



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**ANALISIS STUDI EKSPERIMEN *UNDERWATER WELDING* SMAW DI LINGKUNGAN LAUT DENGAN VARIASI ELEKTRODA TERHADAP UJI *IMPACT***

KALILA ZIVA

NRP. 4313100018

Dosen Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T.,M.T.,Ph.D

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



FINAL PROJECT– MO.141326

**ANALYSIS OF UNDERWATER WELDING SMAW  
EXPERIMENT WITH VARIATION OF ELECTRODES  
AGAINST IMPACT TEST**

KALILA ZIVA

NRP. 4313100018

Supervisors:

Herman Pratikno, S.T.,M.T.,Ph.D

Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 60111

2017

# Analisa Studi Eksperimen *Underwater Welding* SMAW di Lingkungan Laut dengan Variasi Elektroda Terhadap Uji *Impact*

## TUGAS AKHIR

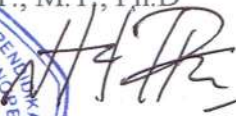

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh

KALILA ZIVA      NRP. 4313100018

Disetujui oleh :

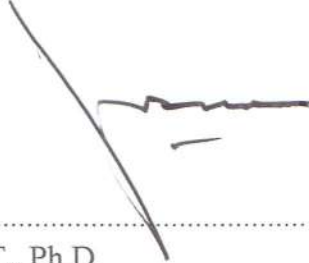
1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 1)

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



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



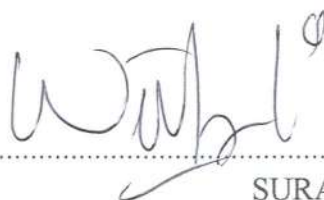
4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Penguji 2)



5. Dirta Marina C., S.T., M.T. (Penguji 3)



6. Wilama L Dhanistha, S.T., M.T., (Penguji 4)



SURABAYA, JULI 2017

# **Analisis Studi Eksperimen *Underwater Welding* SMAW di Lingkungan Laut dengan Variasi Elektroda Terhadap Uji *Impact***

**Nama Mahasiswa : Kalila Ziva**  
**NRP : 4313100018**  
**Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS**  
**Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D**  
**2. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D**

## **Abstrak**

Penelitian ini merupakan eksperimen terhadap perbandingan elektroda yang berbeda yaitu AWS E6013 dan AWS E6010 pada lingkungan yang berbeda yakni pengelasan darat dan pengelasan bawah air pada plat baja ASTM A36. Penelitian ini akan membandingkan hasil dari pengujian *impact*, tarik, kekerasan serta foto struktur makro dan mikro. Dari hasil penelitian didapat bahwa pada pengelasan bawah air dengan elektroda E6013 memiliki sifat yang lebih getas dan tangguh dibanding pengelasan dengan E6010. Hasil uji *impact* elektroda E6013 pada *weld metal*  $0.947 \text{ J/mm}^2$  dan pada HAZ  $1.657 \text{ J/mm}^2$ . Pada specimen pengelasan bawah air dengan elektroda E6010 memiliki hasil uji *impact*  $0.832 \text{ J/mm}^2$  pada *weld metal* dan  $1.542 \text{ J/mm}^2$  pada HAZ. Pada pengelasan darat elektroda E6010 memiliki sifat yang lebih getas dan keras dibanding dengan elektroda E6013 tetapi memiliki nilai uji *impact* yang rendah. Elektroda E6013 memiliki hasil uji *impact* darat  $1.213 \text{ J/mm}^2$  pada *weld metal* dan  $1.577 \text{ J/mm}^2$  pada HAZ. Dan elektroda E6010  $0.793 \text{ J/mm}^2$  pada *weld metal* dan  $1.383 \text{ J/mm}^2$  pada HAZ.

Kata kunci : Elektroda, Pengelasan Bawah Air, SMAW, Uji Impact

# **Analysis of Underwater Welding Experiment with Variation of Electrodes Against Impact Test**

**Name : Kalila Ziva**

**Reg. Number : 4313100018**

**Department : Teknik Kelautan FTK-ITS**

**Supervisors : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D**

**2. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D**

## **Abstract**

This research is an experiment on different electrode comparisons AWS E6013 and AWS E6010 in different environments for surface welding and underwater welding on steel plate ASTM A36. This study will compare the results of impact, tensile, hardness, macro and micro structure test. Results from the research found that the underwater welding with E6013 electrode has a more brittle and tough structure than welding with E6010. Test results from the impact test shows that underwater welding using electrode E6013 on weld metal  $0.947 \text{ J/mm}^2$  and at HAZ  $1,657 \text{ J/mm}^2$ . For specimens of electrode E6010 in underwater welding has porosity defects making the results not optimum. For the on land welding the usage of electrode E6010 has a more brittle and hard properties compared with E6013 electrode but it has a low impact test value. The E6013 electrode has an average impact test of  $1.213 \text{ J/mm}^2$  on weld metal and  $1,577 \text{ J/mm}^2$  on HAZ. And E6010 electrode has an average value of  $0.793 \text{ J/mm}^2$  on weld metal and  $1,383 \text{ J/mm}^2$  on HAZ.

**Keywords:** SMAW, Underwater Welding, SMAW, Impact Test

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan Rahmat, Inayah, Taufik dan HidayahNya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir berjudul Analisa Studi Eksperimen *Underwater Welding* dengan Variasi Elektroda Terhadap Uji *Impact* di Lingkungan Laut.

Laporan ini memiliki tujuan, yaitu untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Laporan ini bertema tentang hasil sifat mekanik akibat perbedaan elektroda saat digunakan pada pengelasan bawah air dan pengelasan darat. Bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil las pada lingkungan yang sama dengan elektroda yang berbeda.

Walaupun laporan tugas akhir ini sudah selesai, penulis merasa masih memiliki kekurangan yang banyak, meski penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam pengerjaannya. Oleh karena itu penulis berharap terutama kepada para pembaca bahwa kritik dan saran yang bersifat membangun sangat di apresiasi, karena kritik dan saran merupakan media untuk memperbaiki suatu hal menjadi lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna khususnya pada penulis sendiri dan secara umum kepada para pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Kalila Ziva

## UCAPAN TERIMA KASIH

Laporan tugas akhir ini tidak akan selesai sesuai ekspektasi tanpa mendapat bantuan dan dukungan secara moral dan fisik dari berbagai pihak yang tentunya penulis sangat hargai. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan izin kepada penulis untuk menyelesaikan laporan terkait
2. Ibu Junita Zulkarnain sebagai orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan ITS, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama dan dosen wali serta sebagai koordinator TA Jurusan Teknik Kelautan ITS, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Bapak Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua.
6. Para dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis.
7. Staf di Lab. Konstruksi Teknik Perkapalan FTK-ITS, Lab. Produksi Teknik Perkapalan FTK-ITS dan Lab. Metalurgi FTI-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
9. Alm. Bapak Zulkarnain Siregar, Ibu Lilly Zulkarnain, Ibu Alfi Zulkarnain dan Bapak Iskandar Sulaiman sebagai keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan.
10. Danesto Rizky yang telah memberikan dukungan moral dan inspirasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

11. Indri, Jousie, Febry, Patria, Robby, Arie, Wahyu, Fikri, Dhimas dan Anugraha yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Annisa, Altea, Talitha, Diba, Saddam dan Tari yang telah memberikan motivasi kepada penulis.
13. Teman-teman satu dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu dan membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
14. Keluarga besar Teknik Kelautan 2013 (VALTAMERI L31) serta kakak senior dan adik junior Jurusan Teknik Kelautan yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada penulis selama masa perkuliahan.
15. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam ranah yang berkaitan bagi para pembaca. Bila ada kesalahan dalam penulisan nama penulis ucapkan mohon maaf.

Surabaya, Juli 2017

Kalila Ziva



## DAFTAR ISI

Abstrak .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GRAFIK .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan Masalah.....	2
1.6 Hipotesa Awal .....	3
BAB 2 DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Pengelasan .....	6
2.2.1. Teknik Las dan Sambungan Las .....	6
2.3 Cacat Pada Hasil Las .....	10
2.4 Baja.....	11
2.4.1 Baja ASTM A36 .....	12
2.5 Sel Elektroda .....	14
2.6 <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i> .....	16

2.7	<i>Underwater Shielded Metal Arc Welding</i> .....	17
2.8	Pengujian Impact.....	18
2.9	Pengujian <i>Non-Destructive Test Radiography</i> .....	20
2.10	Pengujian Metalografi.....	21
2.11	Pengujian Kekerasan Vickers .....	23
2.12	Pengujian Tarik .....	24
BAB 3 METODOLOGI.....		26
3.1.	Metode Penelitian.....	27
3.2.	Prosedur Penelitian.....	28
3.2.1	Studi Literatur .....	28
3.2.2	Pembuatan Spesimen Plat.....	28
3.2.3	Proses Pengelasan SMAW .....	30
3.2.4	Pengujian NDT ( <i>Radiography Test</i> ).....	32
3.2.5	Pembagian Spesimen Plat.....	32
3.2.6	Pengujian Mekanis .....	39
3.2.7	Pengujian Metalografi .....	42
BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....		45
4.1	<i>Welding Procedure Specification (WPS)</i> .....	45
4.1.1	Pengelasan dengan Elektroda E6010.....	45
4.1.2	Pengelasan dengan Elektroda E6013.....	47
4.1.3	Heat Input .....	48
4.2	Uji Radiografi.....	50
4.3.	Pengujian Kekerasan Vickers .....	52
4.3.1	Pengujian Kekerasan Vickers pada Pengelasan Bawah Air .....	52
4.3.2	Pengujian Kekerasan Vickers pada Pengelasan Darat .....	53
4.3.3	Kesimpulan Pengujian Kekerasan .....	54

4.4	Pengujian Tarik .....	56
4.4.1	Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan Bawah Air.....	57
4.4.2	Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan Darat .....	58
4.4.3	Kesimpulan Pengujian Tarik.....	59
4.5	Pengujian <i>Impact</i> .....	62
4.5.1	Hasil Pengujian <i>Impact</i> pada Pengelasan di Bawah Air .....	62
4.5.2	Hasil Pengujian <i>Impact</i> pada Pengelasan Darat.....	63
4.5.3	Kesimpulan Pengujian <i>Impact</i> .....	65
4.6	Pengujian Metalografi .....	65
4.6.1.	Hasil dan Analisis Pengujian Makro pada Pengelasan Bawah Air.	65
4.6.2	Hasil dan Analisis Pengujian Makro Pengelasan Darat.....	66
4.6.3.	Hasil dan Analisis Pengujian Mikro Pengelasan Bawah Air .....	68
4.6.4	Hasil dan Analisis Pengujian Mikro pada Pengelasan Darat .....	70
BAB 5	.....	73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran .....	74
DAFTAR PUSTAKA	.....	75
LAMPIRAN	.....	78

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alur Sambungan Las Tunggal.....	9
Gambar 2. 2 Diagram fase Fe- Fe <sub>3</sub> C .....	13
Gambar 2. 3 Pengelasan SMAW .....	17
Gambar 2. 4 Mesin Charpy untuk pengujian <i>Impact</i> .....	20
Gambar 2. 5 Pantulan sinar pada pengujian metalografi .....	22
Gambar 2. 6 Skema pengujian kekerasan <i>Vickers</i> .....	24
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Kampuh <i>Single V-groove</i> sebelum pengelasan .....	29
Gambar 3. 3 Plat Baja A36 yang akan digunakan dalam penelitian .....	29
Gambar 3. 4 Alat Radiografi Test .....	32
Gambar 3. 5 Mesin Pemotong Hidrolik .....	33
Gambar 3. 6 Spesifikasi specimen uji Tarik .....	34
Gambar 3. 7 Spesimen untuk Uji Tarik .....	34
Gambar 3. 8 Menghaluskan specimen dengan <i>polisher</i> .....	35
Gambar 3. 9 Spesimen Uji Kekerasan .....	36
Gambar 3. 10 Standar specimen uji <i>Impact</i> .....	36
Gambar 3. 11 Spesimen uji <i>impact</i> .....	37
Gambar 3. 12 <i>Polish</i> menggunakan cairan etsa .....	38
Gambar 3. 13 Spesimen uji Metalografi .....	38
Gambar 3. 14 Mesin <i>Charpy</i> untuk pengujian <i>Impact</i> .....	40
Gambar 3. 15 Mesin tarik.....	41
Gambar 3. 16 Alat <i>Vicker Hardness</i> .....	42
Gambar 3. 17 Perhitungan komposisi mikro dengan metode <i>point counting</i> .....	43
Gambar 3. 18 Pengujian metalografi mikro .....	44
Gambar 4. 1 Hasil Pengelasan Darat E6010 .....	46
Gambar 4. 2 Hasil Pengelasan <i>Underwater</i> E6010.....	46
Gambar 4. 3 Hasil Pengelasan Darat E6013 .....	47
Gambar 4. 4. Hasil Pengelasan <i>Underwater</i> E6013.....	48

Gambar 4. 5 Hasil uji Radiografi elektroda E6013 pada pengelasan bawah air ...	50
Gambar 4. 6 Hasil uji Radiografi elektroda E6010 pada pengelasan bawah air ..	50
Gambar 4. 7 Hasil uji Radiografi elektroda E6013 pada pengelasan darat .....	51
Gambar 4. 8 Hasil uji Radiografi elektroda E6010 pada pengelasan darat .....	52
Gambar 4. 9 Hasil struktur makro E6013 UW .....	66
Gambar 4. 10 Hasil struktur makro E6010 UW .....	66
Gambar 4. 11 Hasil struktur makro E6013 D .....	67
Gambar 4. 12 Hasil struktur makro E6010 D .....	67
Gambar 4. 13 Hasil mikro HAZ pada spesimen E6013 UW .....	68
Gambar 4. 14 Hasil mikro HAZ pada spesimen E6010 UW .....	68
Gambar 4. 15 Hasil mikro <i>Weld Metal</i> pada spesimen E6013 UW .....	69
Gambar 4. 16 Hasil mikro <i>Weld Metal</i> pada spesimen E6010 UW .....	69
Gambar 4. 18 Hasil mikro HAZ pada spesimen E6013D .....	70
Gambar 4. 19 Hasil mikro HAZ pada spesimen E6010D .....	71
Gambar 4. 20 Hasil mikro <i>Weld Metal</i> pada spesimen E6013D .....	71
Gambar 4. 21 Hasil mikro <i>Weld Metal</i> pada spesimen E6010D .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Chemical Requirement ASTM A36.....	12
Tabel 2. 2 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak.....	15
Tabel 3. 1 Komposisi kimia pengganti air laut .....	30
Tabel 4. 1 Parameter Pengelasan Darat E6010 .....	45
Tabel 4. 2 Parameter Pengelasan <i>Underwater</i> E6010.....	46
Tabel 4. 3 Parameter Pengelasan Darat E6013 .....	47
Tabel 4. 4 Parameter Pengelasan <i>Underwater</i> E6013.....	48
Tabel 4. 5 <i>Heat Input</i> pada pengelasan bawah air .....	49
Tabel 4. 6 <i>Heat Input</i> pada pengelasan darat .....	49
Tabel 4. 7 Hasil pengujian kekerasan di lingkungan laut .....	52
Tabel 4. 8 Hasil pengujian kekerasan di darat .....	53
Tabel 4. 9 Rata-rata hasil kekerasan .....	54
Tabel 4. 10 Rata-rata hasil kekerasan pada pengelasan darat .....	56
Tabel 4. 11 Hasil uji Tarik pada pengelasan bawah air .....	57
Tabel 4. 12 Hasil uji Tarik pada pengelasan darat .....	58
Tabel 4. 13 Hasil uji Tarik pada pengelasan bawah air .....	59
Tabel 4. 14 Hasil uji Tarik pada pengelasan darat .....	61
Tabel 4. 15 Hasil uji <i>impact</i> pada pengelasan bawah air .....	62
Tabel 4. 16 Hasil uji <i>impact</i> pada pengelasan darat.....	64

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Hasil uji kekerasan pada pengelasan bawah air .....	53
Grafik 4. 2 Hasil uji kekerasan pada pengelasan darat.....	54
Grafik 4. 3 Rata-rata uji kekerasan pada pengelasan bawah air.....	55
Grafik 4. 4 Rata-rata uji kekerasan pada pengelasan darat.....	56
Grafik 4. 5 Hasil uji tarik pada pengelasan bawah air.....	57
Grafik 4. 6 Hasil uji tarik pada pengelasan darat .....	58
Grafik 4. 7 Rata-rata uji tarik pada pengelasan bawah air.....	60
Grafik 4. 8 Rata-rata uji tarik pada pengelasan darat .....	61
Grafik 4. 9 Hasil uji impact pada pengelasan bawah air .....	63
Grafik 4. 10 Hasil uji impact pada pengelasan darat.....	64

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A DATA

LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN

LAMPIRAN C HASIL DATA PENGUJIAN





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Las busur listrik terlindung atau pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dapat dilakukan di lingkungan darat dan di lingkungan bawah air (*underwater wet welding*). Pada proses pengelasan SMAW di darat tidak memerlukan perlakuan secara khusus, namun pada saat proses pengelasan SMAW di dalam laut maka kawat elektroda harus dilapisi dengan selotip atau lilin.

