrous*) bisa dikelompokkan dalam tiga bagian yaitu:

- Besi cor, besi dan baja tempa, dimana tidak ada elemen campuran lain yang ditambahkan. Pada kelompok ini logam mudah terkena korosi.
- Baja campuran rendah dimana terdiri dari kurang lebih 2-3 % elemen campuran seperti *chromium*, *copper* dan *nickel*. Baja pada kategori ini masih cenderung mudah terkena korosi. Tetapi apabila berada di bawah kondisi atmosphere logam tersebut menjadi bersifat lebih protektif sehingga laju korosi menjadi lebih lambat dibanding baja pada kategori pertama.
- Stainless steel, dimana terdiri dari elemen campuran kadar tinggi, yaitu 18 % *chromium*, 8 % *nickel* dan 3 % *molybdenum*. Baja tipe ini tidak bersifat korosif.

b. Jenis Logam

Setiap logam atau paduan akan bereaksi secara berbeda terhadap suatu elektrolit yang sama. Disamping itu perlu diketahui bahwa ada logam atau paduan tertentu menjadi justru pasif (tidak bereaksi) bila kekuatan elektrolit melampaui batas tertentu. Baja karbon termasuk yang memiliki sifat pasivitas ini.

c. Homogenitas dan fisika permukaan logam.

d. Kemampuan pembentukan suatu lapisan pelindung.

e. Sifat mekanik logam.

Sifat mekanik dari logam menunjukkan kemampuan dari suatu logam untuk menerima beban, gaya atau energy tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik

tetapi kurang baik terhadap sifat yang lain, misalnya saja baja dimana baja yang mempunyai sifat mekanik yang cukup baik tetapi ternyata mempunyai sifat tahan korosi yang kurang baik sehingga seringkali sifat tahan korosinya ini diperbaiki dengan pengecatan atau *galvanizing*.

Salah satu sifat mekanik yang berkaitan erat dengan ketahanan material terhadap korosi adalah kekarsan (*hardness*) yang didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi) ataupun penetrasi. Ada kecenderungan bahwa logam dengan tingkat kekerasan yang tinggi akan lebih tahan terhadap korosi terutama korosi erosi.

f. Kehantaran listrik

Kehantaran listrik yang tinggi memungkinkan aliran listrik dari anoda ke katoda tetap bekerja meskipun kedua elemen tersebut mempunyai jarak yang tidak berdekatan. Dengan kehantaran listrik yang tinggi karena mempunyai perbedaan beda potensial dari kedua logam yang besar akan meningkatkan elemen anoda lebih bersifat korosif, maka apabila perlu memilih dua jenis logam yang berbeda dipilih logam dengan selisih beda potensial yang tidak besar.

#### 2.2.4 Jenis Korosi

Pengklasifikasian korosi dapat ditinjau dari cara korosi tersebut terbentuk dan tiap-tiap bentuk dikenali secara pengamatan visual. Dalam banyak kasus, pengamatan visual sudah cukup tetapi pada beberapa kasus tertentu diperlukan pengamatan dengan alat bantuan. Bentuk-bentuk korosi berdasarkan karakteristik, mekanisme dan pencegahannya sebagai berikut:

1. Uniform Attack

Uniform attack atau biasa disebut dengan korosi menyeluruh adalah jenis korosi yang paling banyak merusak logam. Jenis korosi ini, bagaimanapun tidak terlalu berbahaya jika ditinjau dari segi teknik. Hal ini karena lifetime dari sebuah konstruksi yang mengalami korosi dapat diperkirakan dengan menggunakan percobaan secara sederhana. *Uniform attack* dapat dicegah dengan cara melakukan perlindungan material seperti pengecatan, *inhibitors* atau dengan perlindungan katodik [Fontana, 1987]

2. Galvanic

Perbedaan potensial biasanya terjadi antara dua buah logam yang berbeda ketika keduanya berada dalam satu elektrolit. Ketika dua logam tak sejenis berada dalam satu elektrolit maka terjadi perbedaan potensial yang menghasilkan aliran elektron diantara kedua logam. Logam dengan daya korosi lebih tinggi akan terlindungi dari korosi dan logam dengan daya korosi rendah akan mengalami korosi. Pada logam dengan daya korosi rendah akan menjadi anoda dan logam dengan daya korosi tinggi menjadi katoda. Karena adanya aliran arus listrik dan perbedaan jenis logam maka jenis korosi ini dinamakan galvanic [Fontana, 1987]

### 3. Crevice Corrosion

*Crevice Corrosion* adalah jenis korosi yang terjadi di dalam celah dan pada daerah permukaan logam yang terlindungi. Jenis ini sering terjadi pada volume kecil yang tetap pada daerah-daerah permukaan logam, biasanya disebabkan oleh lubang, celah di bawah paku keeling, dan baut [Fontana, 1987]. Crevice corrosion terjadi dengan mekanisme sebagai berikut [Trethewey and Chamberlain, 1991]:

- a. Mula-mula elektrolit diandaikan memiliki komposisi seragam, korosi terjadi secara perlahan di seluruh permukaan logam terbuka.
- b. Pengambilan oksigen yang terlarut menyebabkan lebih banyak lagi difusi oksigen dari permukaan-permukaan elektrolit yang kontak langsung dengan atmosfer. Oksigen di permukaan logam lebih mudah dikonsumsi daripada yang ada di dalam celah sehingga pembangkitan ion negative dalam celah berkurang.
- c. Untuk mempertahankan keadaan maka ion negative di luar celah terdifusi ke dalam celah. Korosi terjadi karena mendapat ion-ion kompleks antar klorida akibat ion-ion logam mengalami reaksi dengan air.
- d. Keadaan akan semakin memburuk jika terjadi peningkatan konsentrasi ion hydrogen dan konsentrasi anion di dalam celah.

### 4. Pitting Corrosion

*Pitting corrosion* adalah korosi lokal yang menyerang permukaan logam, hasil dari korosi jenis ini adalah lubang di permukaan logam. Logam yang terjadi memiliki diameter yang berbeda mulai dari kecil sampai besar. Tetapi pada kebanyakan kasus diameter yang terjadi relatif kecil [Fontana, 1987].

### 5. Intergranular Corrosion

*Intergranular corrosion* adalah korosi yang terjadi pada batas butir. Batas butir sering menjadi tempat mengumpulnya impurity, juga merupakan daerah yang lebih tegang. Oleh karena itu, tidak tertutup kemungkinan untuk terjadi korosi. Korosi jenis ini merupakan salah

satu jenis korosi yang sangat berbahaya, karena akan sangat menurunkan kekuatan dan ketangguhan suatu konstruksi. Intergranular corrosion juga sangat sulit untuk dideteksi sehingga kerusakan pada suatu alat maupun konstruksi dapat terjadi tanpa diketahui tanda-tanda terjadinya.

#### 6. Selective Leaching

Korosi jenis ini menyerang seluruh permukaan terbuka, sehingga bentuk keseluruhan tidak ada perubahan. Hilangnya sebuah unsur paduan dalam jumlah besar menjadikan logam berpori-pori dan hampir tanpa kekuatan mekanik lagi. Efek ini bersifat sangat lokal sehingga yang terbentuk bukan pori melainkan lubang.

#### 7. Erosion Corrosion

Erosion corrosion adalah percepatan atau penambahan korosi dari logam akibat gerak relatif antara cairan korosif dengan permukaan logam. Biasanya gerakan relatif yang terjadi termasuk gerakan cepat sehingga efek yang terjadi adalah abrasi. Permukaan logam akan hilang, sehingga hasil yang diperoleh berupa suatu bentuk aliran pada permukaan logam. [Fontana, 1987]

#### 8. Stress Corrosion

Stress corrosion adalah korosi yang terjadi akibat bekerjanya tegangan dan media yang korosif. Akibat dari korosi ini adalah keretakan pada logam akibat adanya tegangan tarik. Tegangan tarik tersebut dapat berupa tegangan sisa.

### **2.2.5 Korosi Pada Pengelasan**

Pembuatan suatu sambungan dari dua atau lebih komponen pada suatu posisi atau tempat tertentu dapat dilakukan sebagai berikut:

- a) dengan pengertian sebuah alat penguncian secara mekanis seperti sekrup dan baut atau paku keeling.
- b) dengan cara pengelasan, pematiran atau penyolderan.
- c) Dengan sebuah bahan perekat.

Komponen dari suatu sambungan dapat berupa logam yang sejenis atau tidak sejenis struktur dan komposisinya, logam dan non logam atau keseluruhannya merupakan non logam, tetapi di sini yang kita tinjau adalah penyambungan dengan pengelasan pada logam. Dimana pada tahapan tertentu dari suatu fabrikasi manufaktur didominasi oleh proses penyambungan. Sehingga korosi akibat pengelasan pada logam menjadi sangat penting, dimana sifat alami

logam terlibat dan geometri sambungan dapat menyebabkan bagian mana dari logam terkena korosi setempat.

Walaupun korosi pada galvanic melibatkan logam yang berbeda tetapi perlu juga diperhatikan untuk korosi penyambungan logam adalah perbedaan potensial dapat dihasilkan dari perbedaan pada struktur atau tegangan selama proses pengelasan ataupun proses selanjutnya setelah pengelasan.

Logam carbon manganese mendominasi struktur pada perkapalan dan bangunan lepas pantai dan digunakan secara luas berdasarkan atas range kemampuan mechanical properties yang sangat baik, mudah didapat dan pertimbangan harga yang sesuai. Walaupun demikian, logam tersebut bukan logam yang memiliki keistimewaan tahan terhadap korosi pada media larutan garam. Proteksi terhadap korosi pada logam ini harus disediakan coating yang efektif (termasuk cladding dan sheathing) atau proteksi katodik, tergantung pada keadaannya. Dan rencana pada proteksi tersebut akan menimbulkan biaya besar, baik pada saat biaya instalasi, saat perawatan dan meningkatnya biaya pada beberapa tahapan dari periode penggunaan instalasi tersebut.

Penyambungan dengan pengelasan berbeda dengan solder atau brazing, sebab pengelasan menghasilkan material homogen yang kontinyu dengan melibatkan atau tidak filler material sebagai penyambung. Ada banyak jenis proses yang mana pada umumnya mengaplikasikan energi termal untuk meleburkan logam yang akan disambung.

Pemeriksaan makrografik dari sambungan pengelasan menunjukkan dua zona secara jelas, yaitu zona fusi dengan areanya mahkota las dan area dekat di sekitarnya dan zona logam induk. Lebih jauh dapat dijelaskan bahwa perbedaan dalam komposisi kimia terjadi akibat pembakaran elemen-elemen paduan secara tidak sengaja atau disengaja. Karakteristik lainnya dari pengelasan adalah :

[Sherir, Jarman&Burstein, 1994]

- 1.Menghasilkan suatu residual stress yang mana terjadi setelah pengelasan selesai dan pada daerah sekitar pengelasan, yang mana tegangan tersebut dapat mencapai hingga ke yield point.
- 2.Pada kasus pengelasan fusi, permukaan lapisan logam keadaannya kasar yang dapat menyebabkan tegangan meningkat dan sebagai tempat kondensasi (lembab).
- 3.Daerah sambungan ditutupi oleh kerak oksida dan memungkinkan lapisan tersebut secara kimia menjadi reaktif terutama bila keadaan lembab.
- 4.Lapisan pelindung pada logam yang akan dilas akan terbakar habis sehingga mahkota las dan logam induk menjadi tidak terlindungi.

Oleh karena itu menggunakan pengelasan untuk proses fabrikasi dapat mengubah karakteristik korosi dari suatu struktur.

Pengelasan yang tanpa retak (crack) tidak mungkin untuk dihasilkan, ketika dilakukan proses fabrikasi dilakukan pada logam. Dan hasil lasnya bukan merupakan suatu material propertis yang spesifik tetapi merupakan kombinasi dari properties logam induk, filler material (bila digunakan) dan faktor-faktor lainnya. Sebagai akibat dari struktur material yang biasanya memiliki hasil las yang tidak sempurna dapat menimbulkan cacat las pada mahkota las atau pada daerah HAZ (heat affected zone). Yang dapat membahayakan sifat mekanik dan juga menimbulkan permasalahan korosi pada hasil las, seperti pitting corrosion pada slag inclusion yang dangkal pada hasil las dan korosi celah (crevice) pada cacat porosity atau retak (crack).

Korosi celah pada pengelasan butt joint diakibatkan penetrasi yang buruk. Sebaliknya bila terdapat mahkota las yang menonjol pada pengelasan pipa bagian dalam, korosi atau erosi dapat terjadi akibat turbulence yang dihasilkan. Kejadian korosi celah lainnya yang dapat terjadi akibat jarak yang tidak benar pada pengelasan butt joint.

Pada kondisi tertentu hasil pengelasan dapat mengalami korosi akibat terjadinya fusion line crack pada daerah toe weld metal yang disebut knifeline attack. Hal ini terjadi pada pengelasan baja stabil setelah mengalami asam kuat nitric yang panas. Terjadinya knifeline attack dapat diperkecil dengan membatasi kandungan karbon pada logam sampai 0,60% maksimum. [Sherir, Jarman & Burstein, 1994]

Untuk kondisi heat affected zone (HAZ) untuk knifeline attack akibat panas selama pengelasan dan lamanya waktu pada temperatur tersebut dapat secara kritis menyebabkan serangan pada kekerasan logam. Tetapi factor ini berbeda dari satu juru las ke juru las lainnya.

Untuk stress corrosion cracking dikatakan berbahaya karena merupakan fenomena yang tersembunyi. Residual stress yang meningkat akibat pengelasan yang sering mencapai kondisi mendekati yield point yang dapat diperparah oleh kontaminasi klorida pada lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya transgranular dan retak rambut. Cara yang paling baik untuk mengeliminasi masalah ini adalah dengan proses annealing untuk membebaskan residual stress dan menambahkan molybdenum pada logam.

#### **2.2.6 Persamaan Laju Korosi**

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah laju korosi. Hal ini disebabkan laju korosi berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis material. Laju korosi



merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi pada material sehingga nantinya dapat diperkirakan kapan material tersebut dinyatakan layak dan kapan tidak layak. Satuan yang digunakan adalah mpy (mils per year).