Untuk mengetahui kualitas hasil sambungan las dari proses pengelasan SMAW di lingkungan laut, maka diperlukan uji mekanik antara lain uji *impact*, uji kekerasan, dan uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro hasil pengelasan.

Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Agar dapat memahami uji *impact* terlebih dahulu mengamati fenomena yang terjadi terhadap suatu kapal yang berada pada suhu rendah ditengah laut, sehingga menyebabkan materialnya menjadi getas dan mudah patah. Disebabkan laut memiliki banyak beban (tekanan) dari arah manapun. Hal-hal yang harus diperhatikan bahwa sambungan yang dibuat akan mampu menerima beban (beban statis, beban dinamis, atau keduanya). Hasil pengelasan di lingkungan laut atau *wet welding* memiliki hasil yang buruk pada bagian ketahanan. Pada eksperimen akan dilakukan percobaan antara dua jenis elektroda yang memiliki bahan dan selaput yang berbeda serta kekuatan untuk menemukan hasil yang lebih tahan beban impak serta uji tarik dan kekerasan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah perbedaan hasil pengelasan SMAW menggunakan elektroda AWS E6013 dan E6010 di bawah air dan darat?
2. Bagaimanakah perbedaan nilai kekuatan mekanik pada sambungan weld joint plat baja A36 pada proses pengelasan SMAW menggunakan elektroda AWS E6013 dan E6010 di bawah air dan darat?
3. Bagaimanakah struktur mikro makro yang terbentuk dari hasil pengelasan SMAW di bawah air dan darat?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbedaan hasil las dengan elektroda E6010 dan E6013 di bawah air serta darat.
2. Mengetahui perbedaan nilai kekuatan mekanik pada sambungan weld joint plat baja A36 pada proses pengelasan SMAW dengan elektroda AWS E6010 dan E6013 di bawah air serta darat.
3. Mengetahui struktur mikro dan makro yang terbentuk dari hasil pengelasan SMAW di bawah air dan darat.

## **1.4 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai ketahanan material terhadap beban kejut (*rapid loading*) pada proses pengelasan SMAW di bawah air dari hasil pengujian ketahanan impact, tarik dan kekerasan. Beserta memberikan informasi mengenai tingkat kualitas material tersebut dilihat dari struktur mikro dan makro dari hasil pengelasan menggunakan dua elektroda berbeda yaitu E6010 dan E6013.

## **1.5 Batasan Masalah**

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah plat baja jenis mild steel ASTM A36
2. Proses pengelasan menggunakan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada pengelasan di darat maupun di bawah air.

3. Pengelasan di bawah air pada salinitas 35‰ dengan larutan pengganti air.
4. Elektroda yang digunakan AWS E6010 dan E6013
5. Pengelasan dilakukan berdasar WPS (*Welding Procedure Specification*).
6. Pengujian yang dilakukan:
  - a. Pengujian NDT (*Radiography Test*)
  - b. Pengujian tarik
  - c. Pengujian impact
  - d. Pengujian *hardness Vickers*.
  - e. Pengujian metalography (foto mikro)

### **1.6 Hipotesa Awal**

Hasil pengelasan bawah air dan darat SMAW dengan menggunakan elektroda E6010 akan lebih keras dan getas dibanding menggunakan elektroda E6013, karena elektroda E6010 memiliki *heat input* tinggi. Dan walaupun elektroda E6013 memiliki pelapis yang tahan air, elektroda E6010 memiliki gas pelindung bila terkena basah sehingga dapat melindungi elektroda tersebut dari lingkungan yang berair. Dengan lebih getasnya penggunaan elektroda E6010 pada pengelasan, maka tingkat ke uletan akan lebih tinggi pada pengelasan dengan elektroda E6013 baik di darat maupun di air.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian dalam laporan ini dilaksanakan dengan memanfaatkan berbagai hasil dari penelitian dan pengalaman pada bidang yang sama. Penelitian tersebut adalah hasil sifat mekanik pada *weld joint* dalam proses pengelasan menggunakan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang di laksanakan di lingkungan laut dengan salinitas maupun pengelasan di lingkungan darat.

Agastama (2010) melakukan penelitian mengenai pengelasan bawah air menggunakan SMAW dan FCAW *wet welding* pada material baja karbon rendah dalam salinitas 33%. Beliau memberikan pembahasan mengenai hasil-hasil struktur mikro pada pengelasan bawah air dengan cara pengelasan SMAW dan FCAW.

Manurung (2015) melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi elektroda pada pengelasan baja karbon rendah terhadap pengujian kekerasan, dampak dan struktur mikro. Dalam penelitiannya di dapatkan perbedaan hasil pada setiap pengujian mekanik dengan elektroda yang berbeda serta pembahasan mengenai cara pengelasan dan baja.

Anggraeni (2016) dalam tugas akhirnya telah melakukan penelitian mengenai *underwater welding* di lingkungan laut menggunakan SMAW *wet welding* dan menganalisa kekuatan mekanik pada *weld joint*, tetapi terbatas pada satu jenis elektroda yaitu elektroda AWS E6013. Sedangkan Rahmadhani (2016) melakukan penelitian pada tugas akhirnya mengenai uji *impact* pada material baja pipa menggunakan metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*).

Untuk penentuan parameter dalam penelitian ini *codes* ASME IX - *Qualification Standard For Welding, Brazing, And Fusing Procedures; Welders,*

*Brazers, And Welding, Brazing, And Fusing Operators* akan dijadikan acuan serta makalah dari Rahmadhani (2016) mengenai pengujian *impact*.

## **2.2. Pengelasan**

Berdasarkan definisi dari American Welding Society (AWS), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada waktu ini telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan hanya menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekulmolekul dari logam yang disambungkan. Pengelasan mempunyai banyak keuntungan antara lain: praktis, hasilnya dapat diandalkan, efisien, dan ekonomis. Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau Las elektroda terbungkus merupakan proses pengelasan yang paling banyak digunakan.

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat. Hal yang perlu diperhatikan pada hasil pengelasan adalah tegangan sisa, karena pada pengelasan terjadi tegangan termal akibat perbedaan suhu antara logam induk dan daerah las. Tegangan sisa pada hasil pengelasan terjadi karena selama siklus termal las berlangsung di sekitar sambungan las dengan logam induk yang suhunya relatif berubah sehingga distribusi suhu tidak merata. Proses perlakuan panas dalam dunia industri merupakan proses yang cukup berpengaruh dalam menentukan sifat fisis dan mekanis suatu bahan logam. Melalui perlakuan panas sifat-sifat yang kurang menguntungkan pada logam dapat diperbaiki. Tujuan pengerjaan panas (Heat Treatment) adalah untuk memberi sifat yang diinginkan.

### **2.2.1. Teknik Las dan Sambungan Las**

Dalam teknik pengelasan dikenal beberapa cara yaitu:

1. Pengelasan di bawah tangan

Pengelasan di bawah tangan adalah proses pengelasan yang dilakukan di bawah tangan dan benda kerja terletak di atas bidang datar. Sudut ujung pembakar (brander) terletak diantara  $60^\circ$  dan kawat pengisi (filler rod) dimiringkan dengan sudut antara  $30^\circ$ - $40^\circ$  dengan benda kerja. Kedudukan ujung pembakar ke sudut sambungan dengan jarak 2–3 mm agar terjadi panas maksimal pada sambungan. Pada sambungan sudut luar, nyala diarahkan ke tengah sambungan dan gerakannya adalah lurus.

2. Pengelasan mendatar (horizontal)

Pada posisi ini benda kerja berdiri tegak sedangkan pengelasan dilakukan dengan arah mendatar sehingga cairan las cenderung mengalir ke bawah, untuk itu ayunan brander sebaiknya sekecil mungkin. Kedudukan brander terhadap benda kerja menyudut  $70^\circ$  dan miring kira-kira  $10^\circ$  di bawah garis mendatar, sedangkan kawat pengisi dimiringkan pada sudut  $10^\circ$  di atas garis mendatar.

3. Pengelasan tegak (vertikal)

Pada pengelasan dengan posisi tegak, arah pengelasan berlangsung ke atas atau ke bawah. Kawat pengisi ditempatkan antara nyala api dan tempat sambungan yang bersudut  $45^\circ$ - $60^\circ$  dan sudut brander sebesar  $80^\circ$ .

4. Pengelasan di atas kepala (over head)

Pengelasan dengan posisi ini adalah yang paling sulit dibandingkan dengan posisi lainnya dimana benda kerja berada di atas kepala dan pengelasan dilakukan dari bawahnya. Pada pengelasan posisi ini sudut brander dimiringkan  $10^\circ$  dari garis vertikal sedangkan kawat pengisi berada di belakangnya bersudut  $45^\circ$ - $60^\circ$ .

5. Pengelasan dengan arah ke kiri (maju)

Cara pengelasan ini paling banyak digunakan dimana nyala api diarahkan ke kiri dengan membentuk sudut  $60^\circ$  dan kawat las  $30^\circ$  terhadap benda kerja sedangkan sudut melintangnya tegak lurus terhadap arah pengelasan. Cara ini banyak digunakan karena cara pengelasannya mudah dan tidak membutuhkan posisi yang sulit saat mengelas.



## 6. Pengelasan dengan arah ke kanan (mundur)

Cara pengelasan ini adalah arahnya kebalikan daripada arah pengelasan ke kiri. Pengelasan dengan cara ini diperlukan untuk pengelasan baja yang tebalnya 4,5 mm ke atas.

Untuk menghasilkan kualitas sambungan las yang baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan yaitu kampuh las. Kampuh las ini berguna untuk menampung bahan pengisi agar lebih banyak yang melekat pada benda kerja, dengan demikian kekuatan las akan terjamin. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis kampuh adalah:

- a. Ketebalan benda kerja.
- b. Jenis benda kerja.
- c. Kekuatan yang diinginkan.
- d. Posisi pengelasan.

Sebelum memulai proses pengelasan terlebih dahulu ditentukan jenis sambungan las yang akan dipilih. Hal-hal yang harus diperhatikan bahwa sambungan yang dibuat akan mampu menerima beban (beban statis, beban dinamis, atau keduanya). Dengan adanya beberapa kemungkinan pemberian beban sambungan las, maka terdapat beberapa jenis sambungan las, yaitu sebagai berikut:

### 1. Kampuh V Tunggal

Sambungan V tunggal juga dapat dibuat tertutup dan terbuka. Sambungan ini juga lebih kuat dari pada sambungan persegi, dan dapat dipakai untuk menerima gaya tekan yang besar, serta lebih tahan terhadap kondisi beban statis dan dinamis. Pada pelat dengan tebal 5 mm–20 mm penetrasi dapat dicapai 100%.

### 2. Kampuh Persegi

Sambungan ini dapat dibuat menjadi 2 kemungkinan, yaitu sambungan tertutup dan sambungan terbuka. Sambungan ini kuat untuk beban statis tapi tidak kuat untuk beban tekuk.

### 3. Kampuh V Ganda

Sambungan ini lebih kuat dari pada V tunggal, sangat baik untuk kondisi beban statis dan dinamis serta dapat menjaga perubahan bentuk kelengkungan sekecil mungkin. dipakai pada ketebalan 18 mm-30 mm.

#### 4. Kampuh Tirus Tunggal

Sambungan ini digunakan untuk beban tekan yang besar. Sambungan ini lebih baik dari sambungan persegi, tetapi tidak lebih baik dari pada sambungan V. Letaknya disarankan terbuka dan dipakai pada ketebalan pelat 6 mm-20 mm.

#### 5. Kampuh U Tunggal

Kampuh U tunggal dapat dibuat tertutup dan terbuka. Sambungan ini lebih kuat menerima beban statis dan diperlukan untuk sambungan berkualitas tinggi. Dipakai pada ketebalan 12 mm-25 mm.

Bentuk kampuh untuk sambungan las yang dijelaskan di atas dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah.

Jenis lasan	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	

**Gambar 2. 1** Alur Sambungan Las Tunggal

(Sumber: Wiryosumarto, 2004)

### 2.3 Cacat Pada Hasil Las

Cacat pada hasil sambungan las dapat disebabkan akibat *human error* dan kinerja alat yang kurang efektif. Cacat las dapat mengakibatkan melemahnya sambungan las, bocor dan mengawali kawat permukaan. Jenis-jenis cacat permukaan las:

1. Lubang Jarum (Pin Hole) terbentuk gas di dalam bahan las sewaktu pengelasan akibat kandungan belerang dalam bahan.
2. Percikan Las (*Splatter*) disebabkan karena elektroda yang lembab, kampuh kotor, angin kencang, ampere *capping* terlalu tinggi
3. Retak (*Crack*) disebabkan oleh tegangan dalam material, bahan yang tidak cocok dengan kawat las atau pengelasan tanpa perlakuan panas yang benar.
4. Keropos (*Porosity*) disebabkan karena lingkungan las yang lembab atau basah, salah jenis arus, angin berhembus dipermukaan las, salah jenis polaritas. Dapat melemahkan sambungan.
5. Muka Cekung (*Concavity*) dapat disebabkan karena *welder* terlalu cepat selesai, kecepatan las dan ampere pada *capping* terlalu tinggi, bukaan sudut kampuh yang terlalu besar
6. Longsor Pinggir (*Undercut*) disebabkan karena suhu metal yang terlalu tinggi, ampere *capping* terlalu tinggi dan dapat melemahkan sambungan. *Undercut* cukup diatasi dengan mengisi longsornya dengan *stringer*.
7. Penguat berlebihan (*excessive reinforcement*) disebabkan karena elektroda terlalu rapat dan kecepatan *capping* terlalu rendah.
8. Penetrasi Tidak Sempurna (*Incomplete Penetration*) akibat celahnya terlalu sempit, ampere mesin las tidak tetap, ampere akar las rendah dan kampuh kotor.
9. Penetrasi berlebihan (*excessive penetration*) disebabkan karena celah terlalu lebar, elektroda terlalu kecil.
10. Retak akar (*root crack*) akibat celah yang terlalu lebar, elektroda terlalu kecil dan ampere terlalu tinggi

11. Terbakar tembus (*blow hole*) disebabkan karena celah atau *bevel* tidak seragam, posisi elektroda turun, ampere mesin las tiba-tiba naik.
12. Longsor pinggir akar (*root undercut*) akibat suhu metal terlalu tinggi pada saat pengelasan *root*.

## 2.4 Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon, baja juga mengandung unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran bijih besi yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin. Sebagian lagi unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi atau baja. Selain itu, sering kali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam untuk memperoleh sifat tertentu sehingga jenis baja akan beragam (Zakharov, 1962).

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan oleh manusia, jenis dan juga bentuknya sangat banyak. Karena penggunaannya yang sangat luas, maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut kebutuhan masing – masing. Ada beberapa cara mengklasifikasikan baja, diantaranya:

- Menurut penggunaannya: baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas dan lainnya.
- Menurut kekuatannya: baja lunak, baja kekuatan tinggi.
- Menurut struktur mikronya: baja eutektoid, baja hypoeutectoid, baja hypereutectoid, baja ferritik dan lainnya.
- Menurut komposisinya: baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi dan lainnya.

Baja dapat digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah (Low Carbon Steel/Mild Steel) merupakan baja karbon yang mempunyai kadar karbon sampai 0,30%. Baja karbon rendah sangat luas penggunaannya, yaitu sebagai konstruksi umum untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur – baut, pipa, lambung kapal, dan lain – lain. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah dan lunak tetapi memiliki

keuletan yang tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan pengerasan permukaan).