Ketahanan terhadap korosi umumnya nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Dapat dilihat pada table di bawah yang menggolongkan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya [Fontana, 1987].

Tabel 2.4. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	µm/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+

Menghitung laju korosi pada umumnya menggunakan 2 cara yaitu:

1. Metode kehilangan berat
2. Metode Elektrokimia

Pada tabel 2.3 menjelaskan tentang tingkat ketahanan suatu material berdasarkan laju korosinya. Adapun tingkat yang baik yaitu antara 0.1 mm/year – 0.5 mm/ year.

### 2.2.6.1 Metode Kehilangan Berat

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus berdasar pada ASTM G1-90 vol 3.2 2002 sebagai berikut:

$$\text{mpy} = \frac{534 w}{DAT}$$

dengan mpy = mils per year (seper seribu inci per tahun)

W = berat yang hilang (mg)

D	= massa jenis spesimen (g/cm <sup>3</sup> )
A	= luas specimen (in <sup>2</sup> )
T	= waktu yang diperlukan (hour)

Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya), kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya.

Metode ini bila dijalankan dengan waktu yang lama dan suistainable dapat dijadikan acuan terhadap kondisi tempat objek diletakkan (dapat diketahui seberapa korosif daerah tersebut) juga dapat dijadikan referensi untuk treatment yang harus diterapkan pada daerah dan kondisi tempat objek tersebut.

#### 2.2.6.2 Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode 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 eaktu lainnya berbeda). Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatmen tidak dapat diketahui. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama.

Metode elektrokimia ini meggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday (ASTM G1-90 vol 3.2 2002) yaitu menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Laju Korosi} = k \frac{ai}{nD}$$

dimana :

Laju korosi dengan satuan mm/year atau mmpy

a = berat atom logam yang terkorosi (gram / mol)

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

k = konstanta (0.129 untuk satuan mpy dan 0.00327 untuk satuan mmpy)

n = jumlah elektron yang dilepas pada logam terkorosi

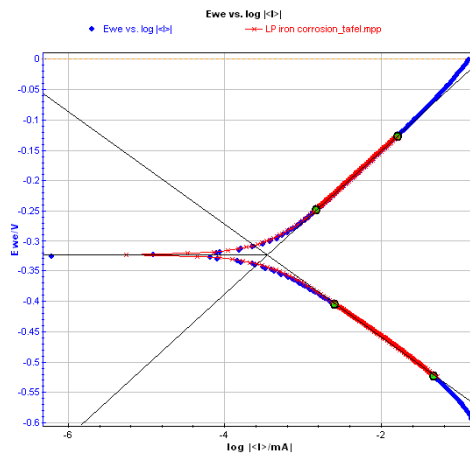
D = massa jenis logam terkorosi (gram / cm<sup>3</sup>)

Metode ini menggunakan pembandingan dengan meletakkan salah satu material dengan sifat korosif yang sangat baik dengan bahan yang akan diuji hingga beda potensial yang terjadi dapat diperhatikan dengan adanya pembandingan tersebut. Berikut merupakan gambar metode yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pada penelitian laju korosi dengan metode elektrokimia yang diuraikan di atas.

### 2.2.7 Teori Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Sel tiga elektroda adalah versi penyempurnaan dari sel korosi basah. Sel ini dapat digunakan dalam berbagai macam percobaan korosi.

Pengujian laju korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda merupakan pengujian laju korosi yang dipercepat dengan polarisasi dan potensial korosi bebasnya. Dari percobaan ini akan diperoleh data besarnya arus untuk setiap tegangan. Data tersebut untuk pengeplotan diagram tafel yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan harga  $i_0$  yang besarnya sama dengan ikor. [Wasis Anggoro Susilo, 2009]



**Gambar2.1.** Pengeplotan Diagram Tafel yang Diidealkan

## **2.3 Pengelasan Wet Welding**

### **2.3.1 Pengertian Proses Pengelasan Bawah Air**

Proses pengelasan bawah air merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memperbaiki atau memperbaiki kerusakan yang terjadi pada ban kapal, bangunan lepas pantai, penyambungan pipa-pipa minyak dan gas bumi maupun konstruksi-konstruksi lainnya yang terendam air. Namun bagi Indonesia pengelasan abir air masih merupakan hal yang asing sehingga dengan penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi industri maupun masyarakat luas. Kontribusi yang diberikan dengan melakukan pengelasan bawah air menggunakan metode pengelasan SMAW dan menganalisis pengaruhnya terhadap hasil pengelasan serta lanju korosinya.

Pada proses ini banyak faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan seperti proses pengelasan, besarnya arus listrik yang digunakan, jenis elektroda untuk pengelasan, bahkan pengaruh air tawar atau air laut terhadap struktur makro dan mikro daerah Heat Affected Zone (HAZ) dan sifat mekanik secara umum.

### **2.3.2 Parameter Pengelasan Bawah Air (*Underwater Welding*)**

Proses Pengelasan bawah air dapat diklasifikasikan menajdi dua, yakni :

1. Pengelasan Kering (*Dry Welding*)
2. Pengelasan basah (*Wet Welding*)

#### **2.3.2.1 Pengelasan Kering (*Dry Welding*)**

Proses peneglasan ini berlangsung dalam keadaan kering, tidka ubahnya seperti pengelasan di udara terbuka. Hal ini dapat dilakukan dengan bantuan ruang kedap air (*Dry Chamber*) yang bertekanan tinggi sesuai dengan kedalaman sehingga air tidak mungkin masuk. Cara ini lebih dikenal dengan istilah *Hyperbaric Welding*. Metode pengelasan kering memberikan hasil sambungan yang baik tetapi biaya tinggi karena harus menyediakan runagan kedap air dan bertekanan tinggi agar proses pengelasan dapat berlangsung dalam keadaan kering.

### **2.3.2.2 Pengelasan Basah (*Wet Welding*)**

Proses pengelasan ini berlangsung dalam keadaan basah, dalam arti bahwa elektroda las maupun benda kerja berhubungan langsung dengan air. Metode pengelasan basah dengan menggunakan batang elektroda las / stick elektroda pada SMAW, memberikan hasil yang kurang memuaskan, disamping memerlukan juru las yang memiliki keahlian menyelam yang tangguh dan memerlukan pakaian khusus selam, gelembung gas yang terjadi selama proses pengelasan sangat mengganggu pengamatan juru las.

Pengelasan dengan las busur listrik (SMAW) dalam keadaan basah memungkinkan :

- Busur listrik menjadi tidak stabil sehingga bentuk lasan tidak teratur dan terjadi banyak inklusi.
- Lapisan fluks (terak) langsung terkelupas sehingga terak tidak berfungsi sebagaimana mestinya kecuali bila pada elektroda yang akan digunakan, sebelumnya diberi perlakuan khusus.
- Sambungan las mendingin dengan cepat sehingga kekerasan, terutama di daerah yang terkena pengaruh panas (HAZ), akan meningkat disertai pengaruh kekuatan dan ketangguhan.
- Terjadi kenaikan kandungan hydrogen dalam logam las sehingga mudah terjadi retak.
- Terjadi struktur logam las yang relatif berbeda dengan struktur logam las jika proses pengelasan berlangsung pada kondisi atmosfer.
- Jumlah endapan logam las relatif lebih rendah dibandingkan dengan pengelasan di udara.
- Memerlukan arus yang lebih tinggi.
- Makin rentan terhadap porositas.

## **2.4 Elektrode**

### **2.4.1 Elektrode Untuk Pengelasan SMAW pada WET WELDING**

Elektrode las adalah suatu logam pengisi yang dilelehkan untuk mengisi celah-celah pada sambungan yang akan dilas. Elektroda ini bermacam-macam jenisnya, tergantung dari materi apa yang akan dilas dan cara pengelasan yang akan dilaksanakan.

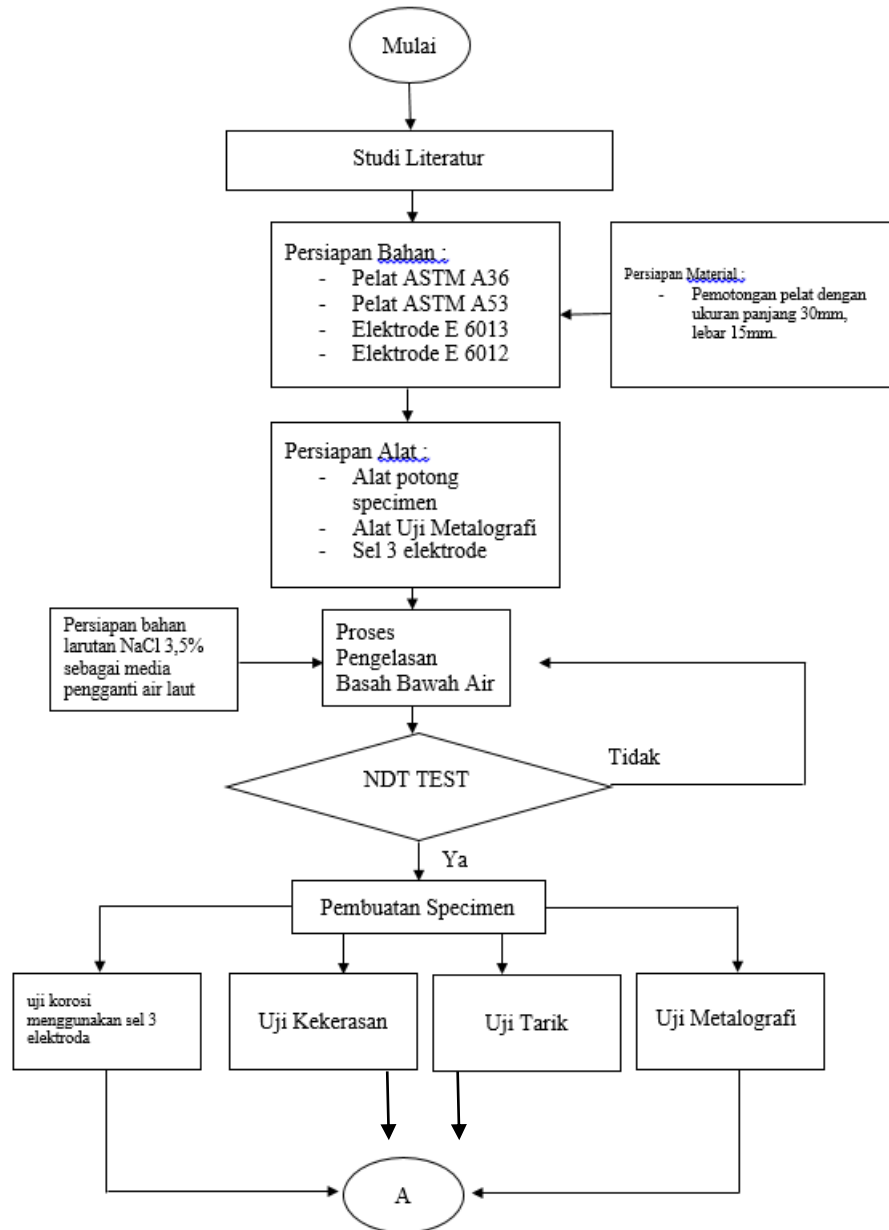
Untuk tiap-tiap jenis pengelasan terdapat bermacam-macam elektroda sehingga pemilihan perlu dipertimbangkan bermacam-macam faktor antara lain

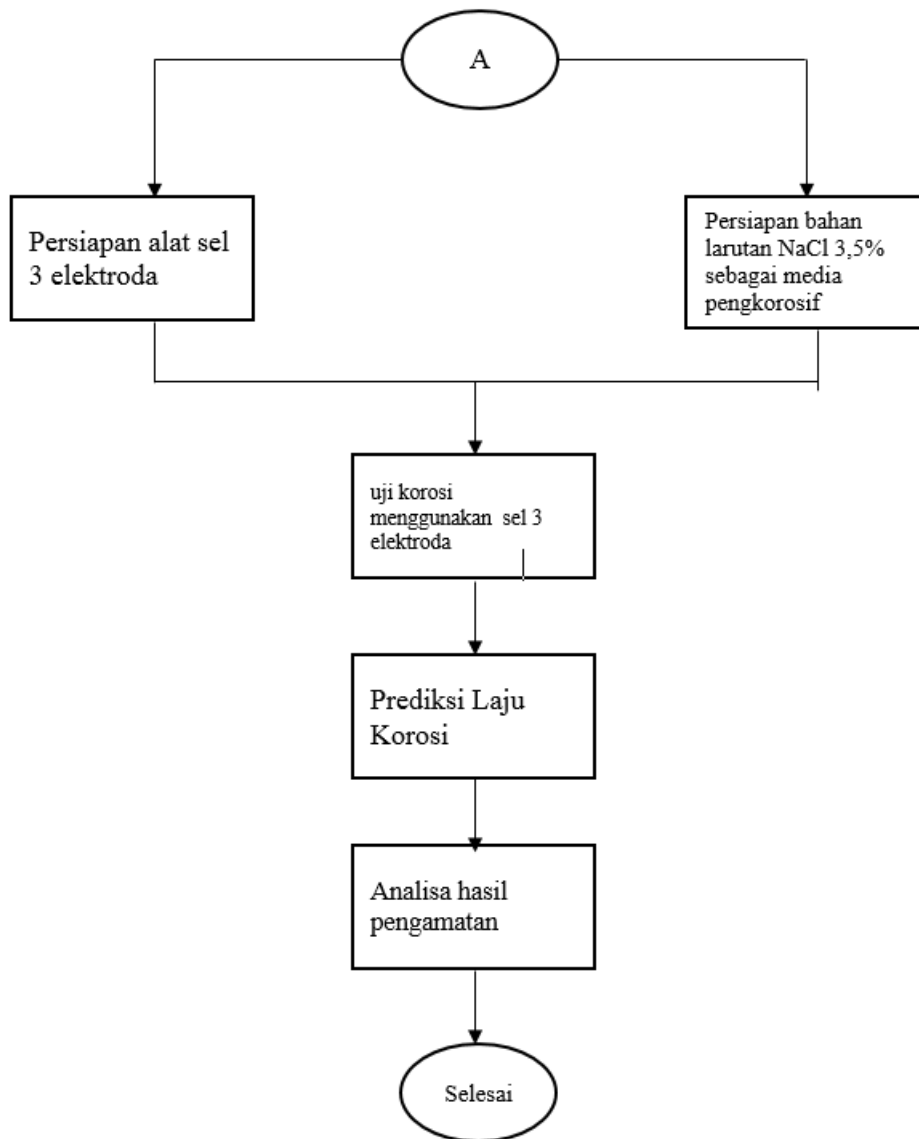
- Harus diketahui jenis logam yang akan dilas.
- Tebal dan bentuk logam yang akan dilas.
- Bentuk sambungan
- Posisi pengelasan.
- Spesifikasi teknis yang diharapkan

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alur Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alur Penelitian



## 3.2 Penjelasan Diagram Alir

### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan meliputi, mencari referensi dari jurnal nasional maupun internasional, buku diktat, buku referensi, kumpulan skripsi dan tugas akhir untuk menunjang pembahasan mengenai rumusan masalah, dasar teori, dan ruang lingkup dari penelitian.