#### 2.4.1 Baja ASTM A36

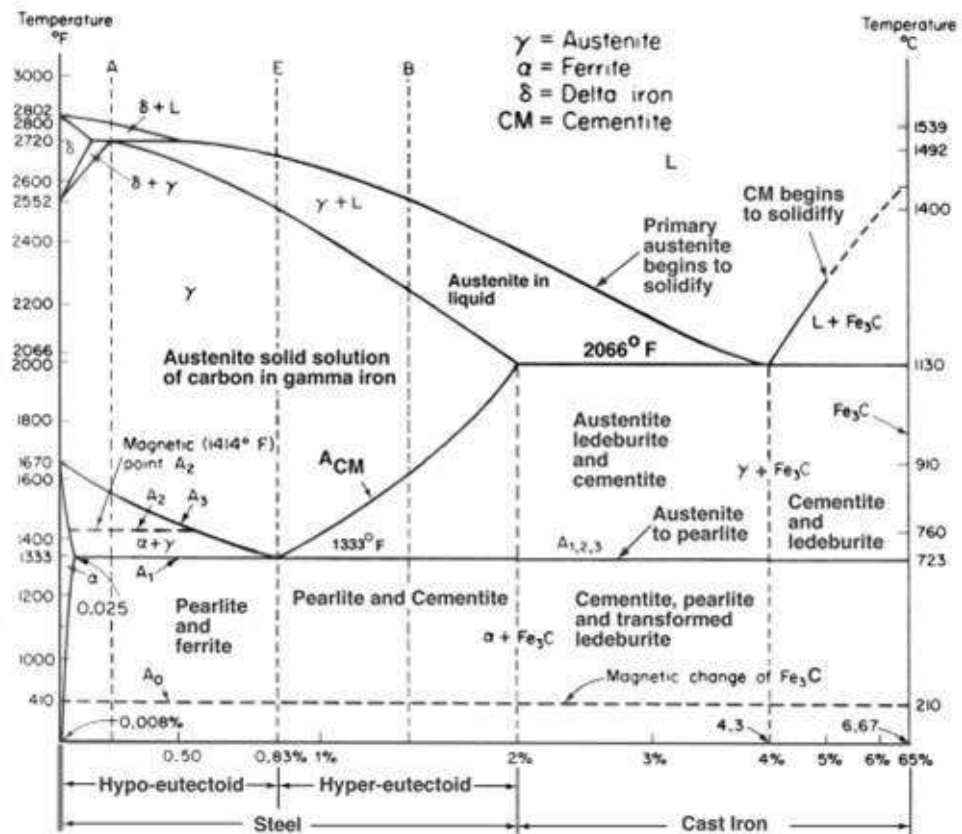
Baja karbon adalah paduan antara unsur besi dan karbon (paling dominan) dengan sedikit paduan Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbonnya, oleh karena itu baja karbon ini dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan persentase kadar karbonnya. Bila kadar karbon semakin tinggi, maka kekuatan dan kekerasannya juga akan bertambah tinggi, akan tetapi perpanjangannya menurun.

Untuk penelitian ini baja yang digunakan adalah plat ASTM A36. Plat ASTM A36 termasuk dalam golongan baja karbon rendah. Plat ASTM A36 didalam industri kelautan digunakan untuk struktur deck platform. Untuk pipa, ASTM A36 sering dipakai untuk pembuatan pipa transmisi minyak dan gas tekanan rendah.. Plat baja ASTM A36 mempunyai komposisi material,dan mechanic property yang ditunjukkan pada tabel dibawah berikut:

**Tabel 2. 1** Chemical Requirement ASTM A36

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

(Sumber: ASTM A36-04)



**Gambar 2. 2** Diagram fase Fe- Fe<sub>3</sub>C

(Sumber: Prasajo, 2012)

Baja ASTM A36 merupakan baja merupakan dengan kadar karbon rendah antara 0.05%-0.3% (Saito, 2000). Pada diagram fase Fe<sub>3</sub>C terdapat penjelasan bahwa baja karbon rendah merupakan baja *hypo-eutectoid* dan saat dipanaskan akan membentuk butir *ferlit* dan *perlit*. Bila baja ASTM A36 pada suhu 900 °C, baja dalam bentuk austenit. Jika suhunya turun *ferit* mulai tumbuh pada butir *austenit*. Ferit ini dinamakan *proeutectoid ferite*. Pendinginan selanjutnya menyebabkan bertambahnya jumlah *proeutectoid ferite* sampai semua batas butir *austenit* dipenuhi *proeutectoid ferite*. Pada suhu di bawah 723 °C sisa austenit berubah menjadi *perlit*. Transformasi *martensit* berlangsung tanpa difusi dimana tidak terjadi redistribusi atau pertukaran atom. Terbentuknya *fasa martensit* akan menyebabkan terjadinya cacat retak hidrogen karena suhu yang rendah dan laju pendinginan yang cepat.

## 2.5 Sel Elektroda

Elektroda karbon maupun logam pada umumnya digunakan dalam jenis las busur. Kedua jenis elektroda tersebut mengalirkan arus listrik antara elektroda dan busur listrik. Pada alas busur elektroda logam, elektroda juga merupakan sumber logam pengisi. Elektroda dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu elektroda yang terbungkus dan tidak terbungkus.

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan dalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS A5.1 (*Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- XX : Dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
  - Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
  - Angka 2 untuk posisi datar dan dibawah tangan
  - Angka 3 untuk pengelasan posisi dibawah tangan
- X : Angka keempat menyatakan jenis selaput dan arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

**Tabel 2. 2** Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS - ASTM	Jenis Fluks	Posisi *) Pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaksanakan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E6010 .....	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011 .....	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012 .....	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013 .....	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020 .....	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
E6027 .....	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
Kekuatan tarik terendah kelompok E 70 setelah dilaksanakan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E7014 .....	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015 .....	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016 .....	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018 .....	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024 .....	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028 .....	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS - ASTM	Kekuatan Tumbuk Terendah
E6010, E6011 .....	
E6027, E7015 .....	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016, E7018 .....	
E7028 .....	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6012, E6013 .....	
E6020, E7014 .....	tidak disyaratkan
E7024 .....	

\*) Arti simbol:  
 F = datar  
 V = vertikal  
 OH = atas kepala  
 H = horizontal  
 H-S = horizontal las sudut

(Sumber: Wiryosumarto, 1996)

Elektroda yang akan digunakan adalah E6010, jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Elektroda E6010 merupakan elektroda jenis selulosa yang mendapatkan *heat input* yang tinggi saat pengelasan, elektroda ini disebut las panas (Okumura, 2000). Pengelasan dapat dilakukan pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dibersihkan dengan mudah. Deposit las biasanya mempunyai sifat mekanik yang baik dan dapat dipakai untuk pekerjaan dengan pengujian Radiografi. Selaput selulosa dengan kebasahan 5% pada waktu pengelasan akan menghasilkan gas pelindung. Menurut AWS A5.1 memiliki klasifikasi E6010 sebagai berikut:



- E : Elektroda busur listrik
- 60 : Kekuatan minimum sebesar 60.000 Psi
- 1 : Posisi pengelasan *all position*
- 0 : Dapat digunakan pada arus searah (DC)

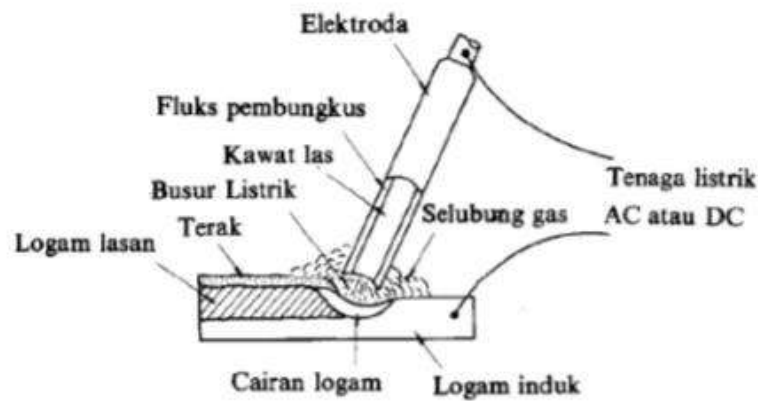
Selain menggunakan elektroda E6010, akan digunakan juga elektroda E6013 yang sering digunakan pada *underwater welding* karena memiliki pelapis yang tahan air (Feelus, 2000). Serta mudah di gunakan walaupun menggunakan arus yang tinggi. Menurut AWS A5.1 (*Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*) mengenai elektroda E6013 adalah sebagai berikut:

- E : Elektroda busur listrik
- 60 : Kekuatan minimum sebesar 60.000 Psi
- 1 : Posisi pengelasan *all position*
- 3 : Dapat digunakan pada arus bolak-balik (AC) dan searah (DC)

## 2.6 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Proses pengelasan menggunakan mesin SMAW sering disebut sebagai Las Listrik karena mesin tersebut dapat menggunakan tiga macam jenis arus yaitu arus searah atau *Direct Current* (DC), arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan arus ganda yang dapat menggunakan arus searah dan arus bolak-balik. Untuk pengelasan dalam air digunakan arus searah (DC) dengan polaritas *-ve*.

Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutup negatif.



**Gambar 2. 3** Pengelasan SMAW  
(Sumber: Wiryosumarto, 2008)

## 2.7 Underwater Shielded Metal Arc Welding

Pada pengelasan bawah air, elektroda khusus digunakan dalam pengelasan ini dan las digunakan secara manual. Elektroda yang biasa disesuaikan dengan klasifikasi AWS A5.1 (*Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*) elektroda harus tahan air, semua bagian harus terlindungi sehingga logam tidak terkontaminasi dengan air. Jika pelindung mengalami kebocoran, maka air akan masuk dan konduktor logam akan terkontaminasi sehingga tidak dapat digunakan untuk proses pengelasan dan akan terjadi kerusakan yang cepat pada kabel saat terjadi kebocoran.

Pengelasan dalam air dapat menyebabkan kebebasan gerak meningkat, hal ini membuat wet welding menjadi metode pengelasan yang ekonomis, efektif, dan efisien. Pada proses pengelasan basah, catu daya diletakkan di atas permukaan air dimana tenaganya disalurkan lewat kabel dan hoses. Catu daya harus diletakkan grounded pada kapal. Arus yang digunakan adalah arus DC dengan polaritas  $-ve$ . Knife switch pada sirkuit elektroda harus bisa memutuskan segala aliran listrik sewaktu – waktu jika dibutuhkan. Sumber energi berarus searah dengan arus antara 300 – 400 ampere. Mesin las generator merupakan mesin las yang paling sering digunakan pada pengelasan basah. Holding

electrode khusus dengan tambahan pelindung digunakan dalam pengelasan ini. (Joshi, 2002).

Keuntungan dari wet welding SMAW antara lain sebagai berikut:

1. Serbaguna dan rendah biaya, menyebabkan metode ini sangat diminati.
2. Keuntungan lainnya adalah kecepatan, dimana pengoperasiannya mudah dipindahkan.
3. Biaya lebih sedikit (lebih mudah) dibanding dry welding.
4. Welder dapat meraih lebih banyak bagian pada offshore platform dibandingkan pengelasan dengan metode lain.
5. Tidak ada waktu yang terbuang. Peralatan dan mesin las standart telah tersedia. Peralatan untuk mobilisasi pekerjaan las basah minimal.

Sedangkan kerugian dari wet welding SMAW antara lain:

1. Laju pendinginan cepat karena bersinggungan langsung dengan air.
2. Kegetasan; hidrogen dalam jumlah besar pada daerah lasan terjadi karena buih pengelasan, H<sub>2</sub> mempengaruhi Heat Affected Zone (HAZ) dan logam lasan sehingga menyebabkan kegetasan, keretakan, kerusakan kecil. Keretakan dapat menyebar menjadi kerusakan global pada struktur.
3. Kekurangan lain adalah keterbatasan penglihatan oleh pengelas atau penyelam sehingga sulit mengelas dengan baik.

## **2.8 Pengujian Impact**

Tujuan utama dari pengujian impact adalah untuk mengukur kegetasan atau keuletan bahan terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian impact adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba). Ada dua macam pengujian impact yaitu Charpy dan Izod. Perbedaan Charpy dengan Izod adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan Charpy lebih akurat karena pada Izod, pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu diserap material seutuhnya.

Pada spesimen yang telah dilakukan pengujian impak, akan dapat diketahui jenis patahan yang dihasilkan. Adapun jenis-jenis patahan tersebut antara lain:

#### 1.Patahan Getas

Ciri-ciri patahan getas adalah memiliki permukaan rata dan mengkilap, apabila potongan ini disambung kembali maka kedua potongan ini akan menyambung dengan baik dan rapat. Hal ini disebabkan pada saat proses patahnya, spesimen tidak mengalami deformasi. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impak yang rendah.

#### 2.Patahan Liat

Ciri-ciri permukaan patahan jenis ini tidak rata dan tampak seperti beludru, buram dan berserat. Jika potongan disambungkan kembali maka sambungan tidak akan rapat. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impak yang tinggi, karena sebelum patah bahan mengalami deformasi terlebih dahulu.

#### 3.Patahan Campuran

Ciri-cirinya patahan jenis ini adalah permukaan patahan sebagian terdiri dari patahan getas dan sebagian yang lain adalah patahan liat.

Mesin uji *impact* digunakan untuk mengetahui harga impak suatu bahan yang di akibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. Tipe dan bentuk konstruksi mesin uji bentur beraneka ragam mulai dari jenis konvensional sampai dengan system digital yang lebih maju. Dalam pembebanan statis dapat juga terjadi laju deformasi yang tinggi kalau bahan di beri takikan, maka tajam kakikan makin besar deformasi yang terkonsentrasikan pada takikan, yang memungkinkan meningkatkan laju regangan beberapa kali lipat, patah getas menjadi permasalahan penting pada baja dan besi.

Harga *impact* dapat diketahui dengan rumus berikut:

$$I = E/A \quad (2.1)$$

Dimana :

I = Nilai keetangguhan *impact* (Joule/mm<sup>2</sup>)

E = Energi yang diserap (Joule)

A = Luas penampang dibawah takikan (mm<sup>2</sup>)



**Gambar 2. 4** Mesin Charpy untuk pengujian *Impact*

## 2.9 Pengujian *Non-Destructive Test Radiography*

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian *Non-Destructive Test* (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian bahan dengan tidak merusak bahan yang diuji baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Tujuannya untuk mengetahui kualitas barang atau bahan yang merupakan salah satu cara pengendalian dalam memenuhi standard yang ditetapkan. Pengujian dengan metode radiografi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam NDT. Metode radiografi mempunyai daya

penetrasi dan penyerapan dari radiasi sinar-x dan sinar  $\gamma$  (gamma), maka radiografi dapat digunakan untuk memeriksa pada sambungan las.

Keuntungan dari pemeriksaan radiografi meliputi:

- a. Dapat digunakan untuk berbagai material
- b. Menghasilkan visual image yang permanen
- c. Dapat memperlihatkan kondisi asli bagian dalam material
- d. Dapat memperlihatkan bentuk cacat.

Kerugian / keterbatasan dari pemeriksaan radiografi meliputi :

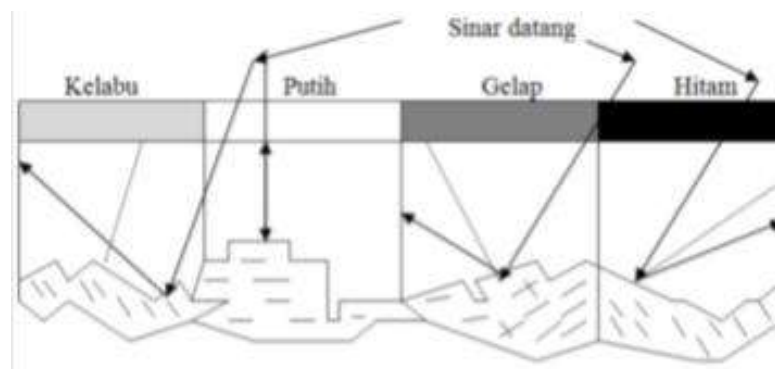
- a. Tidak praktis digunakan pada spesimen – spesimen yang mempunyai bentuk geometris beragam / kompleks
- b. Pertimbangan keselamatan dan kesehatan dari bahaya yang ditimbulkan sinar x dan sinar  $\gamma$  (gamma) harus dipikirkan
- c. Peralatan yang digunakan relatif mahal
- d. Memerlukan operator yang benar-benar pengalaman
- e. Setiap operator atau pekerja harus berlisensi

## **2.10 Pengujian Metalografi**

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya tersebut. Ada beberapa metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi (sinar-X, elektron dan neutron), analisis (X-ray fluorescence, elektron mikroprobe) dan juga stereometric metalografi. Pada praktikum metalografi ini digunakan metode mikroskop, sehingga pemahaman akan cara kerja mikroskop, baik optik maupun elektron perlu diketahui. Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang).

Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondenser, lalu sinar datang itu menuju glass plane yang akan memantulkan sinar datang itu menuju spesimen. Sebelum

mencapai spesimen sinar datang itu melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati.



**Gambar 2. 5** Pantulan sinar pada pengujian metalografi  
(Sumber: Widharto, 2007)

Pengamatan metalografi dengan mikroskop umumnya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10 – 100 kali.
2. Metalografi mikro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 – 500 kali.

Pengujian makro (makroscope test) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam). Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sebelum dilakukan pengamatan metalografi, spesimen uji terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan beberapa tahapan. Tahapan yang harus dilalui adalah pemotongan spesimen, grinding, polishing, etsa, pembersihan dan pengeringan. Proses grinding dan polishing merupakan proses yang penting untuk membuat permukaan sampel menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan pengujian. Pada proses ini biasa digunakan sebuah mesin poles yang memiliki komponen utama berupa motor penggerak, piringan logam, dan keran air. Pada pengujian kali ini digunakan sebuah motor penggerak berupa motor listrik yang akan berfungsi sebagai penggerak dua piringan logam.

### **2.11 Pengujian Kekerasan Vickers**

Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanis dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (frictional force) dan deformasi plastis. Deformasi plastis adalah suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal. Lebih ringkasnya kekerasan itu dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan/material untuk menahan beban induksi atau penetrasi (penekanan).

Uji keras dilakukan untuk mendapatkan sifat kekerasan material. Kekerasan biasanya dapat dinyatakan dalam tiga skala yaitu Brinell, Rockwell, atau Vickers. Perbedaan utama dari ketiga skala ini adalah pada beban dan indenter yang digunakan dalam pengukurannya. Masing-masing skala ini mempunyai kelebihan dimana Vickers hanya butuh satu setup pengujian untuk semua material, Rockwell akan memberikan kesalahan operator yang lebih kecil karena tidak perlu mikroskop, sedangkan Brinell dapat dengan mudah dikonversikan kedalam kekuatan ultimate-nya.



Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter berbentuk piramida intan dengan berbentukdasar bujur sangkar dengan besar sudut  $136^\circ$  terhadap kedua sisi yang berhadapan. Besar sudut itu digunakan karena merupakan perkiraan rasio terideal indentasi diameter bola uji brinell. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg yang disesuaikan dengan tingkat kekerasan material specimen. Uji kekerasan Vickers sesuai dengan standar ASTM E92.

Prinsip dari uji kekerasan Vickers:

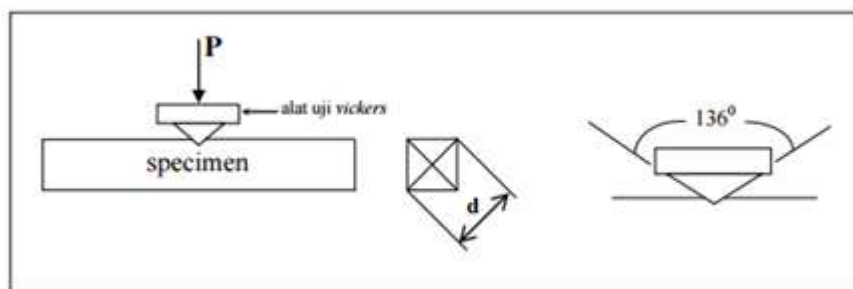
$$VHN = \frac{2p \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1.854)P}{d^2} \quad (2.2)$$

Dimana :

P = Beban (kg)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = Sudut piramida  $136^\circ$



**Gambar 2. 6** Skema pengujian kekerasan *Vickers*

(Sumber: Prasajo, 2012)

## 2.12 Pengujian Tarik

*Tensile Strength* (UTS) merupakan kemampuan maksimum material dalam menahan beban. Titik luluh atau *yield point* yakni dimana logam mengalami pertambahan panjang tanpa pertambahan beban yang berarti. Dengan kata lain titik luluh merupakan keadaan dimana spesimen terdeformasi dengan beban minimum. Untuk bahan yang tidak memiliki mulur yang baik, maka menggunakan metode penggeseran atau *offset method*.

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan ini bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi.

Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap material uji (spesimen) yang standar. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk sesuai standar. Pada bagian tengah dari batang uji (pada bagian yang paralel) merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform dan pada bagian ini diukurkan “panjang uji” (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pengaruh dari pembebanan, bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material, khususnya logam diantara sifat-sifat mekanis yang dapat diketahui dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik
2. Kuat luluh dari material
3. Keuletan dari material

Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.3)$$

Di mana:

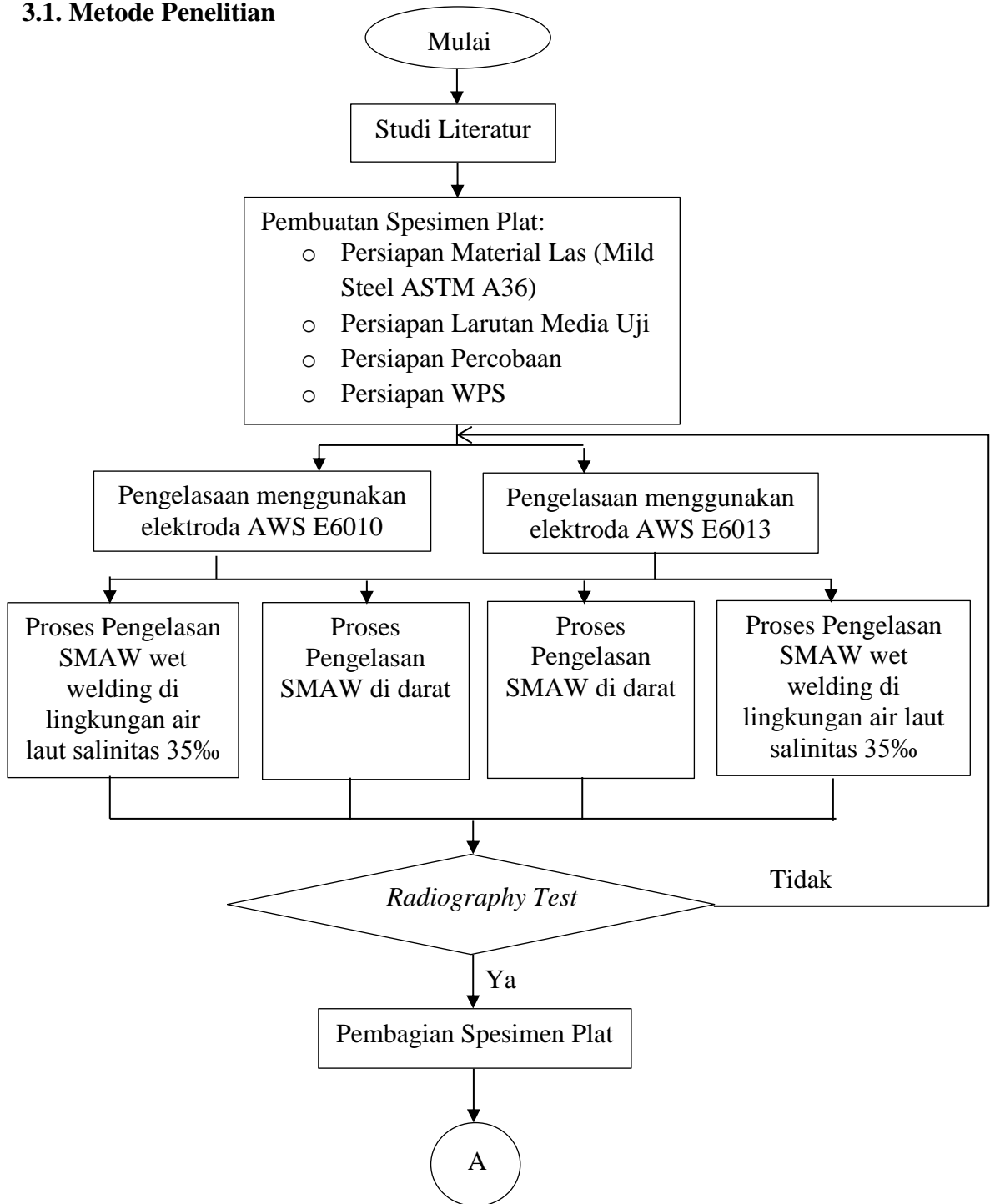
F = beban (kg)

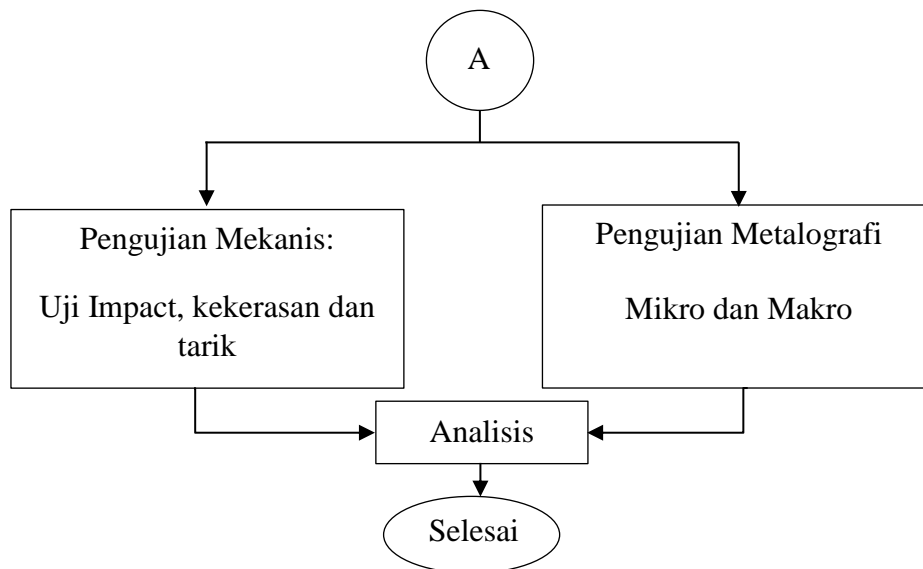
A<sub>0</sub> = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Metode Penelitian





**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

## 3.2. Prosedur Penelitian

### 3.2.1 Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dengan mengumpulkan literatur dari berbagai sumber untuk dijadikan acuan dan referensi tugas akhir ini. Literatur tersebut diperoleh dari:

- a. penelitian sebelumnya
- b. buku yang relevan
- c. jurnal
- d. internet

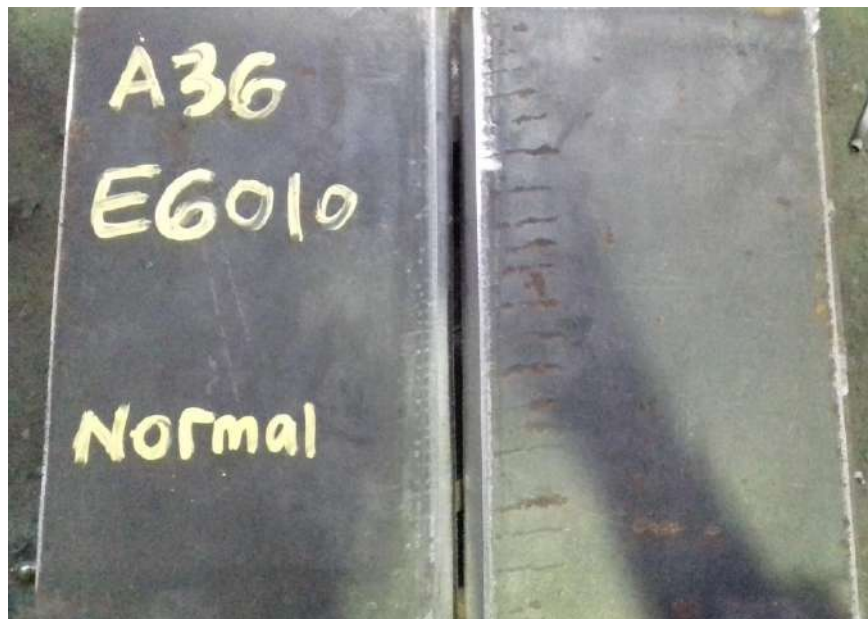
### 3.2.2 Pembuatan Spesimen Plat

- a. Persiapan Material Las Material yang akan diuji adalah plat baja jenis mild steel ASTM A36. Spesimen uji dibuat berbentuk persegi empat dengan ukuran:
  - Tipe : ASTM A36
  - Panjang : 250 mm
  - Lebar : 150 mm
  - Tebal : 12 mm

- Kampuh : Single V-groove



**Gambar 3. 2** Kampuh *Single V-groove* sebelum pengelasan



**Gambar 3. 3** Plat Baja A36 yang akan digunakan dalam penelitian

- b. Persiapan Larutan Media Uji

Pada penelitian ini, digunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut. Komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standart ASTM D1141 *Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water* yakni pada salinitas 35‰

**Tabel 3. 1** Komposisi kimia pengganti air laut

Salinitas (%)	NaCl (g/L)	MgCl <sub>2</sub> (g/L)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/L)	CaCl <sub>2</sub> (g/L)	KCl (g/L)	NaHCO <sub>3</sub> (g/L)	KBr (g/L)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (g/L)	SrCl <sub>2</sub> (g/L)	NaF (g/L)
35 ‰	23,78	5,03	3,96	1,12	0,673	0,195	0,097	0,0264	0,024	0,003

(Sumber: ASTM D1141-98)

c. Pesiapan Percobaan

Persiapan spesimen uji dan bahan penelitian:

- Material Plat baja ASTM A36.
- Persiapan peralatan pada proses pengelasan SMAW
  - Mesin las tipe SMAW
  - Elektrode
  - Gerinda
  - Sikat baja
  - Palu
  - Penjepit baja
  - Sarung tangan
  - Helm pelindung
  - Kostum praktikum
  - *Stopwatch*
  - Ampere meter
- Persiapan WPS

WPS dipersiapkan sebagai kualifikasi tertulis dari prosedur pengelasan yang digunakan sebagai panduan untuk mendapatkan hasil yang sesuai.

### 3.2.3 Proses Pengelasan SMAW

Proses pengelasan ini berlokasi di Laboratorium Teknologi Produksi Departemen Teknik Perkapaln FTK-ITS. Pengelasan ini bertujuan untuk menggabungkan dua buah pelat hingga membentuk sebuah spesimen yang nantinya akan dihasilkan sambungan las guna diujikan pada langkah pengerjaan

berikutnya. Prosedur pengelasan mengacu pada *Welding Procedure Specification* (WPS).

Langkah-langkah pengelasan darat:

- a. Menggunakan track weld agar material las tidak bergerak
- b. Alur las dihaluskan dengan gerinda
- c. Persiapkan mesin las dengan elektroda E6010
- d. Proses pengelasan dapat dilakukan
- e. Setelah satu layer selesai maka permukaan las dibersihkan dari kerak las menggunakan sikat baja dan palu.
- f. Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membenruk alur las bagi layer kedua.
- g. Ulangi langkah d, e, dan f untuk layer kedua, layer ke 3, dan layer ke 4 dan ke 5
- h. Untuk pengelasan pada dengan elektroda E6013 dilakukan langkah e sampai g tetapi mengubah elektrodanya menjadi E6013.

Proses pengelasan *underwater* dilakukan dalam bak yang berisi larutan media uji ASTM D1141-98 dan secara umum memiliki proses pengelesan:

- a. Menggunakan track weld agar material las tidak bergerak
- b. Alur las dihaluskan dengan gerinda
- c. Persiapkan mesin las dengan elektroda E6010
- d. Proses pengelasan dilakukan dalam bak dengan larutan uji salinitas 35‰
- e. Setelah satu layer selesai maka permukaan las dibersihkan dari kerak las menggunakan sikat baja dan palu.
- f. Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membenruk alur las bagi layer kedua.
- g. Ulangi langkah d, e, dan f untuk layer kedua, layer ke 3, dan layer ke 4 dan ke 5
- h. Untuk pengelasan pada dengan elektroda E6013 dilakukan langkah e sampai g tetapi mengubah elektrodanya menjadi E6013.



Bagi variasi elektroda dalam langkah c diubah menjadi elektroda E6013 lalu ulangi lagi langkah dari d hingga i.

### 3.2.4 Pengujian NDT (*Radiography Test*)

Setelah proses pengelasan dilakukan inspeksi atau pengujian. Pengujian secara *Non Destructive Test* (NDT) dengan menggunakan *Radiographic Testing* yang berpedoman kepada AWS D1.2. Pengujian radiografi ini dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V No.25, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur.



**Gambar 3. 4** Alat Radiografi Test

### 3.2.5 Pembagian Spesimen Plat

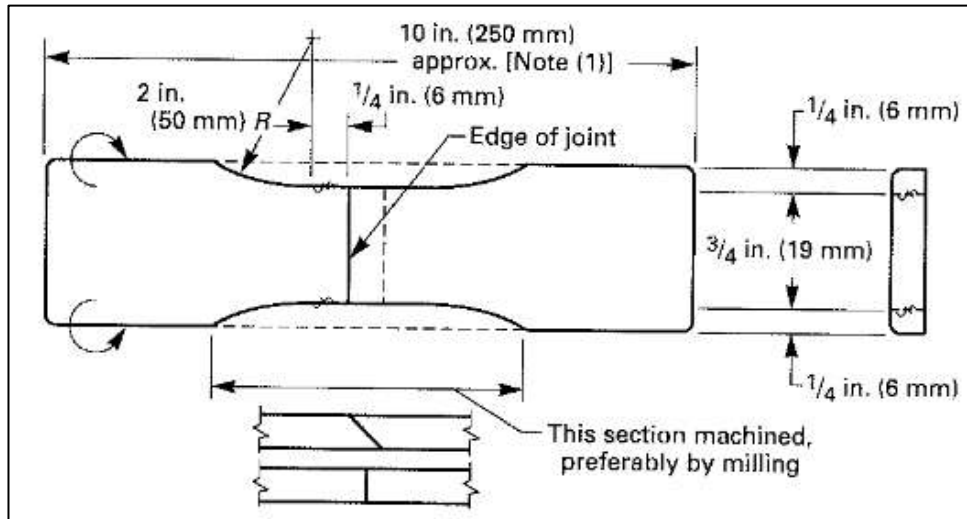
Spesimen akan dibagi sesuai dengan standar pengujian mekanis dan metalografi yang akan dilakukan. Akan diambil masing-masing 2 spesimen dari plat yang telah dilas. Dalam pembuatan spesimen sesuai yang dibutuhkan maka yang harus dilakukan adalah pemotongan material menjadi kecil sesuai ukuran yang dibutuhkan, mesin yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5. Kemudian dilakukan pemotongan dan pengamplasan menggunakan gerinda. Untuk uji metalografi dan kekerasan dilakukan pengamplasan dengan mesin *polishing*. Pembuatan specimen akan dijelaskan pada pembahasan di bawah:



**Gambar 3. 5** Mesin Pemotong Hidrolik

### 3.2.5.1 Spesimen Uji Tarik

Pada pengujian tarik, spesimen yang dibuat menggunakan standar ASME *Section IX*. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik dari material dan mengetahui kualitas hasil las-lasan. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk sesuai standar. Pada bagian tengah dari batang uji (pada bagian yang paralel) merupakan bagian yang menerima tegangan yang *uniform* dan pada bagian ini diukurkan “panjang uji” (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pengaruh dari pembebanan, bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian. Material hasil pengelasan dipotong menggunakan mesin potong sesuai ukuran yang dibutuhkan untuk uji tarik. Penghalusan mahkota lasan dan pembuatan “panjang uji” (*gauge length*) dengan gerinda.



**Gambar 3. 6** Spesifikasi specimen uji Tarik

(Sumber: ASME Section IX)



**Gambar 3. 7** Spesimen untuk Uji Tarik

### 3.2.5.2 Spesimen Uji Kekerasan

Untuk persiapan uji kekerasan prosedur ASTM E92 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*
2. Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*
3. Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*

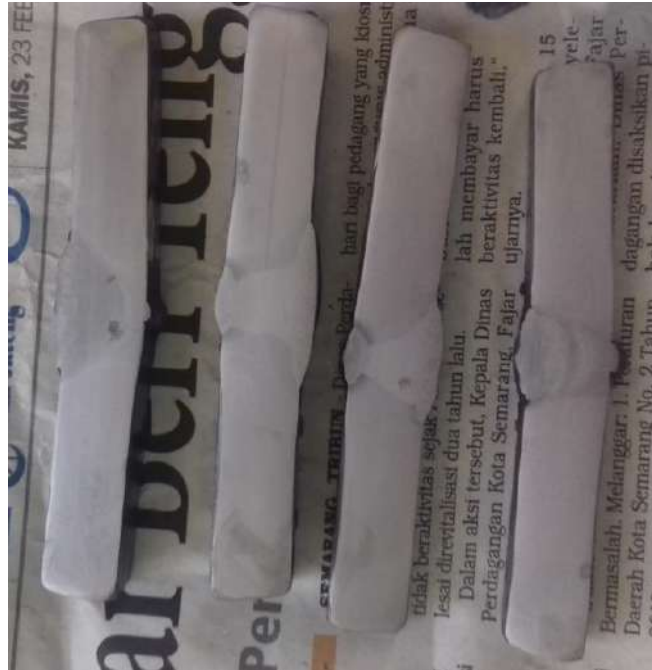
Dari ketiga metode yang tersebut di atas, pada kasus ini digunakan jenis pengujian kekerasan *Vickers*. Dari pengujian *Vickers* ini sangat sering digunakan

karena kepresisian dari indentor berlian piramidanya yang bisa digunakan untuk mengindentasi daerah yang sempit.

Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut kita dapat mengetahui apakah material *ductile* atau *brittle*. Makin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut makin *brittle*. Spesimen yang telah di potong akan di *polish* hingga amplas *grade 600* dan bila sudah dirasa cukup halus maka material uji diolesi dengan cairan etsa atau natal 3% (100 ml alcohol + 3 ml HNO<sub>3</sub>) menggunakan kain wol kemudian dikeringkan.



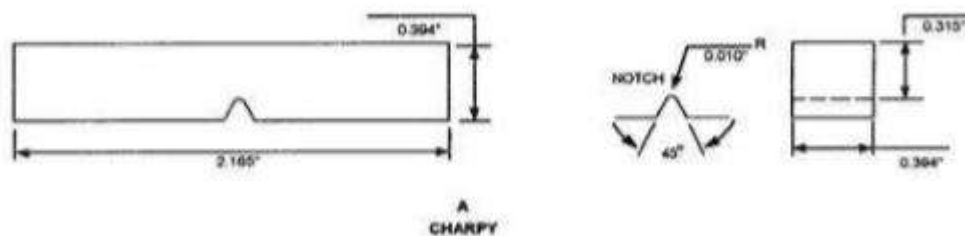
**Gambar 3. 8** Menghaluskan spesimen dengan *polisher*



Gambar 3. 9 Spesimen Uji Kekerasan

### 3.2.5.3 Spesimen Uji *Impact*

Untuk persiapan specimen uji *Impact* specimen harus di potong dengan menjadi ukuran panjang 60mm. Dalam proses ini diperlukan mesin *surface scraping* untuk menghaluskan setiap sisi specimen hingga menjadi balok. Mesin scrap digunakan untuk membuat *notch* sedalam 2mm pada specimen. Sebelum menggunakan mesin scrap specimen yang sudah menjadi balok di berikan larutan etsa agar HAZ dan *Weld Metal* terlihat sehingga dapat diberi tanda untuk letak *notch*.



Gambar 3. 10 Standar specimen uji *Impact*

(Sumeber: ASTM E-8M)



**Gambar 3. 11** Spesimen uji *impact*

#### **3.2.5.4 Spesimen Uji Metalografi**

Pada pengamatan ini dilakukan foto makro dan foto mikro untuk mengetahui struktur dari hasil las-lasan. Pengujian makro adalah pengujian dengan kamera yang dilakukan untuk mengetahui cacat las secara visual dengan sangat jelas dibagian dalam hasil pengelasan dan untuk mengetahui berapa layer yang terdapat pada hasil pengelasan. Sedangkan pengujian mikro adalah pengujian menggunakan alat mikroskop dengan pembesaran 100x dan 500x untuk mengetahui mikrostruktur dari material pengelasan yang sedang diamati. Sebelum dilakukan pengujian specimen terlebih dahulu perlu di *polish* hingga *grade* 2000 (berawal dari *grade* 80, 100, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 hingga 2000) kemudian specimen diolesi dengan cairan etsa atau natal 3% (100 ml alcohol + 3 ml HNO<sub>3</sub>) menggunakan kain wol kemudian dikeringkan.



**Gambar 3. 12** *Polish* menggunakan cairan etsa



**Gambar 3. 13** Spesimen uji Metalografi

Saat membuat spesimen arah pada tahap pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Bahan yang halus dan rata diberi autosol untuk membersihkan noda yang menempel pada bahan. Langkah terakhir sebelum dilihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan specimen kedalam larutan etsa dengan penjepit tahan karat dan permukaan menghadap keatas. Kemudian specimen dicuci, dikeringkan dan dilihat struktur mikronya.



### 3.2.6 Pengujian Mekanis

Pada pengujian mekanis akan dilakukan uji impact dan uji kekerasan pada specimen yang sama

#### a. Uji Impact

Prosedur yang perlu dilakukan:

1. Menyiapkan peralatan mesin impact Charpy.
2. Menyiapkan benda uji yang akan dilakukan pengujian sesuai standar ukuran yang telah ditetapkan.
3. Menghitung tebal actual dan lebar actual untuk mengetahui luas penampang dibawah takikan.
4. Meletakkan benda uji pada anvil dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan pendulum/ palu Charpy.
5. Menaikkan palu/ pendulum Charpy dengan menggunakan handle pengatur kemudian dikunci.
6. Putar jarum penunjuk sampai ke angka 0
7. Lepaskan kunci sehingga palu Charpy berayun membentur benda uji.

Cara ini dapat dilakukan dengan cara charpy, pendulum diarahkan pada bagian belakang takik dari batang uji. Sedangkan pada pengujian impact cara izod adalah pukulan pendulum diarahkan pada jarak 22 mm dari penjepit dan takikannya menghadap pendulum





**Gambar 3. 14** Mesin *Charpy* untuk pengujian *Impact*

b. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap material uji (spesimen) yang standar. Uji tarik adalah tes di mana sampel dipersiapkan ditarik sampai benda uji patah. Sampel uji tarik dalam pengelasan dapat mengungkapkan kekuatan tarik lasan, batas elastis, titik luluh, dan duktilitas. Batas elastis logam adalah batas tegangan (beban) yang menahan dan masih kembali ke panjang aslinya setelah beban dilepaskan. Kekuatan tarik lasan terjadi saat benda uji tidak kembali ke panjang aslinya. Duktilitas adalah kemampuan logam untuk meregangkan atau memanjang sebelum rusak. Mesin akan memberikan beban sampai spesimen terputus dan akan dicatat secara manual beban maksimumnya



**Gambar 3. 15** Mesin tarik

c. Uji Kekerasan

Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan *Vickers* antara lain:

1. 1 set mesin uji kekerasan *Vickers*
2. Spesimen uji kekerasan *Vickers*.
3. Identor *Vickers*.
5. Jangka sorong.
6. Tabel pengamatan dan alat tulis

Setelah alat – alat yang dibutuhkan telah tersedia maka langkah – langkah yang dijalankan selanjutnya yaitu :

1. Setelah sepesimen uji makro yang telah dilakukan pengamatan selesai, maka spesimen ini dapat digunakan untuk pengujian kekerasan *Vickers*.

2. Setelah mesin siap maka spesimen diletakkan pada meja pengidentasian.
3. Setelah semua siap maka, benda uji ditempelkan ke indentor sebagai tahap *initial force* ke permukaan.
4. Setelah itu, beban diset pada range 10 kgf untuk pengujian *Vickers* ini. Kemudian tuas beban dilepas menandakan proses identasi sedang berlangsung.
5. Tuas ditahan sampai 15 detik maka akan didapat panjang diagonal 1, panjang diagonal 2 dan nilai HVN secara otomatis.
6. Kemudian dipindah ke daerah selanjutnya yang akan diidentifikasi.
7. Daerah – daerah yang perlu dilakukan proses identasi antara lain yaitu *weld metal*, *HAZ*



**Gambar 3. 16** Alat *Vicker Hardness*

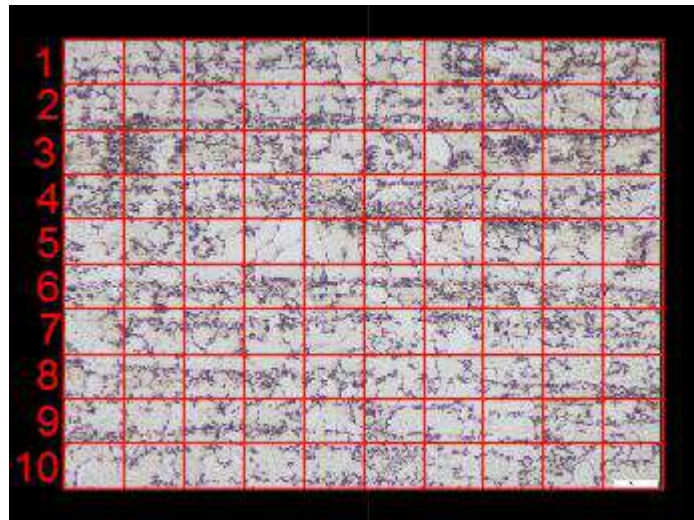
### **3.2.7 Pengujian Metalografi**

Uji Metalografi dilakukan sesuai dengan ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*.

Langkah-langkah:

1. Siapkan specimen yang akan di uji metalografi
2. Melakukan pengujian makro mrnggunakan kamera
3. Setelah pengujian makro selesai dilanjut dengan pengujian mikro menggunakan mikroskop
4. Spesimen diletakkan pada bidang uji dan dilakukan penyesuaian terhadap bagian mana yang ingin diteliti dari specimen yaitu logam induk, HAZ, dan logam lasan fokus kamera dan perbesaran kamera yang diinginkan yaitu 100x dan 500x

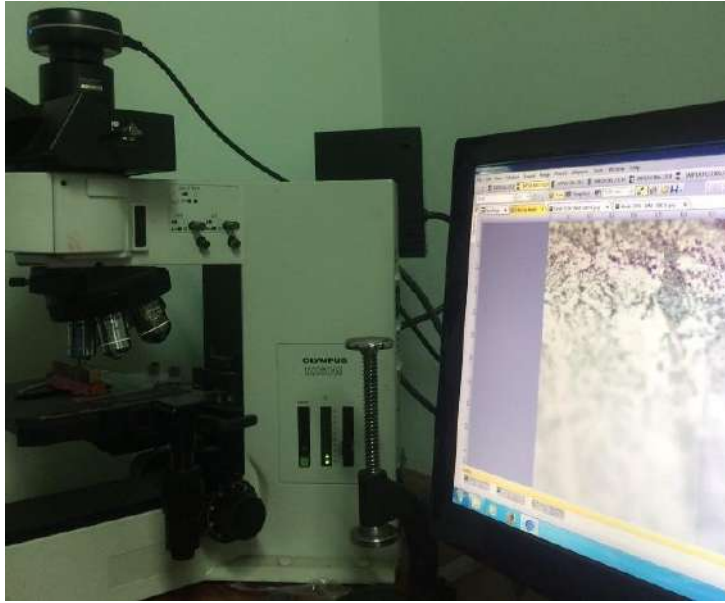
Setelah mendapatkan foto maka akan di lakukan perhitungan dengan metode *point counting* dimana melakukan perhitungan jumlah titik yang ada dalam suata fasa lalu di bagi dengan jumlah seluruh titik.



**Gambar 3. 17** Perhitungan komposisi mikro dengan metode *point counting*

Setelah mendapatkan foto dapat melakukan langkah berikut:

1. Membagi gambar 3.17 menjadi 100 kotak kecil (10 x 10)
2. Pada setiap titik pada kotak dihitung bagian *ferit* (putih) dan *perlit* (gelap) diperoleh 100 titik *ferit* dan *perlit* pada satu kotak.
3.  $\%Ferrite = \frac{\sum Ferrit}{100} \times 100\%$
4.  $\%Perlite = \frac{\sum Perlit}{100} \times 100\%$
5. Lalu dihitung rata-rata pada *ferrit* dan *perlit*.