### 3.2.2 Persiapan Material Uji

Dalam melakukan penelitian ini adapaun material uji yang harus digunakan, antara lain :

-Persiapan pelat baja A36 dengan ukuran 250mm x 150mm x 12mm sebanyak 3(tiga) lembar.

-Persiapan pelat baja A53 dengan ukuran 250mm x 150mm x 12mm sebanyak 3(tiga) lembar.

### 3.2.3 Persiapan Alat

- A. Pengelasan untuk penyambungan pelat yang telah dipotong dengan menggunakan elektroda E 6013 dan E 6019.



**Gambar 3.2** .Elektroda merk KOBE STEEL yang digunakan untuk pengelasan *underwater*.

B. Pemberian lapisan isolasi untuk elektroda yang digunakan pada pengelasan *underwater*



**Gambar 3.3.** Isolasi merk 3M

Pada gambar 3.2 merupakan elektroda yang digunakan untuk pengelasan basah bawah air dengan Kode E 6013 dan E 6019. Elektroda ini akan dilapisi lagi dengan isolasi, yang berfungsi untuk menjaga elektroda agar tetap kering pada saat pengelasan basah bawah air.



**Gambar 3.4.** Hasil elektroda yang sudah dilapisi Isolasi

Pada Gambar 3.4 merupakan hasil dari elektroda yang sudah dilapisi dengan isolasi elektrik, elektroda ini yang akan digunakan untuk penelitian pengelasan basah bawah air yang nantinya disambungkan pada stang las.

C. Alat Pengelasan: Mesin las SMAW



**Gambar 3.5** Mesin Pengelasan SMAW

Pada Gambar 3.5 merupakan mesin yang digunakan dalam penelitian pengelasan basah bawah air.

### 3.2.4 Persiapan Media Larutan Uji (pengganti Air Laut)

Pada penelitian ini, digunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut. Komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standard ASTM D1141-90 (Tabel 3.1), "Standard Specification for Substitute Ocean Water."

Tabel 3.1. Komposisi Kimia Pengganti Air Laut A,B

Larutan	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
MgCl <sub>2</sub>	5.2
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.09
CaCl <sub>2</sub>	1.16
KCl	0.695
NaHCO <sub>3</sub>	0.201
KBr	0.101
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.027
SrCl <sub>2</sub>	0.025
NaF	0.003
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000994
Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000340
Mn (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000308
Zn (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000096
Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000066
AgNO <sub>3</sub>	0.00000049

Tabel di atas adalah pada kondisi salinitas 35 (35%).

Sumber : (ASTM, 2003)

Keterangan :

A Klorinitas = 19.38

B pH (Setelah disesuaikan dengan 0.1 N Sodium Hydroxide) = 8.2

### 3.2.5 Pengujian NDT

Pengujian NDT ini dilakukan pada spesimen yang telah dilas sebelumnya untuk mengetahui apakah ada cacat pengelasan, sehingga pada saat melakukan pengujian untuk mengetahui sifat mekanik material tidak terjadi kegagalan. Apabila seluruh hasil pengelasan telah diperiksa dan tidak ada cacat, maka pengujian laboratorium dapat dilaksanakan.

### 3.2.6 Persiapan Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik. Tensile Test ini akan menghasilkan mechanical properties yang terdiri dari kuat tarik maksimum (ultimate tensile strength) dan kuat luluh (yield strength).

Proses Pengujiannya ialah spesimen uji dipasang pada mesin tarik, setelah itu spesimen uji dijepit dengan pengcekram (*grip*) dari mesin tarik pada ujung-ujungnya dan ditarik kearah memanjang secara perlahan sampai putus. Selama penarikan setiap saat tercatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja sebagai akibat dari gaya tarik tersebut. Adapun mesin tarik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



**Gambar 3.6** Mesin Uji Tarik

### 3.2.7 Persiapan Pengujian Korosi

Pada penelitian laju korosi dengan menggunakan metode sel tiga elektroda ini, ada beberapa tahap persiapan yang mengacu pada prosedur pengujian korosi berdasarkan ASTM G102 yang harus dilakukan. Tahap-tahap yang dilakukan dalam proses pengujian laju korosi adalah sebagai berikut :

-Mempersiapkan peralatan tabung reaksi (Gambar 3.6), *reference electrode* atau elektroda acuan yang berupa unsur Ag dalam larutan AgCl jenuh, *counter electrode* atau elektroda pembantu yang berupa platina dan *working electrode* atau elektroda kerja yang merupakan spesimen uji.



**Gambar 3.7** Seperangkat Elektroda Uji

-Mempersiapkan larutan NaCl 3,5% sebagai larutan pengkorosif  
-Mempersiapkan peralatan sumber potensial yang berupa seperangkat alat *corrtest*.

### 3.2.8 Persiapan Struktur Makro

Untuk pengamatan struktur metalografi, persiapan spesimennya adalah :

1. Spesimen diambil satu sampel untuk tiap-tiap variasinya.
2. Dilakukan sekrab untuk meratakan permukaan yang akan diamati
3. Hasil dari proses sekrab dihaluskan menggunakan gerinda.

4. Bagian tajam dihaluskan menggunakan kikir.
5. Permukaan yang akan diamati dihaluskan menggunakan kertas gosok.
6. Pemolesan dilakukan dengan kertas gosok dengan grit bertingkat mulai dari grit 1000 hingga 5000
7. Pemolesan dilakukan hingga permukaan spesimen bersih, mengkilap, dan tidak ada lagi goresan.



**Gambar 3.8** Pengambilan Foto Makro

### **3.2.9 Persiapan Struktur Mikro**

1. Spesimen diambil satu sampel untuk tiap-tiap variasinya.
2. Dilakukan sekrab untuk meratakan permukaan yang akan diamati
3. Hasil dari proses sekrab dihaluskan menggunakan gerinda.
4. Bagian tajam dihaluskan menggunakan kikir.
5. Permukaan yang akan diamati dihaluskan menggunakan kertas gosok.
6. Pemolesan dilakukan dengan kertas gosok dengan grit bertingkat mulai dari grit 1000 hingga 5000.
7. Penggantian kertas gosok dilakukan jika hasil pemolesan grit sebelumnya tidak tampak.
8. Pemolesan dilakukan hingga permukaan spesimen bersih, mengkilap, dan tidak ada lagi goresan.
9. Pemolesan terakhir dilakukan hingga permukaan bersih mengkilap.
10. Permukaan spesimen dietsa dengan nital 4% (sesuai dengan standar ASTM E407), kemudian permukaan spesimen dipoles dengan kain beludru yang ditaburi serbuk alumina.



**Gambar 3.9** Pengambilan Foto Mikro

### **3.2.10 Persiapan Uji Kekerasan**

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan arus dan memiliki korelasi dengan kekuatan material.



## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Welding Procedure Specification (WPS)

Pengelasan pada penelitian ini yang dilakukan di *Welding Centre* Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yaitu SMAW *underwater wet welding* dengan *Welding Procedure Specification* (WPS) sebagai berikut :

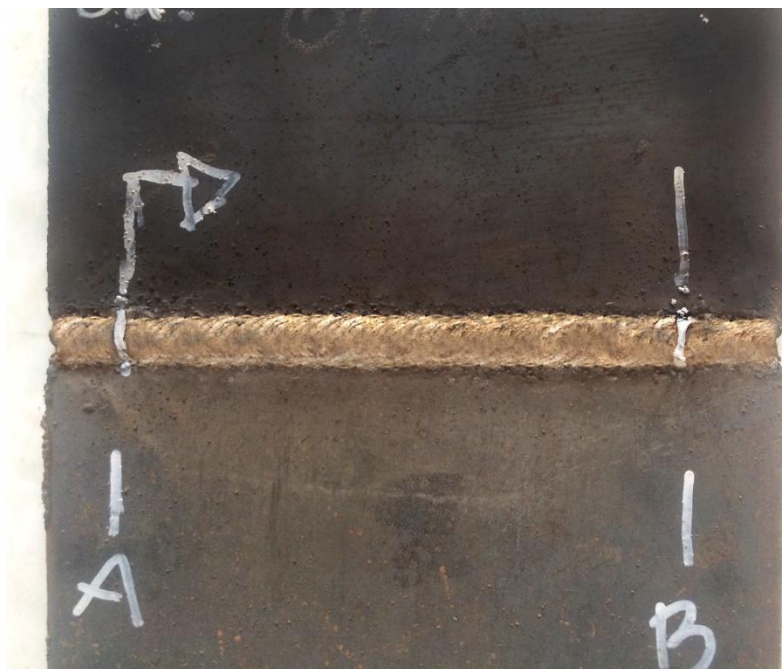
Spesifikasi Material	: ASTM A36 dan ASTM A53
Dimensi	: 150 mm x 250 mm x 12 mm
Proses Pengelasan	: SMAW <i>Underwater Wet Welding</i>
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
AWS No. (Class)	: AWS E6013 & AWS E6019
Diameter <i>Filler Metal</i>	: Ø 2.6 mm
Pelindung <i>Flux Electrode</i>	: Isolasi
Arus Pengelasan	: DCSP
Ampere	: 80 Ampere
<i>Voltage (range)</i>	: 19-22 V
Jumlah <i>Layer</i>	: 6 <i>Layer</i>
Metode Pembersihan	: <i>Grinding &amp; Wire Brush</i>
Welder	: Rahmat ( <i>Welder</i> PPNS)
<i>Technique</i>	: <i>String or Weave</i>
<i>Travel Of Speed</i>	: 50-70 mm/minute

## 4.2. Visualisasi Hasil Pengelasan

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, dilakukan pengamatan visual untuk mengetahui apakah terdapat cacat pada permukaan las. Berikut ini adalah visualisasi hasil pengelasan dari ke-tiga *weld joint*.



**Gambar 4.1** Hasil Pengelasan bawah air pada pelat 12 mm, elektroda 6013.



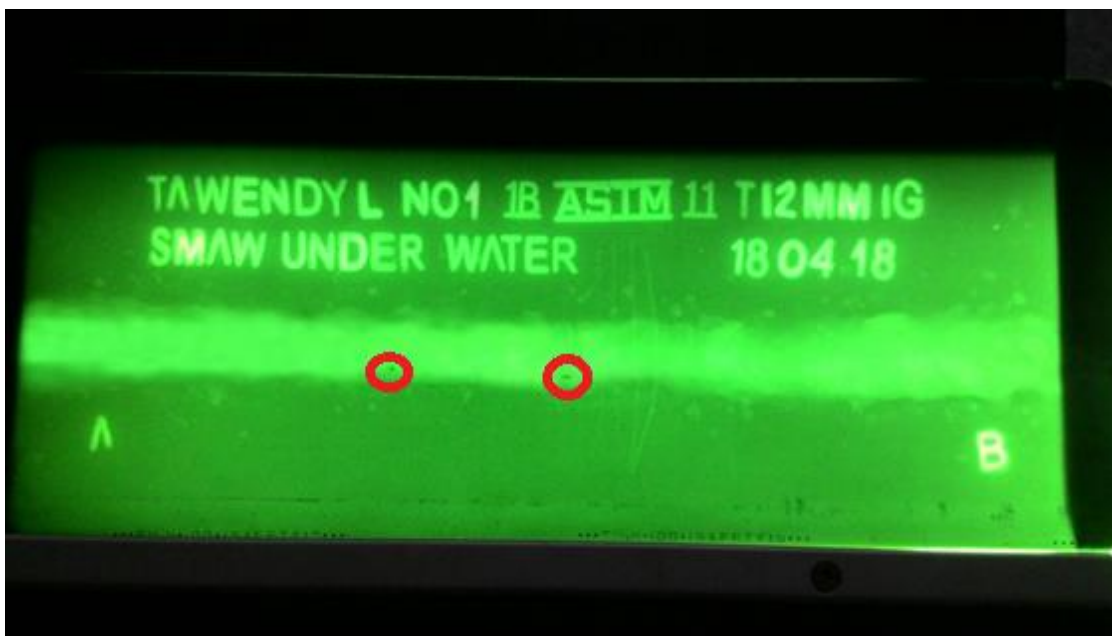
**Gambar 4.2** Hasil Pengelasan bawah air pada pelat 12mm, elektroda 6019.



**Gambar 4.3** Hasil Pengelasan bawah air pada pelat 12 mm, elektroda 6013 dan 6019.

#### 4.3. Visualisasi Hasil Radiografi Pengelasan

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan inspeksi terhadap hasil pengelasan tersebut untuk mengetahui cacat las yang terjadi. Inspeksi yang dilakukan adalah uji radiografi pada hasil pengelasan yang dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V No.25, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur.

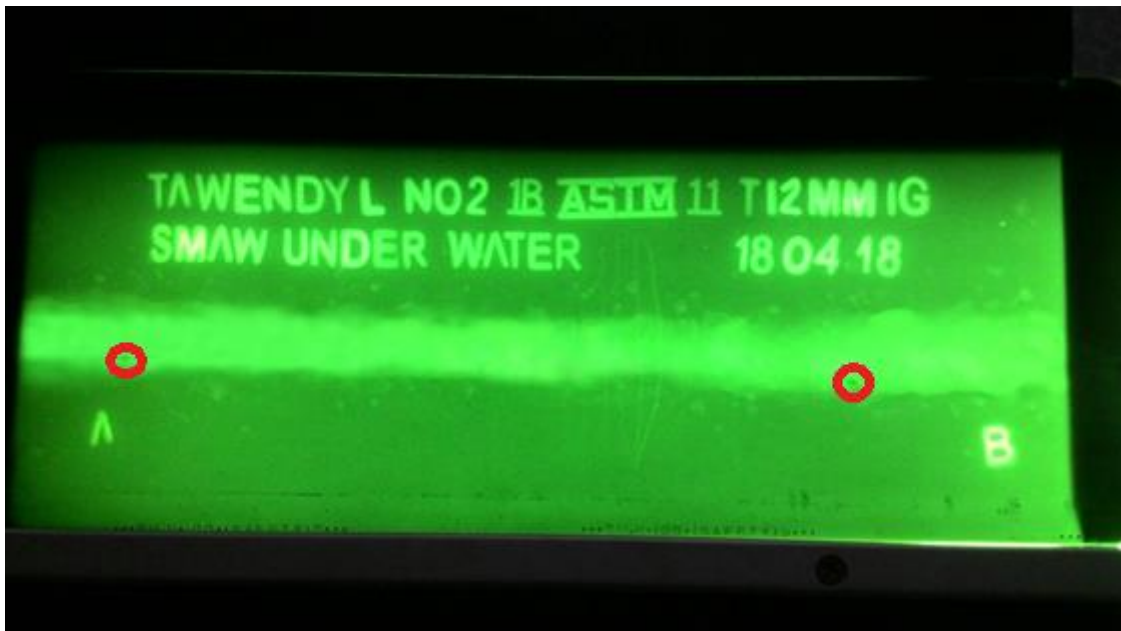


**Gambar 4.4** Hasil Radiografi pada pelat 12 mm, elektroda 6013.

#### 4.3.1 Radiografi Pengelasan AWS E6013

Pada *acceptance criteria* berdasarkan *ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* termasuk kategori *rounded indications*. Diameter *porosity* yang terdapat dari hasil pengelasan tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{5}t$  atau 2,4 mm untuk ketebalan 12 mm.

Pada hasil yang diperoleh, didapatkan *porosity* sebesar 1.5 mm dan 1,7. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan ini memenuhi kriteria yang diberikan.

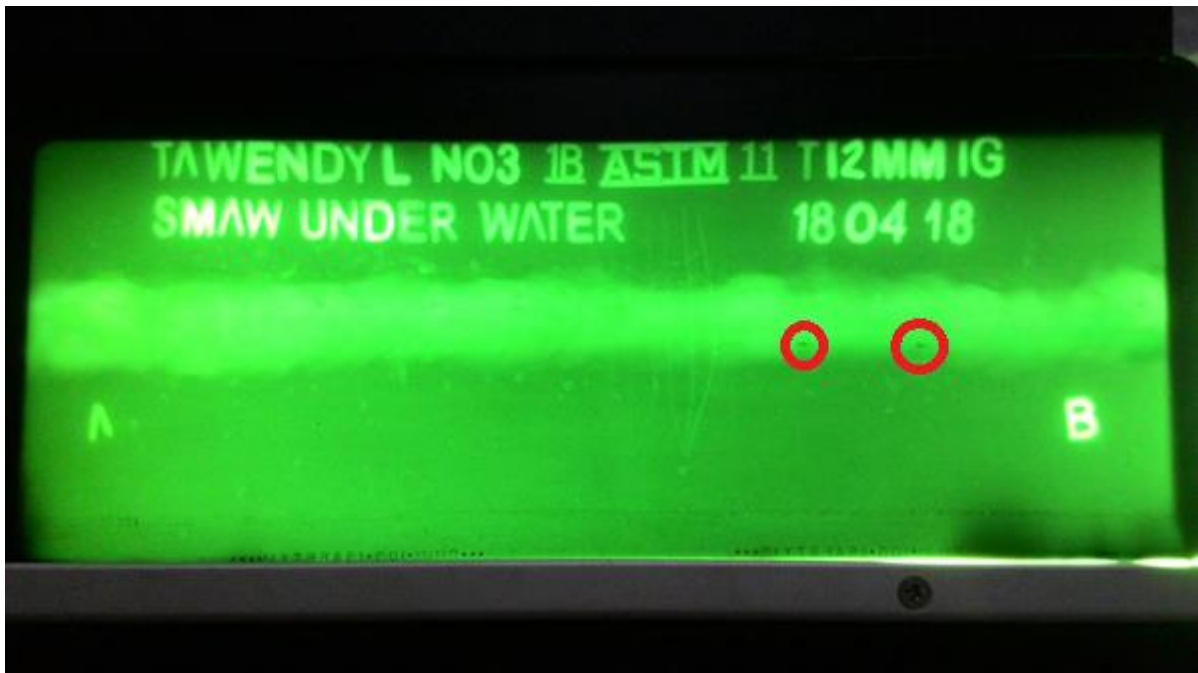


**Gambar 4.5** Hasil Radiografi pada pelat 12mm, elektroda 6019

#### 4.3.2 Radiografi Pengelasan AWS E6019

Pada *acceptance criteria* berdasarkan *ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* termasuk kategori *rounded indications*. Diameter *porosity* yang terdapat dari hasil pengelasan tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{5}t$  atau 2,4 mm untuk ketebalan 12 mm.

Pada hasil yang diperoleh, didapatkan *porosity* sebesar 1.53 mm dan 1,62. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan ini memenuhi kriteria yang diberikan.



**Gambar 4.6** Hasil Radiografi pada pelat 12mm, elektroda 6013 dan 6019.

#### 4.3.3 Radiografi Pengelasan Elektroda Campuran

Pada *acceptance criteria* berdasarkan *ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* termasuk kategori *rounded indications*. Diameter *porosity* yang terdapat dari hasil pengelasan tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{5}t$  atau 2,4 mm untuk ketebalan 12 mm.

Pada hasil yang diperoleh, didapatkan *porosity* sebesar 1,67 mm dan 1,71. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan ini memenuhi kriteria yang diberikan.

Pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa pada pengelasan basah bawah air pelat 12 mm terdapat cacat yang berpotensi untuk menimbulkan kerusakan pada logam las seperti *porosity*.

Dari foto-foto di atas terlihat bahwa hasil pengelasan bawah air terdapat cacat yang tampak pada permukaan las-lasan *porosity*. Hal itu disebabkan karena pengaruh pandangan dari welder pada saat pengelasan dikarenakan adanya gelembung – gelembung gas akibat pengelasan dan keruhnya air yang di akibatkan pengelasan.

#### 4.4 Hasil Uji Tarik

Untuk menguji prosedur pengelasan basah bawah air, maka dilakukan pengujian tarik. *Tensile Test* ini akan menghasilkan *mechanical properties* yang terdiri dari kuat tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) dan kuat luluh (*yield strength*).

##### 4.4.1. Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E6013.

Pada Pengelasan menggunakan elektroda AWS E6013 dengan ukuran lebar x ketebalan daerah uji material 19.9 x 12 mm mendapatkan luasan permukaan uji sebesar 238 mm<sup>2</sup>. Nilai rata-rata *Yield Force* ( $F_y$ ) dan *Ultimate Force* ( $F_u$ ) yang didapatkan berturut-turut 61 kN dan 91 kN, sehingga didapatkan nilai rata-rata *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* Sebesar 252 MPa dan 374 MPa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi didaerah *Base Metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah.

**Tabel 4.1.** Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan

AWS E6013

<i>Code</i>	<i>Sample Specification</i>					<i>Tensile Test Result</i>		
	<i>Width</i>	<i>Thick</i>	<i>C.S.A</i>	$F_y$	$F_u$	<i>Yield Strength</i>	<i>Ultimate Strength</i>	<i>Breaking</i>
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
A.1.1	19.9	12	238	63	92	270	390	BM
A.1.2	19.9	12	238	60	90	242	361	BM
A.1.3	19.9	12	238	60	91	243	371	BM
Rata - Rata				61	91	252	374	BM

#### 4.4.2. Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E6019.

Pada Pengelasan menggunakan elektroda AWS E6019 dengan ukuran lebar x ketebalan daerah uji material 19.2 x 12 mm mendapatkan luasan permukaan uji sebesar 230 mm<sup>2</sup>. Nilai rata-rata *Yield Force* ( $F_y$ ) dan *Ultimate Force* ( $F_u$ ) yang didapatkan berturut-turut 62 kN dan 88.6 kN, sehingga didapatkan nilai rata-rata *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* Sebesar 272.6 MPa dan 385 MPa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi didaerah *Base Metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah.

**Tabel 4.2.** Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan

AWS E6019

Code	Sample Specification					Tensile Test Result		
	Width	Thick	C.S.A	$F_y$	$F_u$	Yield Strength	Ultimate Strength	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
A.2.1	19.2	12	230	61	89	272	396	BM
A.2.2	19.2	12	230	61	89	253	368	BM
A.2.3	19.2	12	230	66	88	293	391	BM
Rata - Rata				62	88.6	272.6	385	BM

#### 4.4.3. Kekuatan Tarik Pengelasan AWS E6013 dan AWS E6019

Pada Pengelasan menggunakan elektroda AWS E6013 dan AWS E6019 dengan ukuran lebar x ketebalan daerah uji material 19.5 x 12 mm mendapatkan luasan permukaan uji sebesar 234 mm<sup>2</sup>. Nilai rata-rata *Yield Force* ( $F_y$ ) dan *Ultimate Force* ( $F_u$ ) yang didapatkan berturut-turut 62.6 kN dan 90 kN, sehingga didapatkan nilai rata-rata *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* Sebesar 272.6 MPa dan 380 MPa. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi didaerah *Base Metal* spesimen uji. Adapun rincian hasil kekuatan tarik pada pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah.

**Tabel 4.3.** Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan

AWS E6013 dan AWS E6019

<i>Code</i>	<i>Sample Specification</i>					<i>Tensile Test Result</i>		
	<i>Width</i>	<i>Thick</i>	<i>C.S.A</i>	<i>F<sub>y</sub></i>	<i>F<sub>u</sub></i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Ultimate Strength</i>	<i>Breaking</i>
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
A.3.1	19.5	12	234	63	90	257	370	BM
A.3.2	19.5	12	234	61	92	256	385	BM
A.3.3	19.5	12	234	64	89	275	384	BM
Rata - Rata				62.6	90	272.6	380	BM

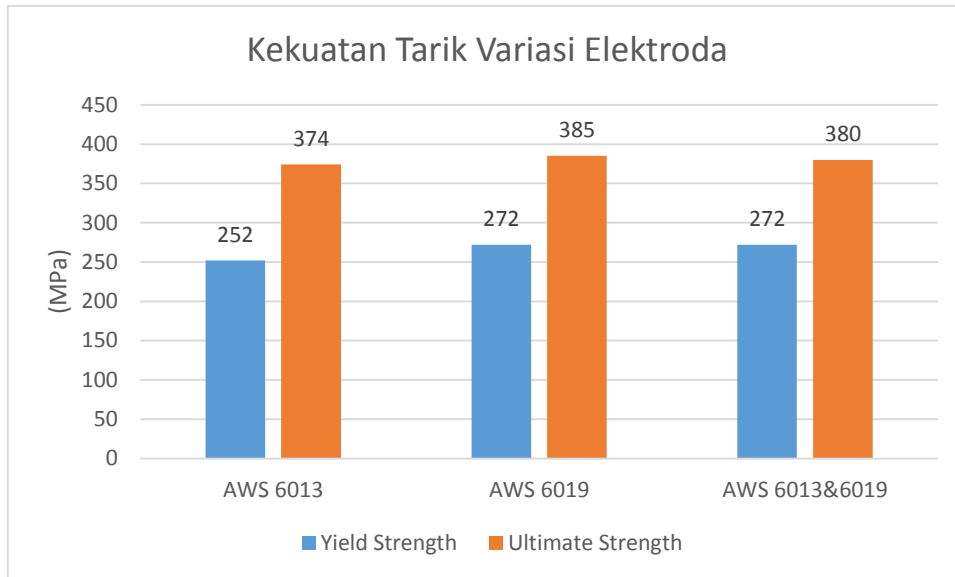
#### 4.4.4. Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.

Kriteria pengujian kekuatan tarik dapat diterima, jika Kekuatan tarik (*yield strength & ultimate strength*) spesimen harus lebih besar dari kekuatan tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar.

Pengujian kekuatan tarik pada pengelasan menggunakan elektroda AWS E6013 mempunyai nilai *yield strength* 252 Mpa serta nilai *ultimate strength* 374 Mpa. Dan hasil kekuatan tarik pada pengelasan menggunakan elektroda AWS E6019 mempunyai nilai *yield strength* 272 Mpa serta nilai *ultimate strength* 385 Mpa. Dan hasil kekuatan tarik pada pengelasan menggunakan elektroda AWS E6013 & E6019 mempunyai nilai *yield strength* 272 Mpa serta nilai *ultimate strength* 380 Mpa.

Kekuatan tarik pengelasan bawah air menggunakan elektroda AWS E6013 yang didapatkan pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan elektroda AWS E6019. Hal ini dikarenakan hasil pengelasan dari elektroda AWS E6019 memiliki penetrasi yang bagus jika dibandingkan dengan AWS E6013.