**Gambar 3. 18** Pengujian metalografi mikro

## BAB 4

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Pengelasan yang dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yaitu SAW dan FCAW pada material ASTM A36 300mmx150mmx12mm dengan parameter pengelasan dan WPS (*Welding Procedure Specification*) sebagai berikut :

##### 4.1.1 Pengelasan dengan Elektroda E6010

Spesifikasi Material	: ASTM A – 36
Dimensi	: 250 mm x 150 mm x 12 mm
Proses Pengelasan	: SMAW
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: E 6010
Arus Pengelasan	: DC SP
<i>Shielding Gas</i>	: –
<i>Welder</i>	: Pardi ( <i>Welder Jurusan Teknik Perkapalan</i> )

**Tabel 4. 1** Parameter Pengelasan Darat E6010

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (menit)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E6010	3.2	DCRP	87	30-34	66.67
2	SMAW	E6010	3.2	DCRP	105	40-43	102.88
3	SMAW	E6010	3.2	DCRP	123	40-42	125
4	SMAW	E6010	3.2	DCRP	93	40-42	80.12
5	SMAW	E6010	3.2	DCRP	95	39-41	93.63





**Gambar 4. 1 Hasil Pengelasan Darat E6010**

Tabel dibawah merupakan WPS bagi pengelasan bawah air yang menggunakan elektroda E6010.

**Tabel 4. 2 Parameter Pengelasan *Underwater* E6010**

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (menit)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E6010	3.2	DCRP	69	46-49	51.33
2	SMAW	E6010	3.2	DCRP	119	47-49	115.2
3	SMAW	E6010	3.2	DCRP	121	47-49	132.97
4	SMAW	E6010	3.2	DCRP	109	48-50	93.63
5	SMAW	E6010	3.2	DCRP	108	46-49	2504.6



**Gambar 4. 2 Hasil Pengelasan *Underwater* E6010**

#### 4.1.2 Pengelasan dengan Elektroda E6013

Spesifikasi Material	: ASTM A – 36
Dimensi	: 250 mm x 150 mm x 12 mm
Proses Pengelasan	: SMAW
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: E 6013
Arus Pengelasan	: DC SP
<i>Shielding Gas</i>	: –
<i>Welder</i>	: Pardi ( <i>Welder Jurusan Teknik Perkapalan</i> )

**Tabel 4. 3** Parameter Pengelasan Darat E6013

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (menit)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E6013	3.2	DCRP	96.5	22-24	102.04
2	SMAW	E6013	3.2	DCRP	139	26-28	144.51
3	SMAW	E6013	3.2	DCRP	144	25-27	142.85
4	SMAW	E6013	3.2	DCRP	144	25-28	126.26
5	SMAW	E6013	3.2	DCRP	142	27-29	102.88



**Gambar 4. 3** Hasil Pengelasan Darat E6013

Tabel dibawah merupakan WPS bagi pengelasan bawah air yang menggunakan elektroda E6013



**Tabel 4. 4** Parameter Pengelasan *Underwater* E6013

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (menit)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E6013	3.2	DCRP	64	28-32	40
2	SMAW	E6013	3.2	DCRP	86	34-38	89.28
3	SMAW	E6013	3.2	DCRP	85	28-32	89.29
4	SMAW	E6013	3.2	DCRP	84	28-32	36.76
5	SMAW	E6013	3.2	DCRP	83	29-31	56.43



**Gambar 4. 4.** Hasil Pengelasan *Underwater* E6013

### 4.1.3 Heat Input

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan sehingga menghasilkan masukan panas atau *heat input*. Rumus untuk mendapatkan *heat input* terdapat pada ASME IX, sebagai berikut:

$$HI = \frac{\text{Voltage} \times \text{Ampere} \times 60}{\text{Travel Speed}} \quad (4.1)$$

Tabel dibawah merupakan hasil dari *heat input* tiap layer pada pengelasan menggunakan elektroda E6013 dan E6010 pengelasan bawah air.

**Tabel 4.5** *Heat Input* pada pengelasan bawah air

Layer	Heat Input (Joule/mm)	
	E6013 UW	E6010 UW
1	2880	3871.07
2	2080.51	2974.81
3	1713.6	2620.57
4	4112.64	3422.51
5	2647.37	124.184
Rata-rata	2686.82	2602.63

Tabel 4.6 merupakan tabel hasil *heat input* pada pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 dan E6010.

**Tabel 4.6** *Heat Input* pada pengelasan darat

Layer	Heat Input (Joule/mm)	
	E6013 D	E6010 D
1	1305.07	2505.6
2	1558.25	2571.912
3	1572.48	2420.64
4	1847.58	2855.17
5	2318.8	2435.04
Rata-rata	1720.43	2557.67

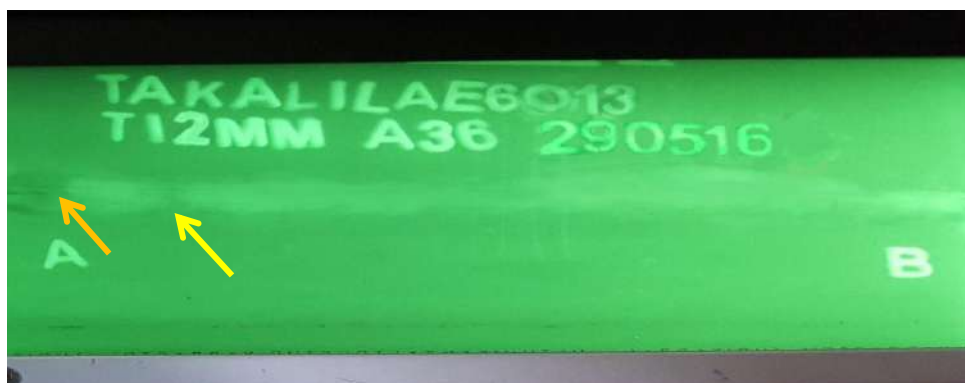
Untuk pengelasan bawah air dengan elektroda E6013 mendapat rata-rata hasil *heat input* 2686.82 Joule/mm dan pengelasan menggunakan elektroda E6010 2602.63 Joule/mm. Pada pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 mendapatkan rata-rata 1720.43 Joule/mm sedangkan pengelasan menggunakan elektroda E6010 memiliki rata-rata 2557.67 Joule/mm. Semakin banyaknya

masukannya dapat menyebabkan melebarnya daerah HAZ sehingga kualitas las menurun (Marinda, 2017).

#### 4.2 Uji Radiografi

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan inspeksi terhadap hasil pengelesan 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.

Hasil uji radiografi dilakukan untuk mengetahui cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan secara menyeluruh baik yang terdapat di permukaan las dan di dalam hasil pengelasan. Pada uji radiografi sinar yang digunakan adalah sinar x sinar  $\gamma$  (gamma). Hasil film radiografi dapat dilihat pada gambar di bawah ini



**Gambar 4. 5** Hasil uji Radiografi elektroda E6013 pada pengelasan bawah air

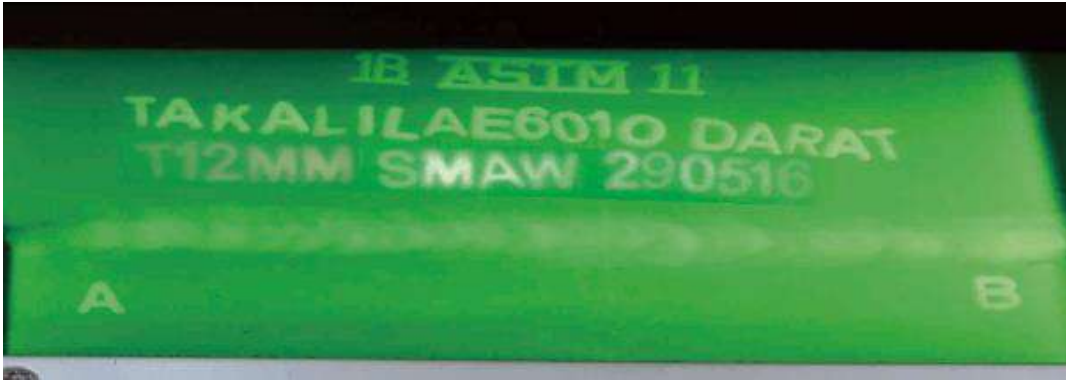


**Gambar 4. 6** Hasil uji Radiografi elektroda E6010 pada pengelasan bawah air

Pada gambar 4.5 terdapat cacat *undercut* dan *porosity* pada bagian ujung pengelasan dan pada gambar 4.6 terlihat bahwa terjadi *incomplete penetration* dan *porosity* pada hasil pengelasan bawah air dengan elektroda E6010 yang mengakibatkan pengelasan ini tidak di terima. Panah warna oranye menunjukkan cacat *undercut*, panah warna merah menunjukkan *incomplete penetration* dan panah warna kuning menunjukkan *porosity*. *Undercut* dapat terjadi karena besarnya arus yang digunakan saat pengelasan bawah air. *Porosity* terjadi akibat media air yang membuat munculnya gas oksigen dan hidrogen saat pengelasan. Sedangkan untuk *incomplete penetration* dapat terjadi karena ampere mesin las terlalu kecil. Cacat tersebut dapat disebabkan karena terganggunya *welder* saat ngelas akibat munculnya gelembung-gelembung gas dan karena pembakaran pelindung *flux* elektroda yang dapat menyebabkan air menjadi keruh. Tetapi setelah di *tracing* dapat diketahui daerah yang mengalami cacat sehingga daerah tersebut dapat dihindari saat melakukan pemotongan untuk spesimen uji. Menurut AWS D3.6M – *Underwater Welding Code* bila pada *visual examination* hasil pengelasan tidak terlihat crack maka pengelasan dapat digunakan.



**Gambar 4. 7** Hasil uji Radiografi elektroda E6013 pada pengelasan darat



**Gambar 4. 8** Hasil uji Radiografi elektroda E6010 pada pengelasan darat

Pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 menunjukkan bahwa pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 dan elektroda E6010 tidak mengalami cacat.

### 4.3. Pengujian Kekerasan Vickers

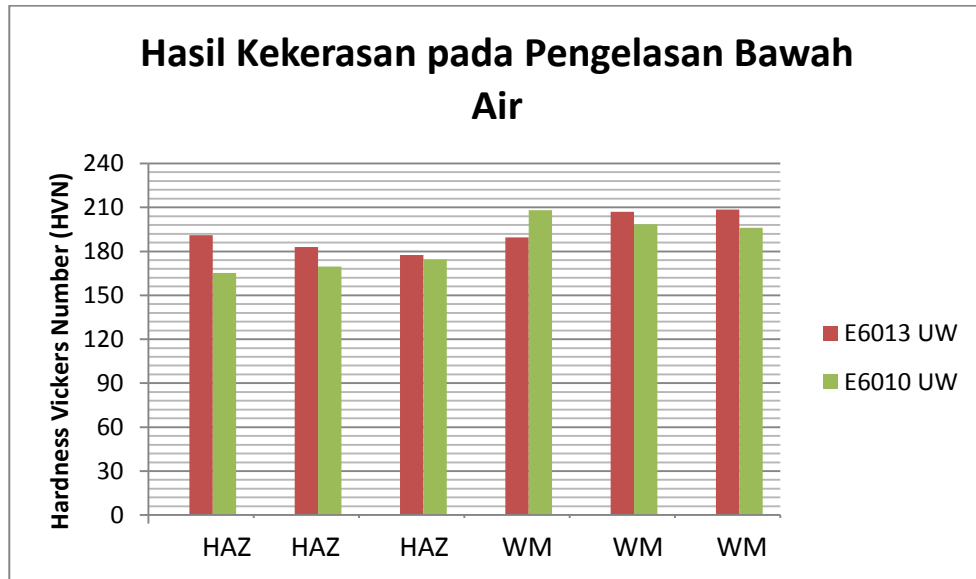
Pengujian kekerasan di laksanakan pada Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian kekerasan ini menggunakan jenis *Vickers Hardness*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan benda dalam menerima indentasi atau pembebanan.

#### 4.3.1 Pengujian Kekerasan Vickers pada Pengelasan Bawah Air

Untuk hasil pengujian *Vickers* pada pengelasan bawah air terdapat pada tabel dibawah.

**Tabel 4. 7** Hasil pengujian kekerasan di lingkungan laut

Kode	HAZ (HVN)			Weld Metal (HVN)		
	E6013 UW	191	183	177.4	189.5	206.9
E6010 UW	165.3	169.6	174.4	208	198.4	196.1



**Grafik 4. 1** Hasil uji kekerasan pada pengelasan bawah air

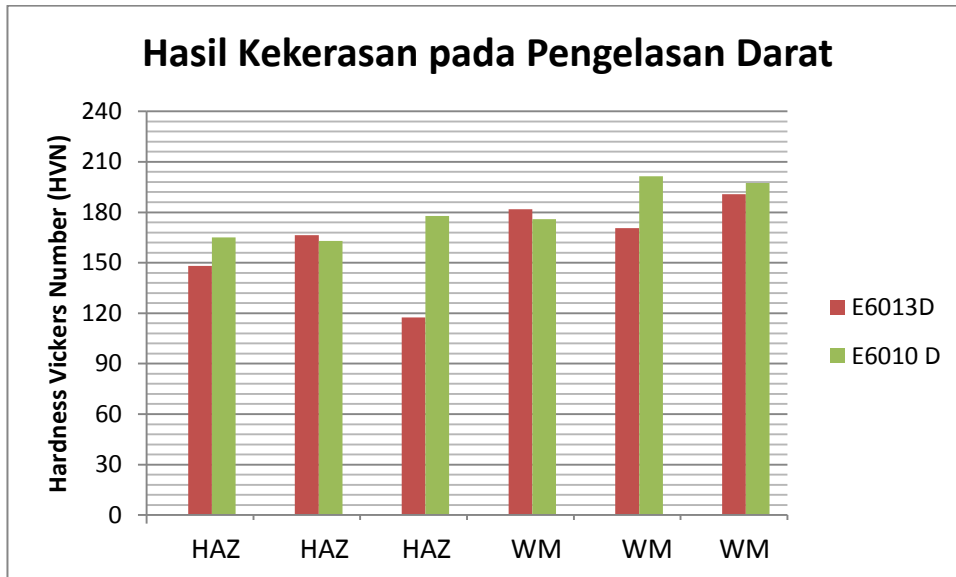
Dari hasil pengujian *Vickers Hardness* tersebut didapatkan bahwa specimen E6013 UW memiliki tingkat kekerasan yang tinggi pada bagian *Weld Metal* serta HAZ, 208.5 HVN dan 183HVN secara berurut. Sedangkan pada penggunaan elektroda E6010 mendapatkan hasil tertinggi pada *Weld Metal* 208 HVN dan pada HAZ 174.4 HVN.

#### 4.3.2 Pengujian Kekerasan Vickers pada Pengelasan Darat

Untuk hasil pengujian kekerasan SMAW di darat dapat dilihat pada tabel 4. dibawah ini:

**Tabel 4. 8** Hasil pengujian kekerasan di darat

Kode	HAZ (HVN)			Weld Metal (HVN)		
	E6013 D	148.2	166.3	117.5	181.8	170.5
E6010 D	165.1	163	177.8	175.9	201.5	197.4



**Grafik 4. 2** Hasil uji kekerasan pada pengelasan darat

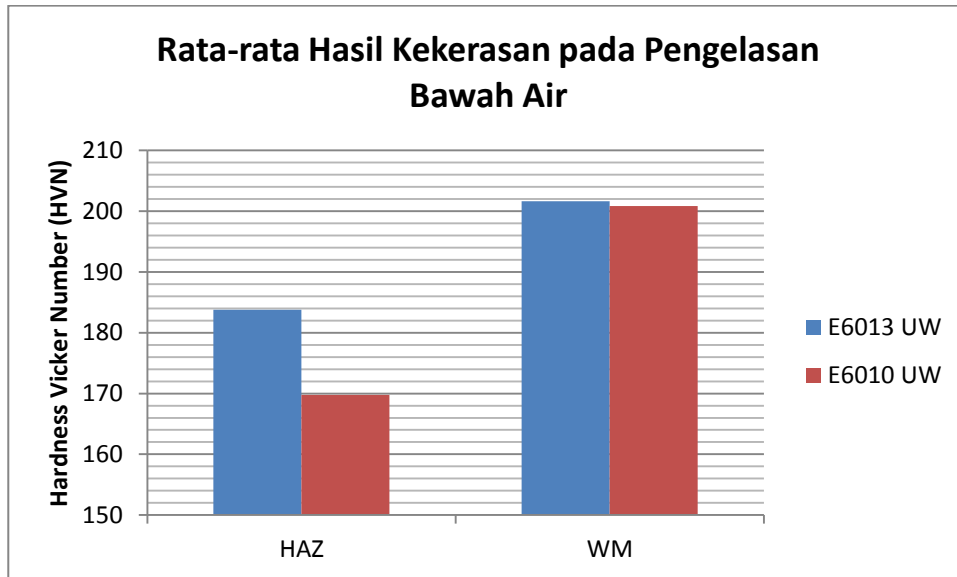
Pada spesimen pengelasan darat terdapat kenaikan dari HAZ ke *Weld Metal*. Pengelasan menggunakan elektroda E6010 memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dari pada penggunaan elektroda E6013. Pada bagian HAZ penggunaan dengan elektroda E6010 177.8 HVN dan untuk E6013 dan 166.3 HVN. Pada bagian *Weld Metal* terlihat bahwa nilai tertinggi merupakan elektroda E6010 dengan hasil 201.5 HVN sedangkan nilai tertinggi pada penggunaan elektroda E6013 adalah 190.7 HVN.