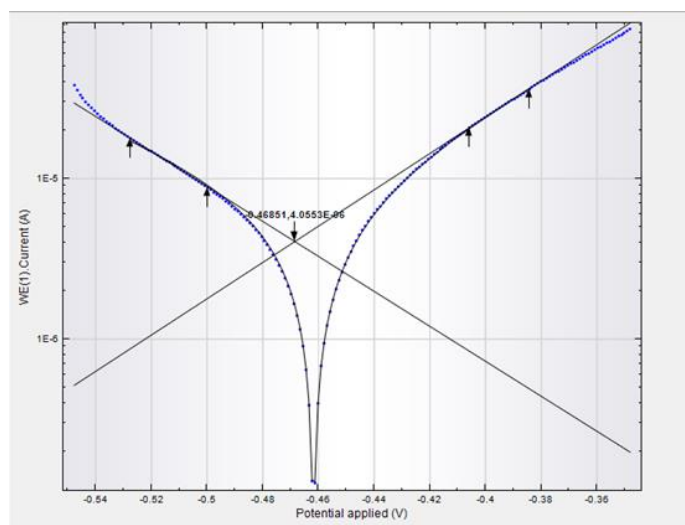


**Grafik 4.1.** Hasil Kekuatan Tarik

#### 4.5. Hasil Prediksi Laju Korosi

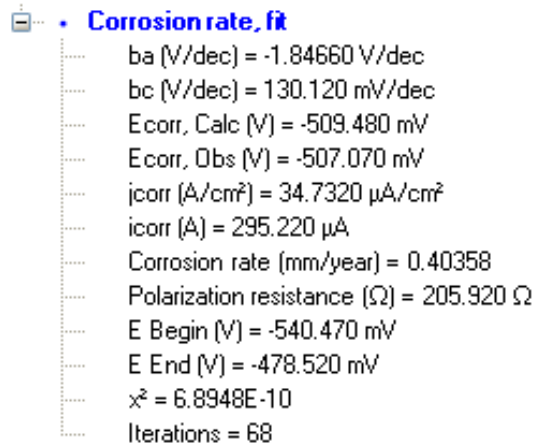
Perhitungan laju korosi dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan *software* NOVA. Perhitungan menggunakan *software* dilakukan secara otomatis saat melakukan pengujian. Nilai laju korosi langsung muncul saat pengujian korosi.

Pengujian menggunakan peralatan Potensiostat yang dilengkapi dengan *software* NOVA akan menghasilkan sebuah grafik Tafel yang dijadikan acuan perhitungan yang secara otomatis menggunakan *software*.



**Gambar 4.7.** Contoh Grafik Tafel dari Suatu Spesimen Uji

Setelah grafik terbentuk, maka secara otomatis akan didapat juga nilai laju korosi beserta data-data pendukungnya. akan didapatkan nilai laju korosi seperti yang terdapat pada Gambar 4.8 berikut :



**Gambar 4.8.** Contoh Hasil Perhitungan Software dari Suatu Specimen Uji.

#### 4.5.1. Prediksi Laju Korosi Pengelasan AWS E6013.

Pada hasil pengelasan menggunakan elektroda AWS E6013 mendapatkan keluaran hasil dari perhitungan *software* Corrttest nilai kerapatan arus 205.17  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  , prediksi laju korosi 2.17255 (mm/py). Adapun hasil-hasilnya lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel. 4.4

**Tabel 4.4.** Output Software Corrttest

Elektroda AWS E6013

No	I Corr( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Laju Korosi(mm/year)
1	205.17	2.17255

#### 4.5.2. Prediksi Laju Korosi Pengelasan AWS E6019

Pada hasil pengelasan menggunakan elektroda AWS E6019 mendapatkan keluaran hasil dari perhitungan *software* Corrttest nilai kerapatan arus 74.1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  , prediksi laju korosi 0.86722 (mm/py). Adapun hasil-hasilnya lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel. 4.5

**Tabel 4.5.** Output Software Corrtest  
Elektroda AWS E6019

No	I Corr( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Laju Korosi(mm/year)
1	74.1	0.86722

#### 4.5.3. Prediksi Laju Korosi Pengelasan AWS E6013 & E6019

Pada hasil pengelasan menggunakan elektroda AWS E6013 & E6019 mendapatkan keluaran hasil dari perhitungan *software* Corrtest nilai kerapatan arus  $122.71 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  , prediksi laju korosi 1.5541 (mm/py). Adapun hasil-hasilnya lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel. 4.6.

**Tabel 4.6.** OutPut Software Corrtest  
Elektroda AWS E6013 & E6019

No	I Corr( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Laju Korosi(mm/year)
1	122.71	1.5541

#### 4.5.4. Analisis Hasil Prediksi Laju Korosi.

Pada perhitungan prediksi laju korosi yang menyebutkan bahwa kerapatan arus ( $i_{\text{corr}}$ ) berbanding lurus dengan nilai prediksi laju korosi yang nanti didapatkan. Semakin kecil nilai laju korosi suatu material, maka sifat ketahanan korosinya semakin baik (Fontana, 1987). Klasifikasi sifat ketahanan korosi yang terdapat pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7.** Tingkat Ketahanan Korosi yang Digunakan Pada Penelitian  
(Fontana, 1987)

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	µm/year	nm/year	pm/sec
<i>Outstanding</i>	<1	<0.02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
<i>Fair</i>	20-50	0.5-1	500-1000	50-100	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	>200	>5	>5000	>500	>200

Berdasarkan Tabel 4.7, disimpulkan bahwa hasil pengelasan menggunakan elektroda E6013 yang mempunyai nilai 2.17255 mm/year dikategorikan buruk (*poor*). Hasil pengelasan menggunakan elektroda E6019 yang mempunyai nilai 0.86722 mm/year dikategorikan wajar (*fair*). Hasil pengelasan menggunakan elektroda E6013 & E6019 yang mempunyai nilai 1.5541 mm/year dikategorikan buruk (*poor*), yang dimana kategori ini perlu dihindari dalam dunia pengelasan SMAW *underwater wet welding*.

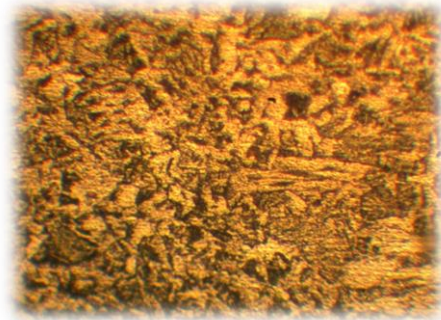
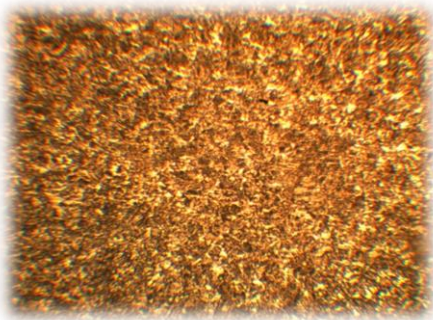
Laju korosi penggunaan elektroda AWS E6019 mempunyai nilai yang rendah jika dibandingkan dengan elektroda AWS E6013. Hal ini dikarenakan Kandungan *flux* elektroda yang dimiliki AWS E6019 ialah sejenis *Iron oxide titania potassium*, sedangkan elektroda AWS E6013 sejenis *high titania potassium*. *Iron oxide titania potassium* ialah titania potasium yang bercampur dengan kandungan besi oksida, dimana besi oksida ialah senyawa yang memiliki ikatan stabil sehingga tidak mudah terkorosi. Pada dasarnya, ikatan oksida-logam terbentuk akibat keelektronegatifan oksigen yang sangat mudah mengikat logam seperti besi, sehingga terbentuk ikatan yang kuat dan stabil. Lapisan oksida besi pada *iron oxide titania potassium* inilah yang meningkatkan ketahanan daerah lasan akibat korosi.

## 4.6 Hasil Uji Metalografi

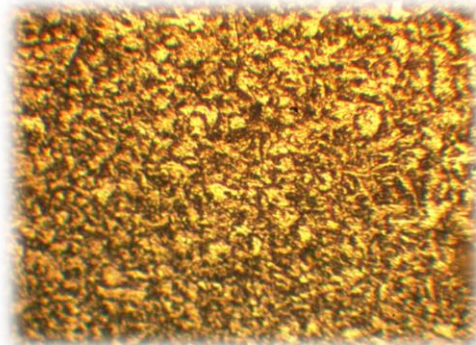
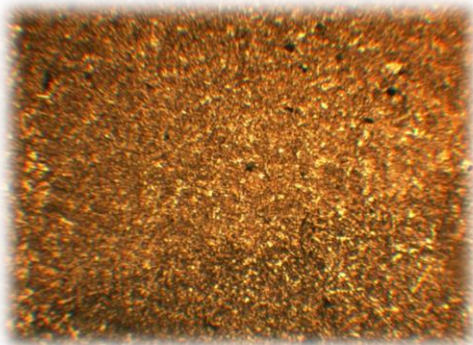
### 4.6.1 Struktur Mikro Pengelasan Basah Bawah Air Dengan Elektrode AWS E-6013

Setelah dilakukan pengujian struktur mikro, maka didapatkan gambar struktur mikro untuk masing-masing spesimen, dimana setiap spesimen diambil gambar pada bagian *weld metal*, *base metal*, dan HAZ. Berikut ini adalah foto mikro dari pengelasan bawah air dengan elektrode AWS E-6013

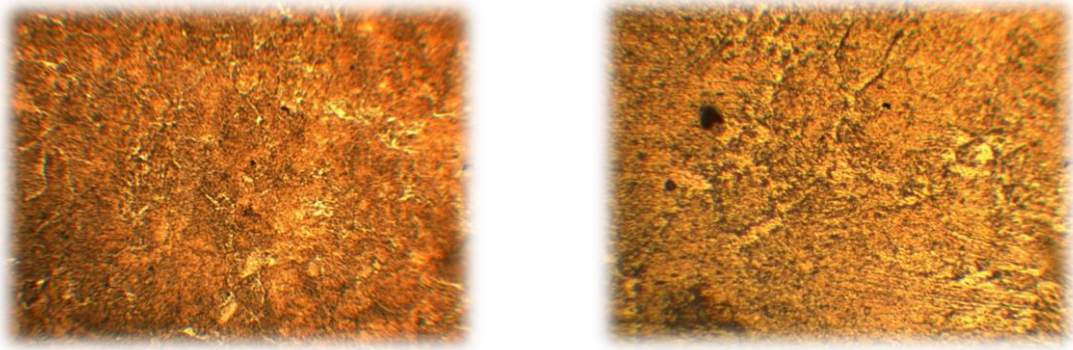
- Untuk Elektrode AWS E-6013



Base Metal Perbesaran 100x dan 400x



HAZ Perbesaran 100x dan 400x



Weld Metal Perbesaran 100x dan 400x

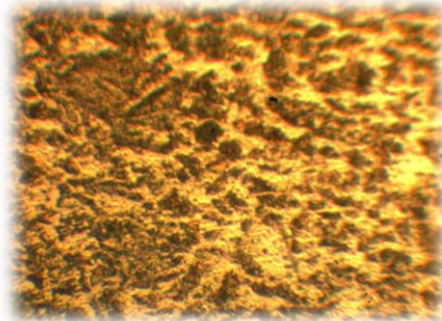
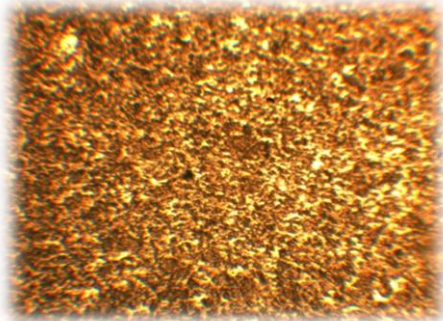
**Gambar 4.9.** Foto Mikro pada daerah Base Metal, HAZ dan Weld Metal, untuk elektroda AWS E-6013

Pada foto spesimen struktur mikro didapatkan presentase *pearlite* dan *ferrite* daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Adapun nilai presentase *pearlite* dan *ferrite* yang diperoleh sebagai berikut *base metal* : *pearlite* 25% *ferrite* 75%, HAZ : *pearlite* 36,6% *ferrite* 63,4%, dan *weld metal* : *pearlite* 46% *ferrite* 54%. Hasil presentase lebih jelasnya dapat dilihat hasil foto struktur mikro pada Gambar 4.19.

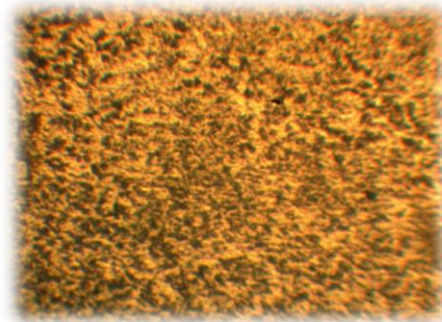
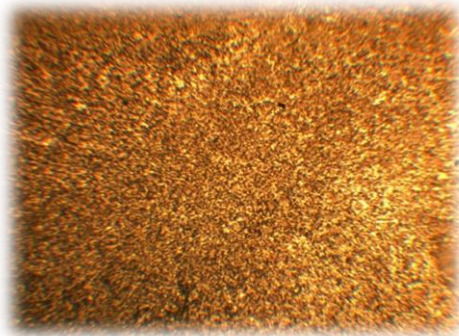
Dari gambar 4.9 struktur mikro di atas, yaitu pada spesimen-spesimen pengelasan bawah air dengan elektroda AWS E-6013. Pada daerah weld metal, base metal, dan HAZ terdapat kristalisasi antara ferrit dan perlit. Dalam foto mikro tampak bahwa bagian yang berwarna gelap (hitam) adalah perlit, sedangkan ferrit berwarna putih. Hal ini terjadi karena pada saat pendinginan logam las, austenite bertransformasi menjadi ferit. Karena ferit sangat sedikit melarutkan karbon, maka masih ada sisa austenite yang nantinya bertransformasi menjadi perlit.

#### 4.6.2 Struktur Mikro Pengelasan Basah Bawah Air Dengan Elektrode AWS E-6019

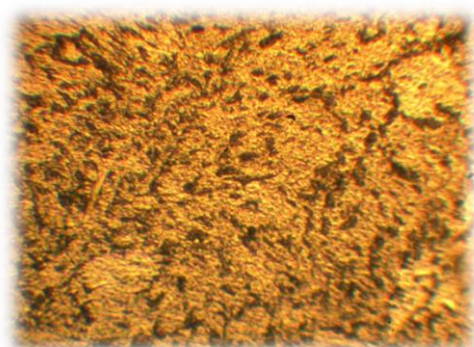
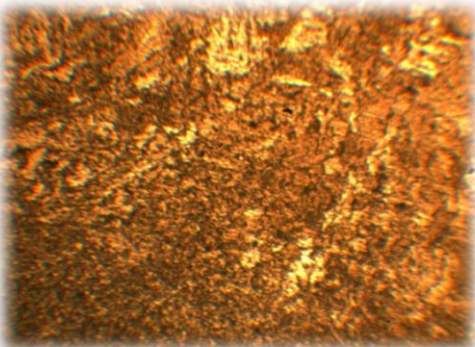
- Untuk Elektrode AWS E-6019



Base Metal Perbesaran 100x dan 400x



HAZ Perbesaran 100x dan 400x



Weld Metal Perbesaran 100x dan 400x

Gambar 4.10. Foto Mikro pada daerah Base Metal, HAZ dan Weld Metal, untuk elektrode AWS E-6019

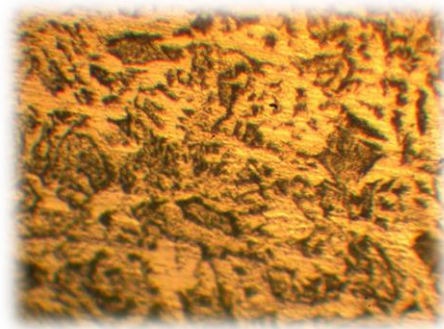
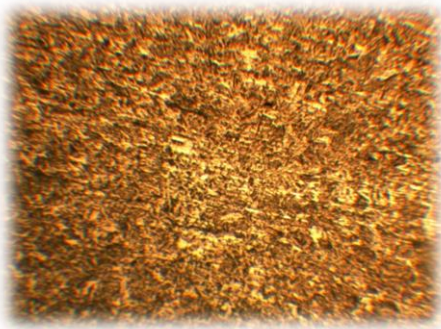
Pada foto spesimen struktur mikro didapatkan presentase *pearlite* dan *ferrite* daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Adapun nilai presentase *pearlite* dan *ferrite* yang diperoleh sebagai berikut *base metal* : *pearlite* 29% *ferrite* 71% , HAZ : *pearlite* 35% *ferrite* 65%, dan *weld metal*

: *pearlite* 49% *ferrite* 51%. Hasil presentase lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil foto struktur mikro pada Gambar 4.10.

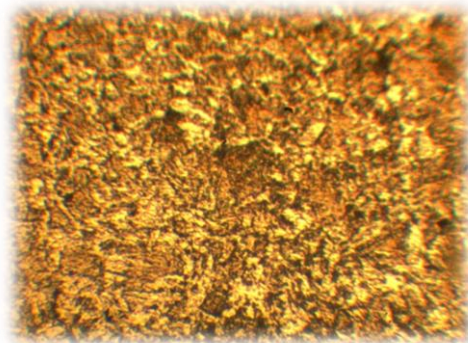
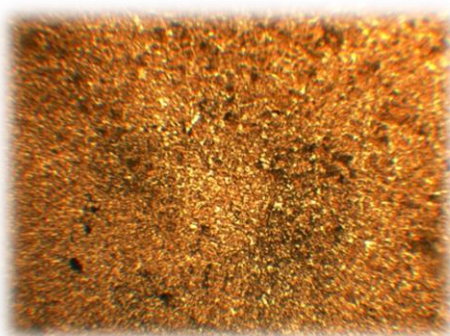
Dari gambar 4.10 struktur mikro di atas, yaitu pada spesimen-spesimen pengelasan bawah air dengan elektrode AWS E-6019. Pada daerah weld metal, base metal, dan HAZ terdapat kristalisasi antara ferrit dan perlit. Dalam foto mikro tampak bahwa bagian yang berwarna gelap (hitam) adalah perlit, sedangkan ferrit berwarna putih. Hal ini terjadi karena pada saat pendinginan logam las, austenite bertransformasi menjadi ferrit. Karena ferrit sangat sedikit melarutkan karbon, maka masih ada sisa austenite yang nantinya bertransformasi menjadi perlit.

#### 4.6.3 Struktur Mikro Pengelasan Basah Bawah Air Dengan Elektrode Campuran

- Untuk elektrode campuran

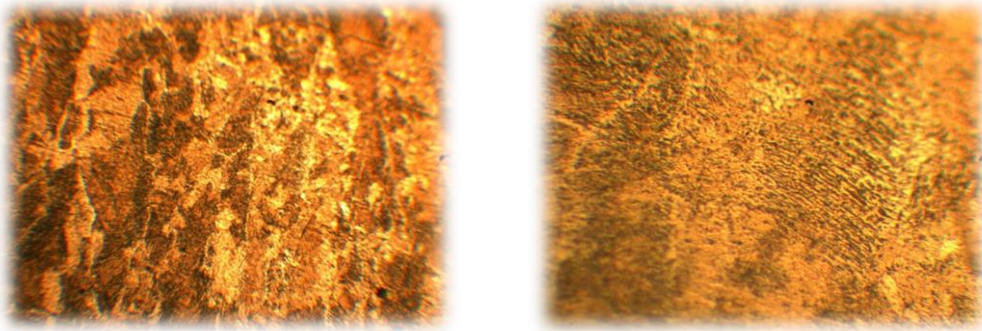


Base Metal Perbesaran 100x dan 400x



HAZ Perbesaran 100x dan 400x





Weld Metal Perbesaran 100x dan 400x

Gambar 4.11. Foto Mikro pada daerah Base Metal, HAZ dan Weld Metal, untuk elektroda campuran

Pada foto spesimen struktur mikro didapatkan presentase *pearlite* dan *ferrite* daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Adapun nilai presentase *pearlite* dan *ferrite* yang diperoleh sebagai berikut *base metal* : *pearlite* 27% *ferrite* 73% , HAZ : *pearlite* 33% *ferrite* 67%, dan *weld metal* : *pearlite* 48% *ferrite* 52%. Hasil presentase lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil foto struktur mikro pada Gambar 4.11.

Dari gambar 4.11, struktur mikro di atas, yaitu pada spesimen-spesimen pengelasan bawah air dengan elektroda campuran. Pada daerah weld metal, base metal, dan HAZ terdapat kristalisasi antara ferrit dan perlit. Dalam foto mikro tampak bahwa bagian yang berwarna gelap (hitam) adalah perlit, sedangkan ferrit berwarna putih. Hal ini terjadi karena pada saat pendinginan logam las, austenite bertransformasi menjadi ferit. Karena ferit sangat sedikit melarutkan karbon, maka masih ada sisa austenite yang nantinya bertransformasi menjadi perlit.

**Tabel 4.8** Hasil Struktur Mikro

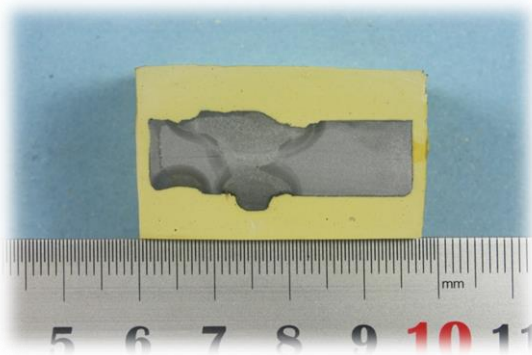
Keterangan	Base Metal		HAZ		Weld Metal	
	Perlit	Ferlit	Perlit	Ferlit	Perlit	Ferlit
AWS E-6013	25	75	36,6	63,4	46	54
AWS E-6019	29	71	35	65	49	51
Campuran	27	73	33	67	48	52

Pada struktur mikro pengelasan AWS E6019 dihasilkan presentase *ferrite weld metal* terkecil sebesar 51%. Dengan hasil ini, maka disimpulkan pada pengelasan ini mempunyai kekuatan tarik yang paling kuat jika dibandingkan dengan pengelasan lainnya.

#### 4.7 Hasil Pengamatan Struktur Makro

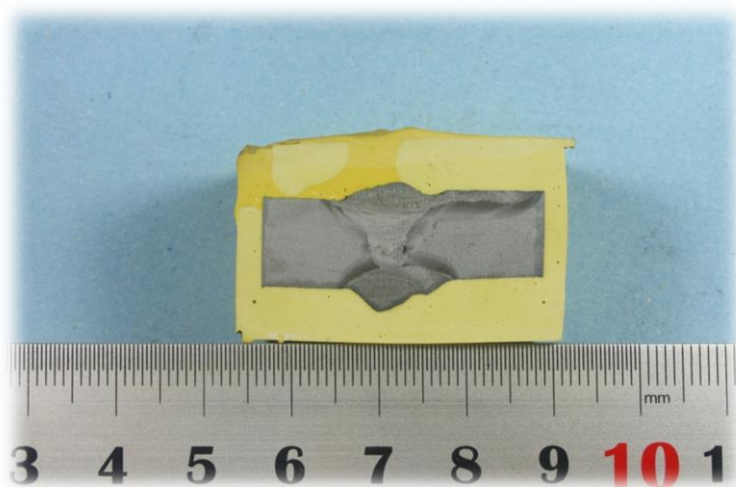
Berikut ini ada hasil pengamat dari foto makro, fungsi dari foto makro adalah untuk mengetahui hasil las – las an serta menegetahui ada atau tidak nya cacat las yang diakibatkan pengelasan bawah air.

- **Untuk elektroda AWS E-6013**



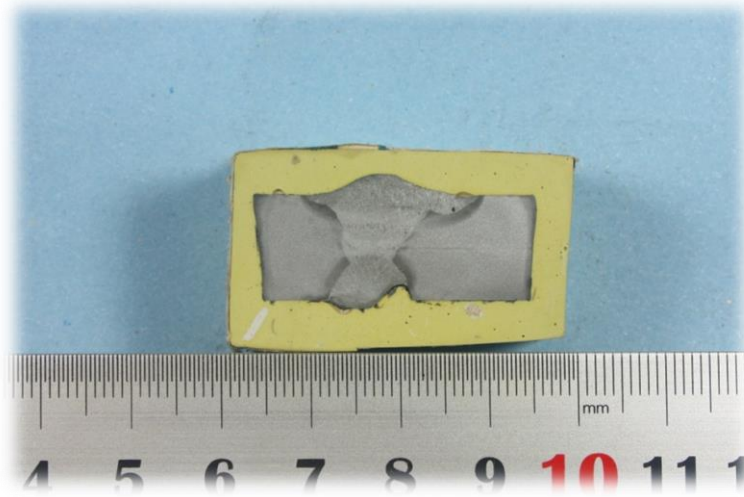
Gambar 4.12. Foto Struktur Makro pada elektroda AWS E-6013

- **Untuk elektroda AWS E-6019**



Gambar 4.13. Foto Struktur Makro pada Elektroda AWS E-6019

- **Untuk Elektroda Campuran**



Gambar 4.14. Foto Struktur Makro pada elektroda campuran

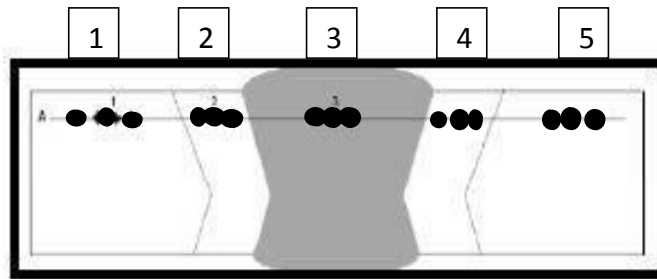
Dari data pada Gambar 4.11, 4.12 dan Gambar 4.13 Foto makro dapat mengetahui cacat las pada setiap spesimen.

#### **4.8 Hasil Uji Kekerasan Vickers**

Uji kekerasan ini dilakukan pada bagian *base metal* A53 , *base metal* AH36 , HAZ AH36 , HAZ A53 dan *weld metal* spesimen. Masing-masing lokasi diberi 3 titik sehingga total titik uji perspesimen adalah 15 titik.

#### 4.8.1 Hasil Pengujian *Vickers*

Berikut adalah hasil pengujian kekerasan *Vickers* :



Gambar 4.14. Lokasi titik uji kekerasan  
*Vickers*

Setelah dilakukan pengujian pada 15 titik diatas pada setiap spesimennya ,  
maka didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Eletroda AWS E-6013

	Vickers Hardness Number														
	base metal			HAZ			Weld metal			HAZ			base metal		
	A53			A53						A36			A36		
	112,5	111,3	113	118,2	119,3	119,4	122,9	120,4	128,6	112,1	110,7	116,3	109,4	104	106
average	112.2			118.9			123.9			113			106.4		

Tabel 4.10 Hasil Uji Kekerasan Elektroda AWS E-6019

	Vickers Hardness Number														
	base metal			HAZ			Weld metal			HAZ			base metal		
	A53			A53						A36			A36		
	114,5	117,2	113	128,2	130	127,5	131,1	133,1	135,1	117,2	120,2	127	113,5	116	112
average	114,9			128,5			133,1			121,4			113,8		

Tabel 4.11 Hasil Uji Kekerasan Elektroda Campuran

	Vickers Hardness Number														
	base metal			HAZ			Weld metal			HAZ			base metal		
	A53			A53						A36			A36		
	121,4	120	119,2	140,5	128,9	122,4	134,4	133,6	137,2	131,3	127,2	121	119	118,2	116
average	120,2			130,6			135			126,5			117,7		

Dari Tabel diatas dapat kita ketahui nilai kekerasan terbesar pada bagian HAZ ( *Heat Affected Zone*) baja ASTM A53 adalah spesimen dengan elektroda campuran sebesar 130,6 HVN, pada bagian HAZ ( *Heat Affected Zone*) baja AH36 adalah spesimen elektroda campuran sebesar 126,5 HVN sedangkan pada bagian weld metal adalah spesimen spesimen elektroda campuran sebesar 135 HVN . Hal ini disebabkan kandungan karbon pada material yang berbeda membuat nilai kekerasan pada base metal ASTM A 53 lebih keras. Sedangkan untuk bagian weld metal kekerasan dipengaruhi juga oleh jenis elektrode. Dalam hal ini elektrode campuran memiliki kekerasan lebih tinggi jika dibandingkan dengan elektrode AWS E-6013 atau AWS E-6019.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil prediksi laju korosi menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan yaitu pada specimen elektroda AWS E-6019 tergolong laju korosi wajar sedangkan untuk specimen yang lain tergolong laju korosi yang buruk yang sebaiknya di hindari.
2. Hasil nilai uji tarik menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dimana setiap specimen mempunyai besar yield strenght dan ultimate strenght yang tidak jauh berbeda.
3. Hasil Uji Metalografi menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dimana setiap specimen mempunyai jumlah perlit dan ferlit yang tidak jauh berbeda pada setiap bagian base metal, HAZ, maupun pada weld metal.
4. Hasil nilai uji kekerasan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dan nilai terbesar ada pada specimen elektroda campuran.