#### 4.3.3 Kesimpulan Pengujian Kekerasan

Analisa dari nilai kekerasan menghasilkan kesimpulan bahwa untuk pengelasan di bawah air lebih unggul menggunakan elektroda E6013. Hal ini dapat dilihat pada tabel rata-rata dibawah ini.

**Tabel 4. 9** Rata-rata hasil kekerasan

Kode	HAZ (HVN)	Weld Metal (HVN)
E6013 UW	183.8	201.63
E6010 UW	169.77	200.83



**Grafik 4.3** Rata-rata uji kekerasan pada pengelasan bawah air

Spesimen E6013 UW mendapatkan nilai tertinggi pada bagian HAZ dengan nilai 183.8 HVN dan pada bagian *Weld Metal* 201.63 HVN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada specimen E6010 UW, dengan nilai *Weld Metal* 200.83 HVN dan HAZ 169.77 HVN. Berdasarkan standart AWS D3.6M – *Underwater Welding Code* nilai kekerasan maksimum hasil pengelasan bawah air untuk HAZ dan weld metal kelas A adalah 325 HVN, maka untuk hasil uji kekerasan pada pengelasan bawah air sampel uji telah memenuhi standart AWS D3.6M karena nilai kekerasan tertinggi dibawah 325 HVN.

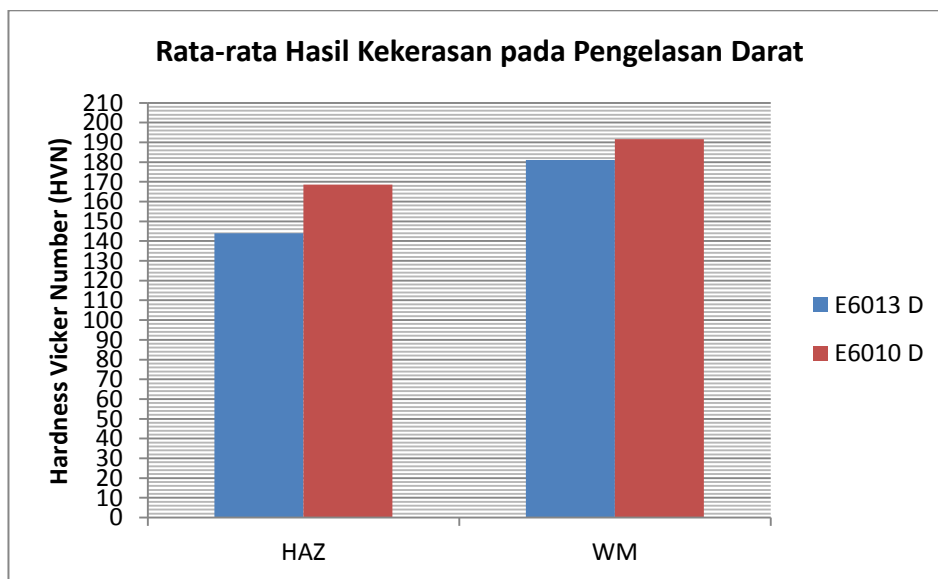
Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *Weld Metal* untuk spesimen hasil pengelasan SMAW di lingkungan laut. Hal yang menyebabkan spesimen E6013 UW mendapatkan nilai *Weld Metal* tertinggi karena pengaruh media pengelasan, air laut dapat mempengaruhi pendinginan yang terjadi setelah dilakukan pengelasan. Karena pada daerah *Weld Metal* temperatur puncaknya merupakan temperatur puncak tertinggi dan memiliki pendinginan pengelasan yang paling cepat karena transfer panas yang cepat. Salinitas air laut dapat mempengaruhi nilai kekerasan karena salinitas dapat mempengaruhi pembentukan struktur mikro dari material.



Kesimpulan dari analisa pengelasan darat adalah lebih unggul menggunakan elektroda E6010, hal ini dapat dilihat pada tabel dibawah.

**Tabel 4. 10** Rata-rata hasil kekerasan pada pengelasan darat

Kode	HAZ (HVN)	Weld Metal (HVN)
E6013 Darat	144	181
E6010 Darat	168.63	191.6



**Grafik 4. 4** Rata-rata uji kekerasan pada pengelasan darat

Pada tabel diatas didapatkan bahwa rata-rata tertinggi untuk HAZ adalah dengan penggunaan elektroda E6010 dengan nilai 168.63 HVN, sedangkan untuk E6013 adalah 144 HVN. Rata-rata tertinggi untuk *Weld Metal* adalah dengan penggunaan elektroda E6010 dengan nilai 191.6 HVN sedangkan pengelasan menggunakan elektroda E6013 mendapatkan hasil 181 HVN. Penggunaan elektroda E6010 mendapatkan rata-rata kekerasan lebih tinggi karena mendapatkan *heat input* yang tinggi saat pengelasan.

#### 4.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan

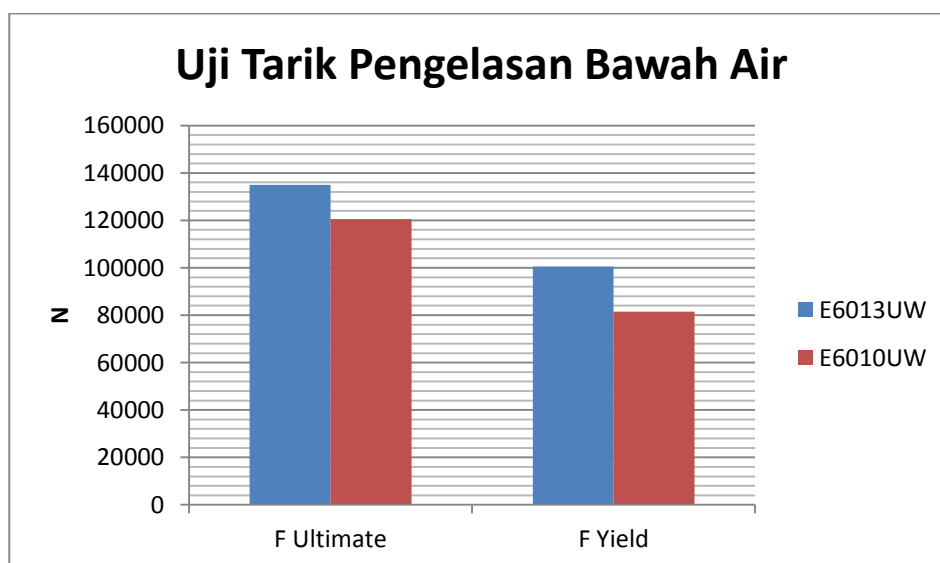
untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan.

#### 4.4.1 Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan Bawah Air

Untuk hasil pengujian Tarik pada pengelasan bawah air dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 11** Hasil uji Tarik pada pengelasan bawah air

Kode	Spesifikasi Spesimen			<i>F Ultimate</i>		<i>F Yield</i>		Rata -rata	
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	N	kN	N	kN	<i>F Ultimate</i>	<i>F Yield</i>
1.13UW	19.5	12.1	235.95	134500	134.5	100000	100	135000	100500
2.13UW	19.6	12	235.2	135500	135.5	101000	101		
1.10UW	19	11.8	224.18	120800	120.8	80000	80	120550	81500
2.10UW	19	11.7	222.3	120300	120.5	83000	83		



**Grafik 4. 5** Hasil uji tarik pada pengelasan bawah air

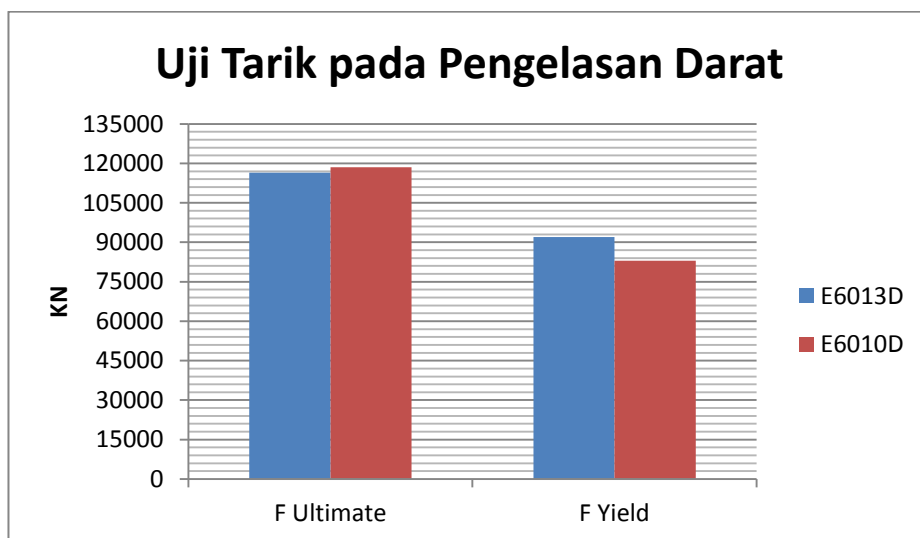
Pada tabel 4.11 dan gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6013 lebih kuat dan padat dibanding dengan pengelasan menggunakan elektroda E6010 karena material dapat putus dengan waktu yang lebih lama dengan beban maksimal rata-rata 135000 N untuk *ultimate* dan 100500 N untuk *yield*. Sedangkan pengelasan menggunakan E6010 membutuhkan waktu lebih singkat dan rata-rata beban maksimal yang lebih kecil yaitu 120550 N untuk *ultimate* dan 81500 N untuk *yield*.

#### 4.4.2 Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan Darat

Untuk hasil pengujian Tarik pada pengelasan darat dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 12** Hasil uji Tarik pada pengelasan darat

Kode	Spesifikasi Spesimen			F Ultimate		F Yield		Rata -rata	
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	N	kN	N	kN	F Ultimate	F Yield
1.13D	19.43	12	233.16	124000	124	95000	95	116500	92000
2.13D	19.5	11.8	230.1	109000	109	89000	89		
1.10D	19.1	11.8	225.38	118000	118	80000	80	118500	83000
2.10D	19	11.7	222.3	119000	119	86000	86		



**Grafik 4. 6** Hasil uji tarik pada pengelasan darat

Pada grafik 4.6 dan tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa pengelasan darat menggunakan elektroda E6010 lebih kuat dan padat dibandingkan dengan pengelasan dengan elektroda E6013 karena material dapat putus dengan waktu lebih lama. Ini dapat diketahui dengan perbedaan pada hasil rata-rata *F Ultimate* dengan beban 118500 N sedangkan penggunaan elektroda E6013 mendapatkan beban rata-rata 116500 N. Hasil pada rata-rata *F Yield* elektroda E6013 83000 N dan elektroda E6010 92000 N.

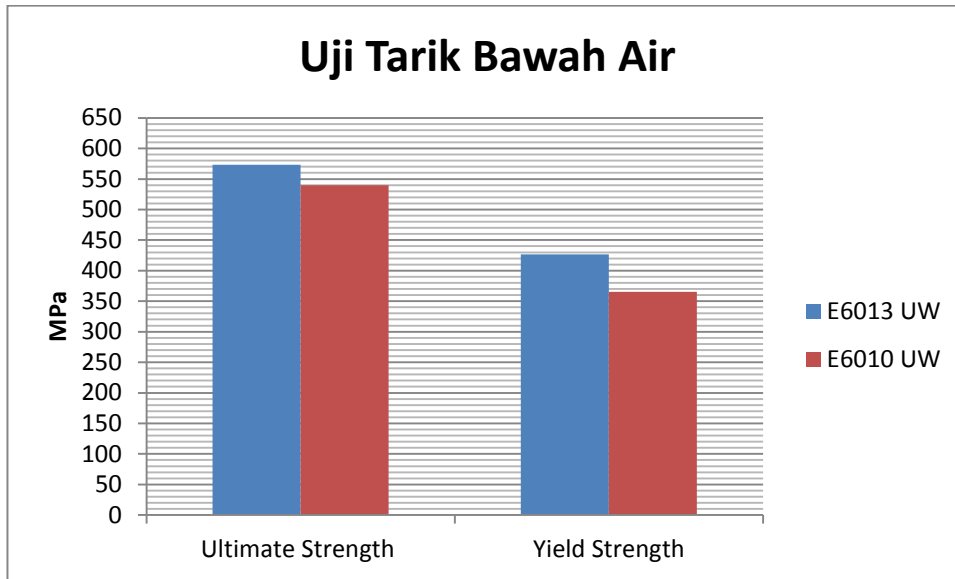
#### 4.4.3 Kesimpulan Pengujian Tarik

Menurut ASME Section IX 2002 kriteria pengujian uji tarik dapat diterima apabila spesimen putus diluar daerah pengelasan (*weld metal*) atau di luar garis fusi las (*fusion line*) dan tes akan dinyatakan lulus dengan syarat kekuatan tarik minimum 5% lebih rendah dari kekuatan tarik minimum yang ditetapkan pada logam dasar. Menurut sertifikat material ASTM A36 yang digunakan untuk penelitian ini kekuatan tarik minimumnya 452 MPa. Berarti kekuatan tarik (*ultimate strength*) pada penelitian ini minimum 429.4MPa.

Untuk perhitungan hasil *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* spesimen pengelasan dibawah air dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 13** Hasil uji Tarik pada pengelasan bawah air

Kode	Hasil Uji Tarik			Rata-rata	
	<i>Ultimate Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	Patah	<i>Ultimate Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>
1.13UW	570.04	423.82	Base Metal	573.07	426.62
2.13UW	576.11	429.42	Base Metal		
1.10UW	538.80	356.82	Base Metal	539.98	365.10
2.10UW	541.16	373.37	Base Metal		



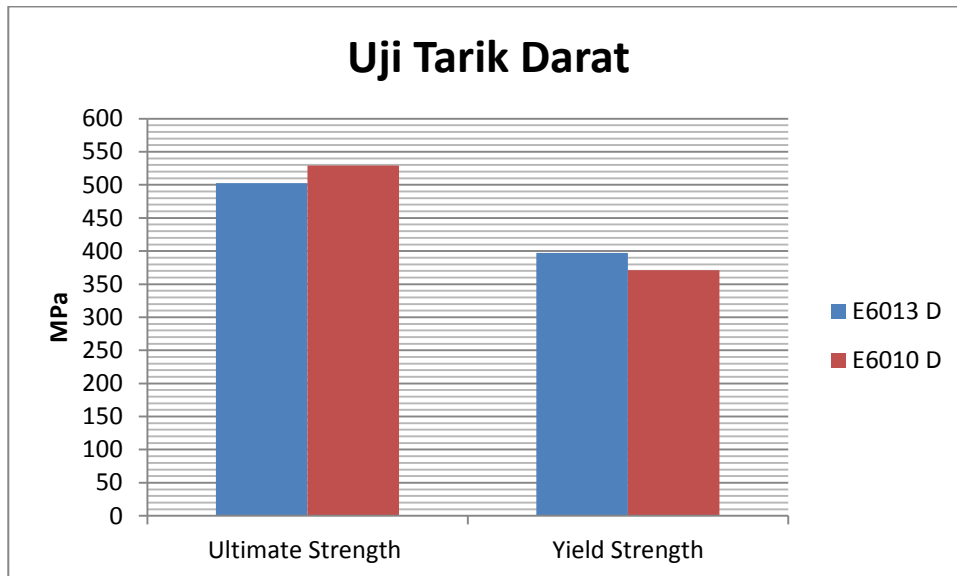
**Grafik 4. 7** Rata-rata uji tarik pada pengelasan bawah air

Pada tabel 4.13 dapat dilihat bahwa hasil terendah pada *ultimate strength* adalah 570.04 MPa pada pengelasan menggunakan elektroda E6013 dan 538.8 MPa pada pengelasan dengan elektroda E6010, sehingga spesimen uji tarik memenuhi kriteria ASME *Section IX*. Pada tabel 4.13 dan grafik 4.7 dapat disimpulkan bahwa pengelasan bawah air yang dihasilkan menggunakan elektroda E6013 lebih kuat karena memiliki nilai *ultimate strength* dan *yield strength* tertinggi yaitu 573.07 MPa dan 426.62 secara berurut. Sedangkan untuk pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6010 memiliki nilai rata-rata *ultimate strength* 539.98 MPa dan *yield strength* 365.10 MPa. Dari pengujian tarik spesimen pengelasan bawah air SMAW pada baja A36 dengan elektroda E6013 memiliki hasil pengelasan yang lebih getas jika dibandingkan dengan pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6010 yang bersifat lebih ulet.