#### **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya, juga saran bagi para praktisi di lapangan, bisa memperhatikan beberapa poin berikut:

1. Melakukan pengujian dengan menggunakan elektroda yang berbeda jenisnya.
2. Melakukan pengujian dengan keberagaman tebal plat.

## DAFTAR PUSTAKA

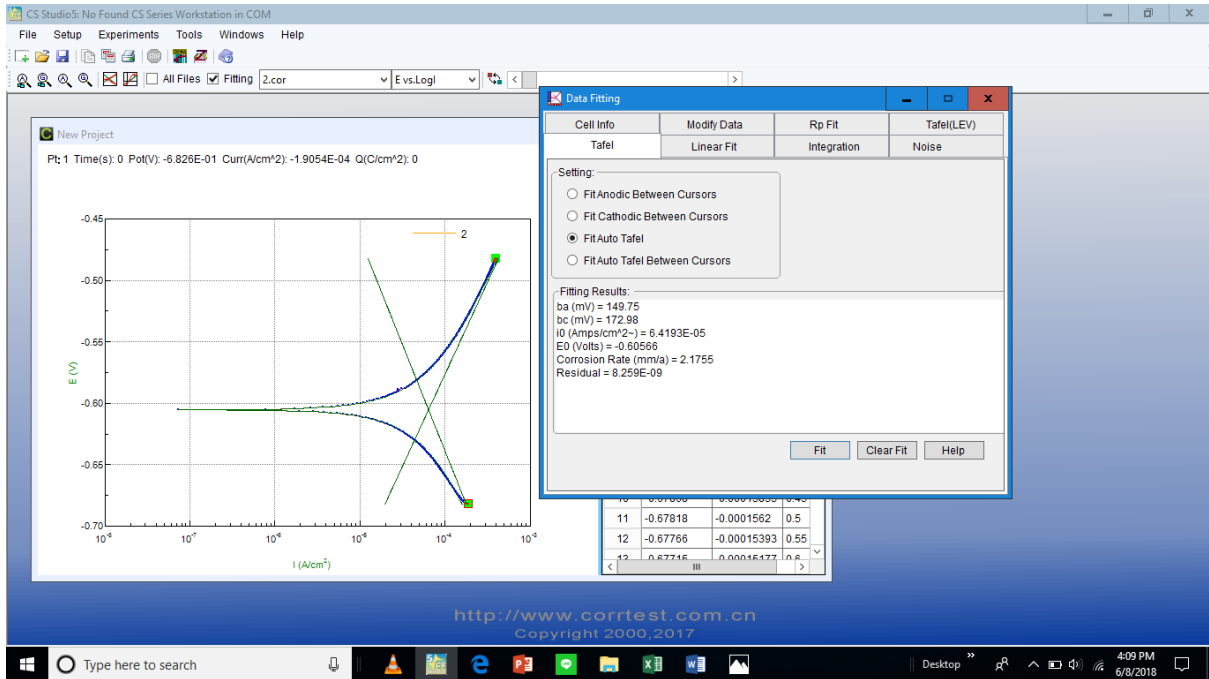
- Agastama, P. (2010). *Tugas Akhir “Studi Laju Korosi Weld Joint Material A36 pada Underwater Welding”*. Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS
- Asni, Y. (2017). Tugas Akhir “*Analisis Sifat Mekanis dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Laut dari Material Baja Karbon ASTM A131 GRADE AH 36 pada pengelasan bawah air*”. Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS
- American Welding Society. (1999). *Specification for Underwater Welding, AWS D3.6M*. Miami, Florida: ANSI.
- American Welding Society. (2010). *Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1/D1.1M*. Miami, Florida: ANSI.
- Baha, A. (2018). Tugas Akhir “*Analisis sifat mekanik pada sambungan pelat baja AH 36 dan ASTM A 53 menggunakan pengelasan Flux Core Arc Welding dengan variasi Heat Input dan jenis Elektrode*” Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.
- Baskara, D. (2018). Tugas Akhir “*Analisis pengaruh sudut groove pada pengelasan SMAW terhadap sifat mekanis dan prediksi laju korosi ASTM A131 AH 36 di lingkungan laut*” Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.
- Department of The Navy Naval Sea System Command. (2002). *Underwater Cutting and Underwater Welding Manual*. Washington: Direction of Commander.
- Di, X, Ji, S, Cheng, F, Wang, D & Cao, J 2015, ‘Effect of cooling rate on microstructure, inclusions and mechanical properties of weld metal in simulated local dry underwater welding’, *Journal of Materials & Design*, vol.88, pp. 505-513.
- Esam F. “*Underwater Welding Techniques*” Int. Journal of Engineering Research and Applications
- Fathur, Y. (2012). Tugas Akhir “*Analisis perbandingan laju korosi pelat ASTM A36 antara pengelasan di udara terbuka dan pengelasan basah bawah air dengan variasi tebal pelat*”. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw - Hill Book Company.
- Harsono, W. dan Okumura, T. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Li, H, Liu, D, Song, Y, Yan, Y, Guo, N & Feng, J 2017, ‘Microstructure and mechanical properties of underwater wet welded high-carbon-equivalent steel Q460 using austenitic consumables’, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 249, pp. 149-157

- Permata, T. (2012). *Tugas Akhir "Analisa Pengaruh Variasi Elektroda pada Pengelasan FCAW Material BKI Grade A Terhadap Laju Korosi"*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Rizki, D. (2017). *Tugas Akhir "Analisis pengaruh variasi kecepatan aliran gas pelindung hasil pengelasan gmaw terhadap kekuatan mekanik dan struktur mikro alumunium seri 5083"*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan FTK, ITS.
- Rosana, E. (2001). *Tugas Akhir "Analisa Perbandingan Laju Korosi Pelat SS41 antara Metode Pengelasan Manual (SMAW) dengan Otomatis (SAW) di Daerah Weld Metal"*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Setyo, G. (2017). *Tugas Akhir "Pengaruh sudut groove terhadap sifat mekanik dan laju korosi pada baja karbon astm A36 di lingkungan laut"*. Surabaya : Jurusan teknik Kelautan FTK ITS
- Sun, K, Zeng, M, Shi, Y, Hu, Y & Shen, X 2018, 'Microstructure and corrosion behavior of S32101 stainless steel underwater dry and wet welded joints', *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 256, pp. 190-201.
- Trethewey, K. R. (1991). *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wang, J, Sun, Q, Jiang, Y, Zhang, T, Ma, J & Feng, J 2018, 'Analysis and improvement of underwater wet welding process stability with static mechanical constraint support', *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 34, part. A, pp. 238-250.
- Ziva, K. (2017). *Tugas Akhir "Analisis studi eksperimen underwater welding smaw di lingkungan laut dengan variasi elektroda terhadap uji impact"*. Surabaya : Jurusan teknik Kelautan FTK, ITS

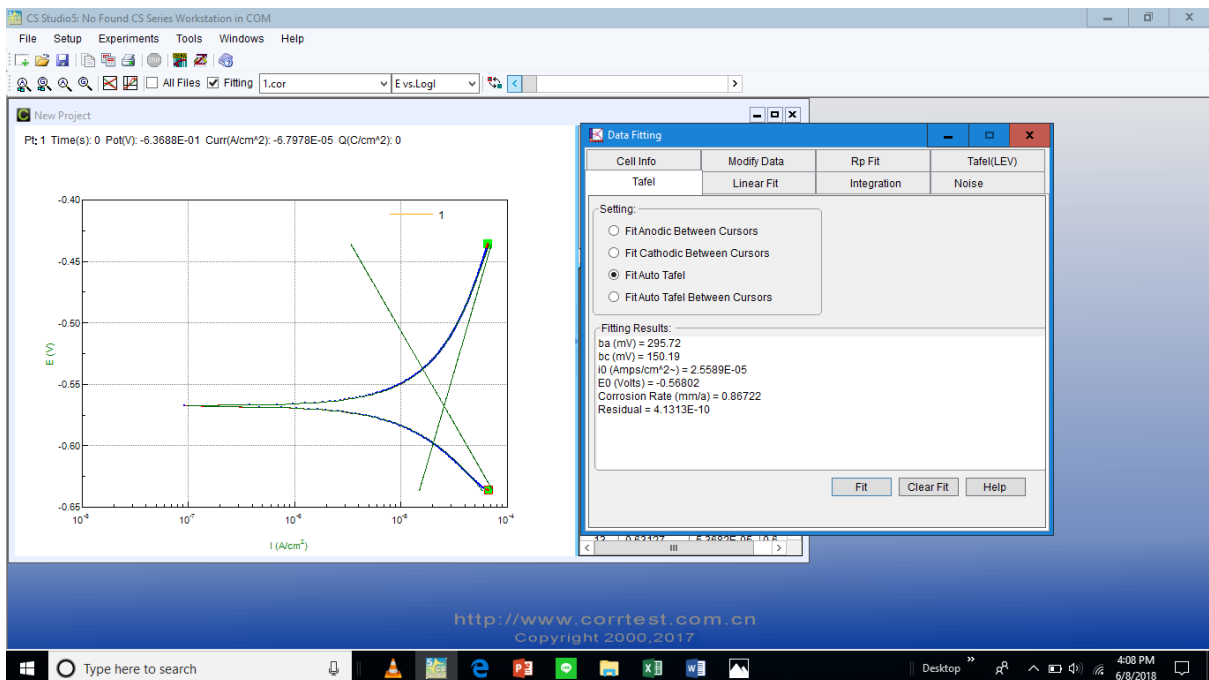


## LAMPIRAN A

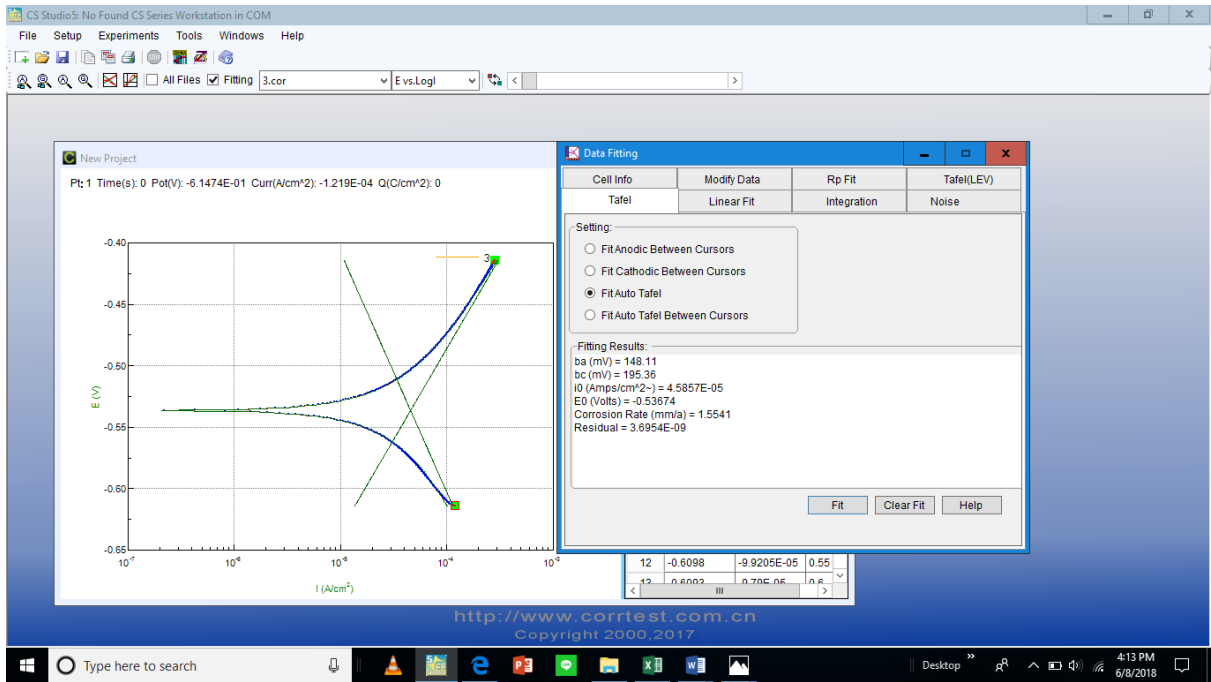
### PERHITUNGAN PREDIKSI LAJU KOROSI DENGAN SOFTWARE CORRTEST



### ELEKTRODA AWS E-6013



### ELEKTRODA AWS E-6019



## ELEKTRODA CAMPURAN

## LAMPIRAN B

### DOKUMENTASI Pengerjaan Tugas Akhir



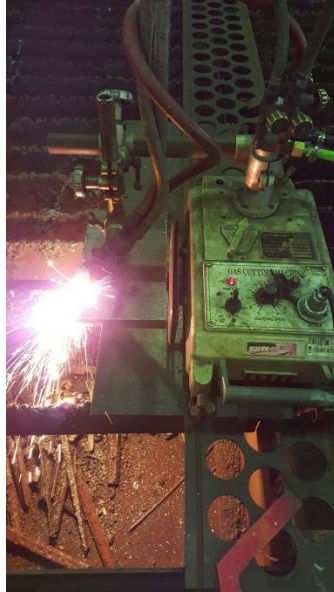
ISOLASI MERK 3M



ELEKTRODA AWS E-6013 DAN AWS E-6019



ELEKTRODA YANG SUDAH DI LAPISI ISOLASI



PLAT YANG SEDANG DI BAVEL



MESIN SMAW



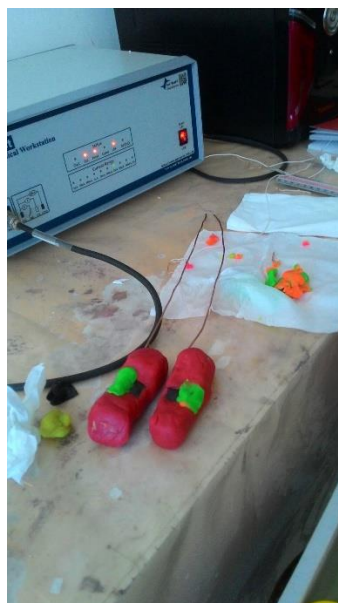
PROSES PENGELASAN UNDERWATER WELDING



CONTOH SPECIMEN UJI TARIK



PROSES Pengerjaan Uji Tarik



CONTOH SPECIMEN UJI KOROSI



PROSES UJI KOROSI



SOFTWARE CORRTEST



PEMOLESAN SPECIMENT METALOGRAFI

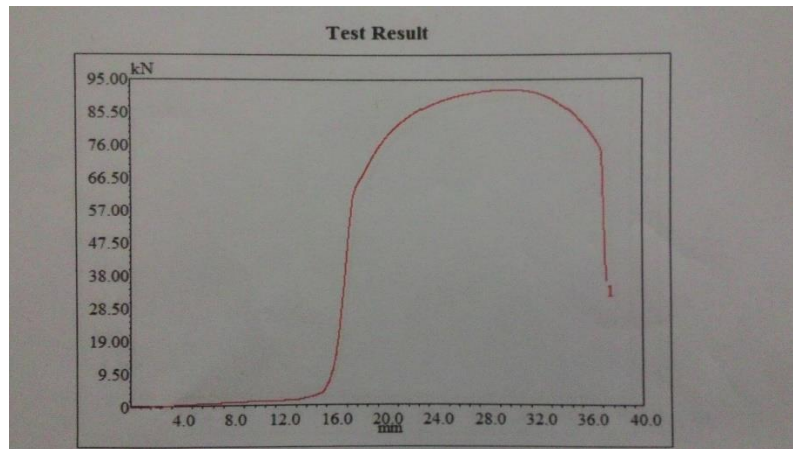


PROSES PENGAMBILAN GAMBAR STRUKTUR MAKRO

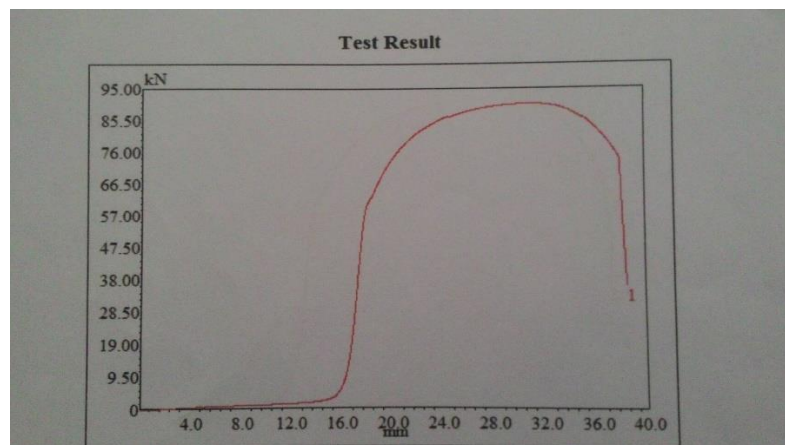


## PROSES PENGAMBILAN GAMBAR STRUKTUR MIKRO

LAMPIRAN C  
GRAFIK UJI TARIK DAN FOTO SPECIMEN

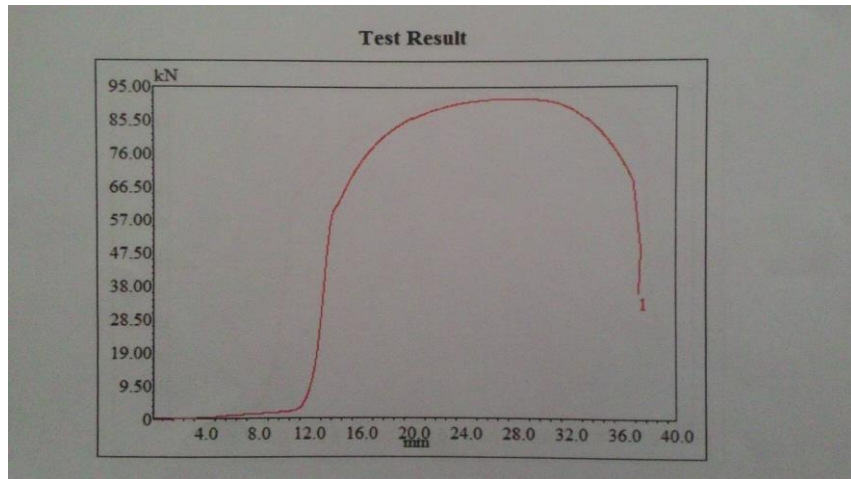


GRAFIK DAN SPECIMEN 1.1

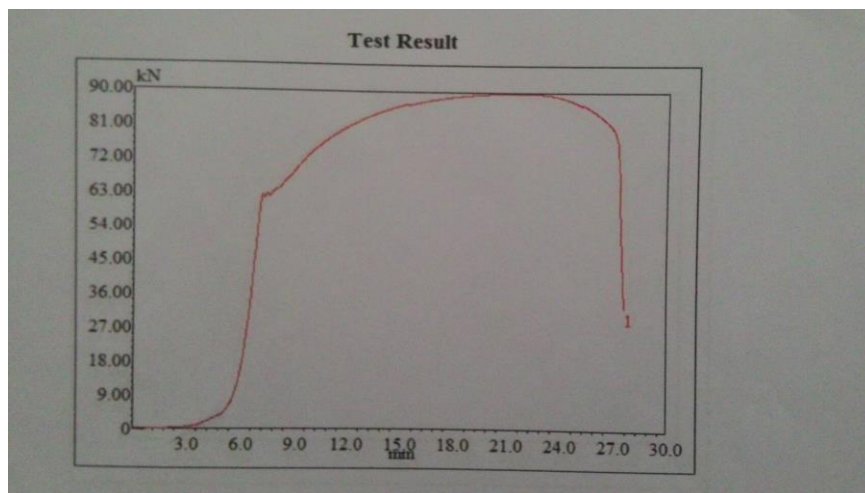


GRAFIK DAN SPECIMEN 1.2

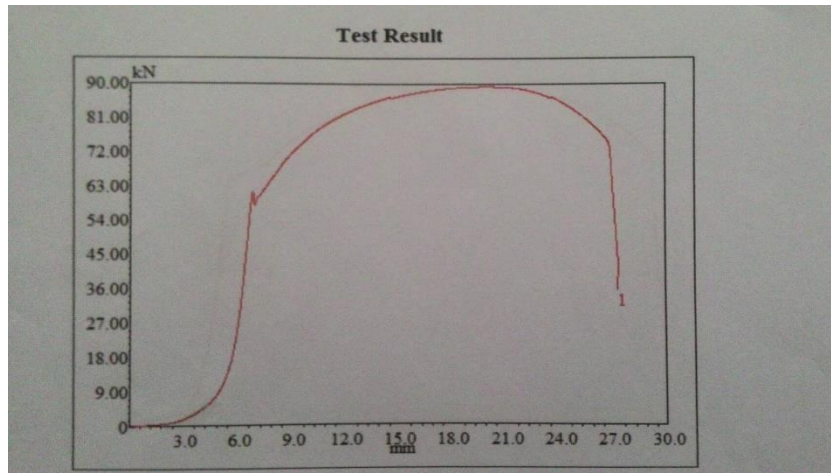




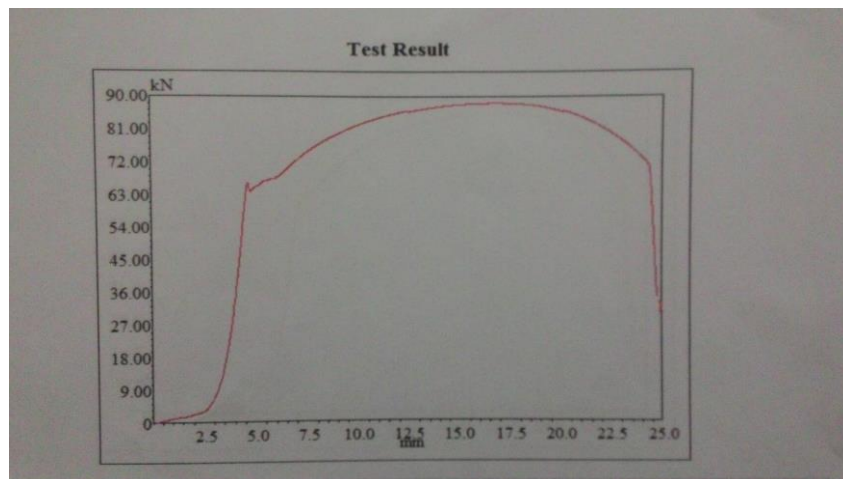
GRAFIK DAN SPECIMEN 1.3



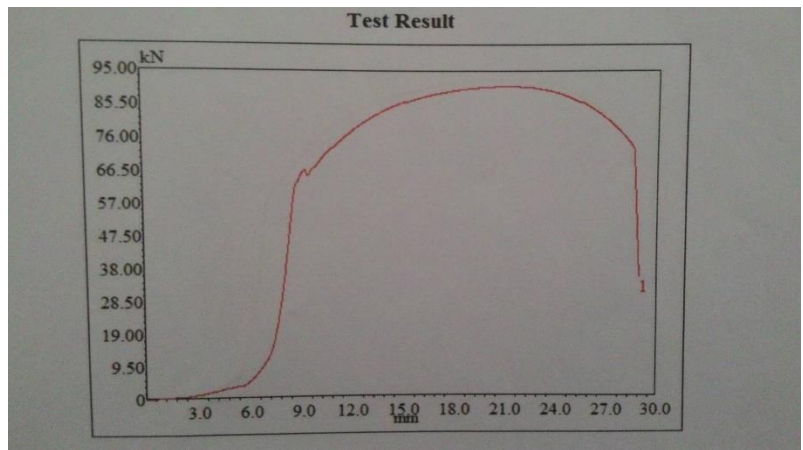
GRAFIK DAN SPECIMEN 2.1



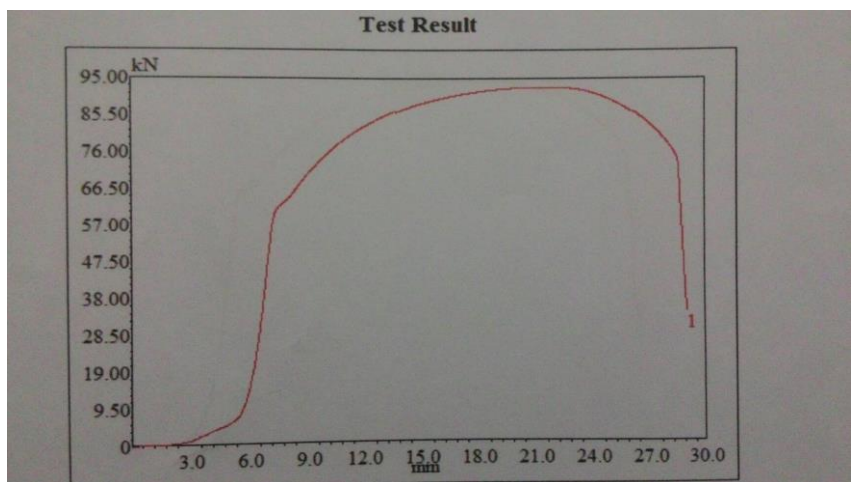
GRAFIK DAN SPECIMEN 2.2



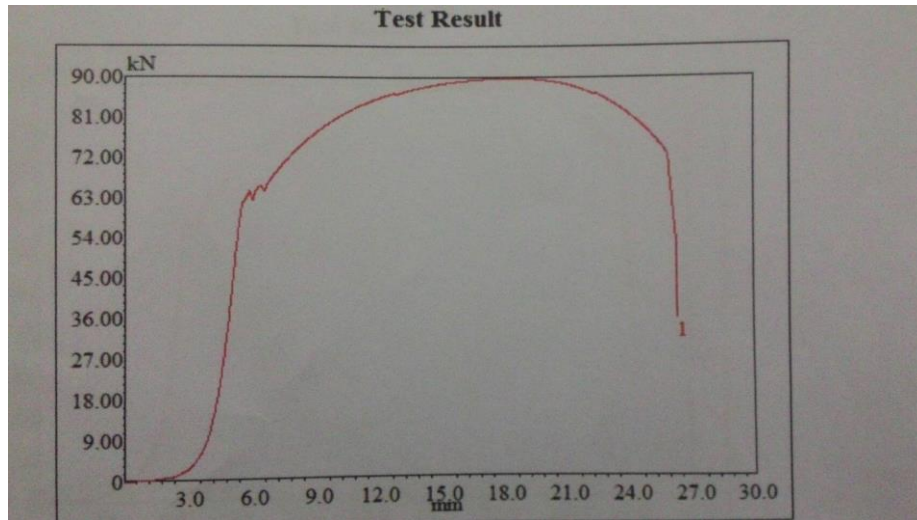
GRAFIK DAN SPECIMEN 2.3



GRAFIK DAN SPECIMEN 3.1



GRAFIK DAN SPECIMEN 3.2



GRAFIK DAN SPECIMEN 3.3

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Surabaya, 7 Maret 1996, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal nya di TK Kuncup Bunga Surabaya, SD Laboratorium Unesa Surabaya, SMP Negeri 13 Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. di Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS pada tahun 2014 melalui jalur tulis SBMPTN.

Lulus dari SMA Negeri 15 Surabaya, penulis melanjutkan ke jenjang sastra-1 di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS melalui jalur sbmptn pada tahun 2014. Terdaftar dengan NRP. 4314100080. Di Jurusan Teknik Kelautan.