Untuk kesimpulan hasil uji tarik pengelasan darat dapat dilihat pada tabel dibawah:

**Tabel 4. 14** Hasil uji Tarik pada pengelasan darat

Kode	Hasil Uji Tarik			Rata-rata	
	<i>Ultimate Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	Patah	<i>Ultimate Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>
1.13D	531.82	407.45	Base Metal	502.77	397.12
2.13D	473.71	386.79	Base Metal		
1.10D	523.56	354.96	Base Metal	529.44	370.91
2.10D	535.31	386.86	Base Metal		



**Grafik 4. 8** Rata-rata uji tarik pada pengelasan darat

Pada tabel 4.14 dapat dilihat bahwa hasil terendah pada *ultimate strength* adalah 473.71 MPa pada pengelasan menggunakan elektroda E6013 dan 523.56 MPa pada pengelasan dengan elektroda E6010, sehingga spesimen uji tarik memenuhi kriteria *ASME Section IX*. Pada tabel 4.14 dan grafik 4.8 dapat disimpulkan bahwa pengelasan darat yang dihasilkan dengan menggunakan elektroda E6010 lebih kuat karena memiliki nilai *ultimate strength* 529.44 MPa yang lebih tinggi dan *yield strength* yang lebih rendah 370.91 MPa. Sedangkan pengelasan darat menggunakan E6013 memiliki nilai *ultimate strength* 502.77 MPa dan *yield strength* 397.12 MPa. Dari hasil perhitungan tersebut pengelasan

darat SMAW pada baja A36 dengan elektroda E6010 memiliki sifat yang lebih getas dibanding pengelasan menggunakan E6013. Perbedaan sifat penggunaan tiap elektroda dipengaruhi oleh lingkungan saat yang dapat mempengaruhi pendinginan. Pada pengelasan bawah air elektroda E6013 mempunyai pelapis yang tahan air yang memberikan elektroda tersebut ke unggulan terhadap elektroda E6010.

#### 4.5 Pengujian *Impact*

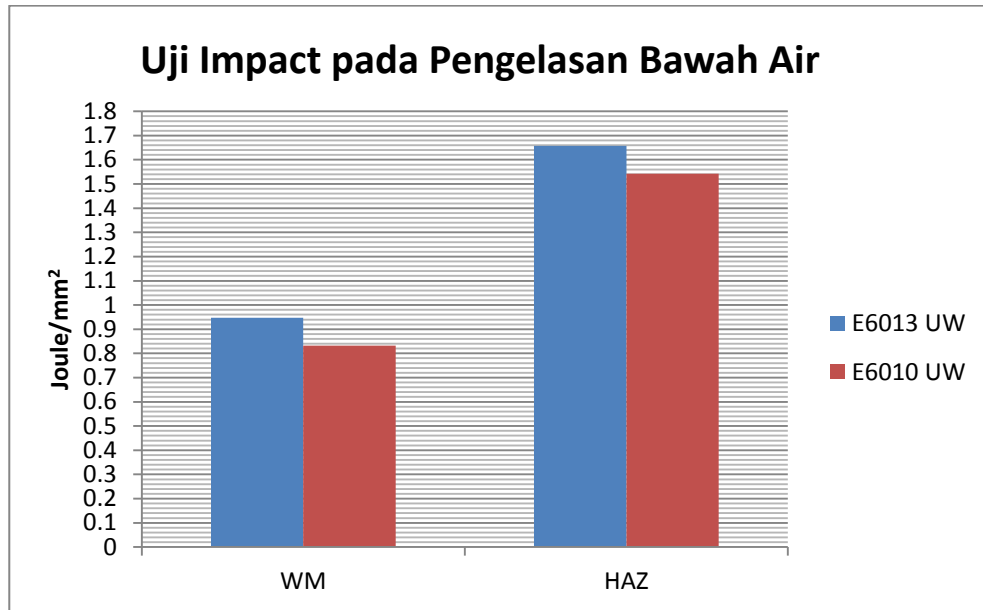
Untuk pengujian *impact* di lakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Hasil dari pengujian ketangguhan impak berupa tenaga yang diserap (W) dalam satuan Joule dan nilai pukul takik (K) dalam satuan Joule/mm<sup>2</sup>.

##### 4.5.1 Hasil Pengujian *Impact* pada Pengelasan di Bawah Air

Hasil yang diperoleh dari pengujian *impact* pada pengelasan bawah air dapat dilihat pada tabel di bawah:

**Tabel 4. 15** Hasil uji *impact* pada pengelasan bawah air

Kode	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Energi (J)	Harga Takik (J/ mm <sup>2</sup> )	Total (J/ mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (J/ mm <sup>2</sup> )
13-WM1	9.9	7.9	78.21	72	0.921	1.894	0.947
13-WM2	9.82	7.95	78.07	76	0.973		
13-HAZ1	9.79	7.8	76.36	130.5	1.709	3.313	1.657
13-HAZ2	9.9	7.87	77.91	125	1.604		
10-WM1	9.7	7.8	75.66	66	0.872	1.664	0.832
10-WM2	9.8	7.8	76.44	60.5	0.791		
10-HAZ1	9.82	7.8	76.59	128	1.671	3.083	1.542
10-HAZ2	9.86	7.9	77.89	110	1.412		



**Grafik 4. 9** Hasil uji impact pada pengelasan bawah air

Pada diagram di atas didapatkan nilai rata-rata *impact* pada penggunaan elektroda E6013 bagian *Weld Metal* 0.947 J/mm<sup>2</sup> dan pada bagian HAZ 1.657 J/mm<sup>2</sup>. Dan pada pengelasan menggunakan elektroda E6010 didapatkan nilai rata-rata *impact* 0.832 J/mm<sup>2</sup> pada bagian *Weld Metal* dan 1.542 J/mm<sup>2</sup> pada bagian HAZ. Terdapat kenaikan energy dari nilai bagian *Weld Metal* dan HAZ disebabkan karena terjadinya pendinginan cepat pada bagian *Weld Metal* akibat lingkungan yang di bawah air, sehingga membuat bagian tersebut lebih getas dibanding bagian HAZ.

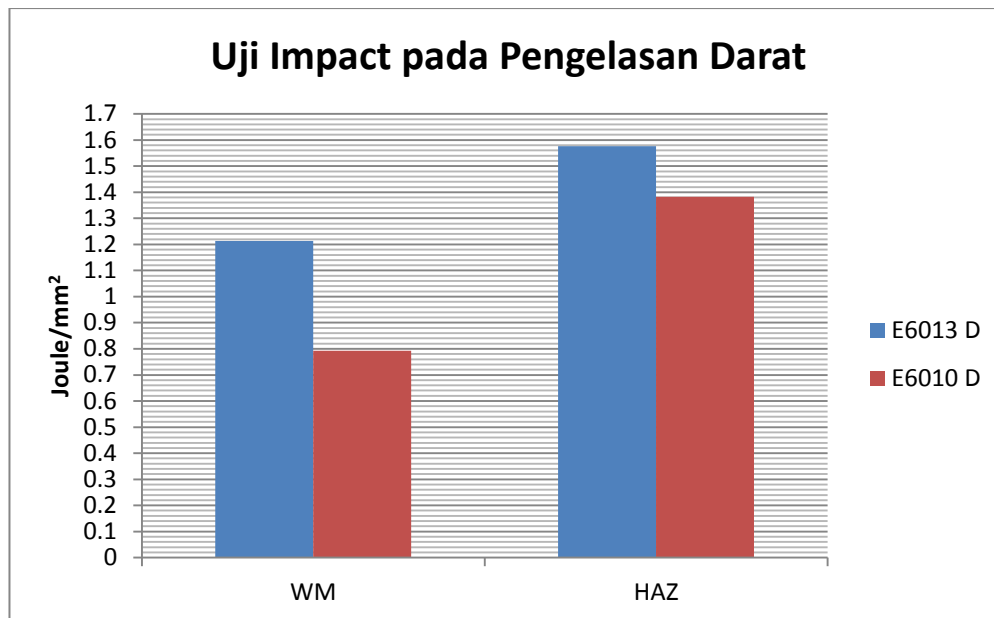
#### 4.5.2 Hasil Pengujian *Impact* pada Pengelasan Darat

Hasil yang diperoleh dari pengujian *impact* pada pengelasan darat dapat dilihat pada tabel di bawah:



**Tabel 4. 16** Hasil uji *impact* pada pengelasan darat

Kode	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Energi (J)	Harga Takik (J/ mm <sup>2</sup> )	Total (J/ mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (J/ mm <sup>2</sup> )
13-WM1	9.8	7.86	77.03	100	1.298	2.426	1.213
13-WM2	9.9	7.97	78.903	89	1.128		
13-HAZ1	9.86	7.82	77.11	124	1.608	3.154	1.577
13-HAZ2	9.8	7.89	77.32	119.5	1.545		
10-WM1	9.9	7.97	78.90	60	0.760	1.585	0.793
10-WM2	9.9	7.9	78.21	64.5	0.825		
10-HAZ1	9.8	7.8	76.44	123.5	1.616	2.766	1.383
10-HAZ2	9.9	7.9	78.21	90	1.151		



**Grafik 4. 10** Hasil uji *impact* pada pengelasan darat

Pada diagram diatas didapatkan hasil nilai *impact* pada pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 memiliki rata-rata 1.213 J/mm<sup>2</sup> pada bagian *Weld Metal* dan 1.577 J/mm<sup>2</sup> pada bagian HAZ. Sedangkan pengelasan menggunakan elektroda E6010 memiliki nilai rata-rata 0.793 J/mm<sup>2</sup> pada bagian *Weld Metal* dan 1.383 J/mm<sup>2</sup> pada bagian HAZ. Terdapat kenaikan nilai dari bagian *Weld Metal* ke HAZ, ini disebabkan karena bagian *Weld Metal* memiliki temperatur yang tinggi dan memiliki pendinginan pengelasan yang cepat karena transfer panas

sehingga membuat bagian tersebut lebih getas dan mudah deformasi dibanding pada bagian HAZ.

#### **4.5.3 Kesimpulan Pengujian *Impact***

Dari hasil uji *Impact* pada pengelasan bawah air didapatkan bahwa penggunaan elektroda E6013 memiliki rata-rata nilai lebih tinggi dibanding menggunakan elektroda E6010. Dan pada pengelasan darat nilai rata-rata penggunaan elektroda E6013 lebih tinggi dibanding penggunaan elektroda E6010. Ini disebabkan karena *heat input* pada pengelasan elektroda E6010 lebih tinggi dibanding pengelasan dengan elektroda E6013. Karena *heat input* yang tinggi menyebabkan material menjadi lebih getas sehingga keuletan material berkurang.

#### **4.6 Pengujian Metalografi**

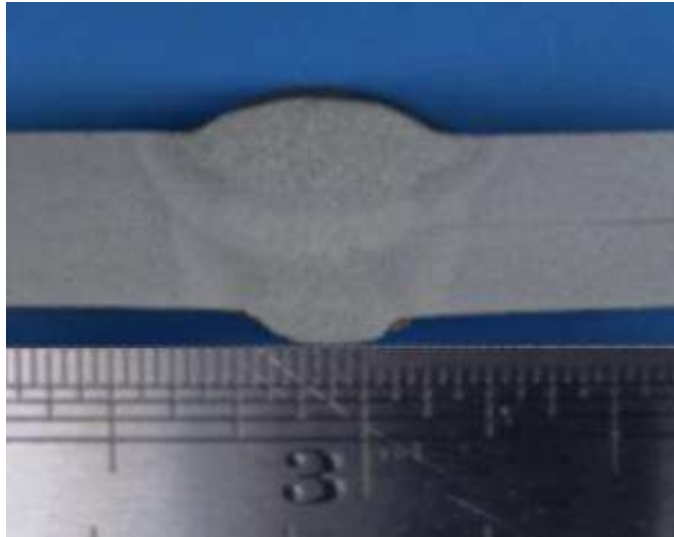
Untuk pengujian makro dan mikro di lakukan pada Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya.

##### **4.6.1. Hasil dan Analisis Pengujian Makro pada Pengelasan Bawah Air**

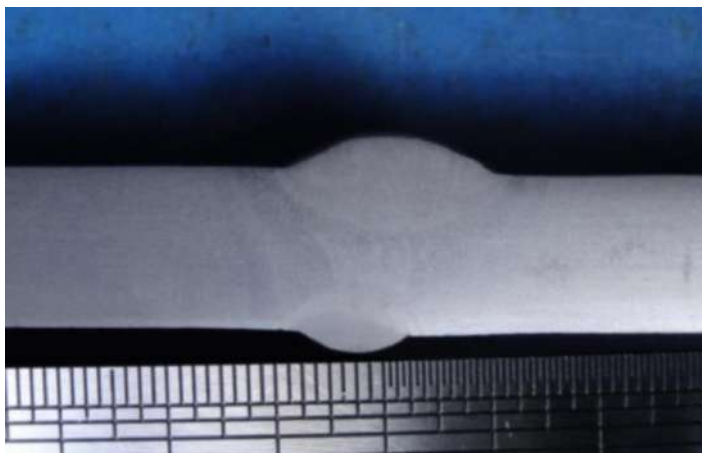
Pengujian makro di lakukan untuk mengetahui daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), *Weld Metal* dan *Fusion Line*. Hasil dari pengujian makro ini didapat area-area yang terbentuk akibat proses pengelasan, seperti lebar HAZ dan luas logam las. Sebelum pengujian, specimen perlu dipoles (satu sisi saja) dari potongan melintang menggunakan amplas atau kertas gosok dari grade 80 hingga 2000, setelah halus specimen akan di berikan cairan etsa untuk mengurangi goresan yang terdapat pada material sehingga tidak mengurangi kualitas hasil foto makro.

Gambar-gambar dibawah ini merupakan hasil foto makro pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6013 dan elektroda E6010. Pada gambar struktur makro 4.10 dan 4.11 dapat dilihat terdapat beberapa layer dan tidak terlihat adanya cacat pada daerah *weld metal*. Pada pengelasan yang menggunakan elektroda E6013 memiliki HAZ sebesar 2.38 mm dan sedangkan untuk pengelasan dengan elektroda E6010 memiliki HAZ sebesar 1.85 mm. Besarnya HAZ dipengaruhi oleh besar arus dan waktu lasan saat pengelasan,

sehingga mempengaruhi *heat input* dan kekuatan hasil las. Bertambah besarnya arus dan waktu lasan akan mengakibatkan *heat input* dan kekuatan las bertambah.



**Gambar 4. 9** Hasil struktur makro E6013 UW

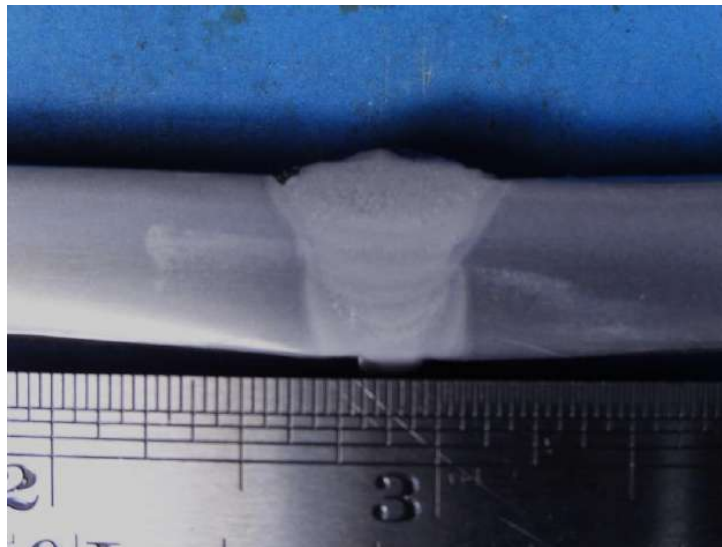


**Gambar 4. 10** Hasil struktur makro E6010 UW

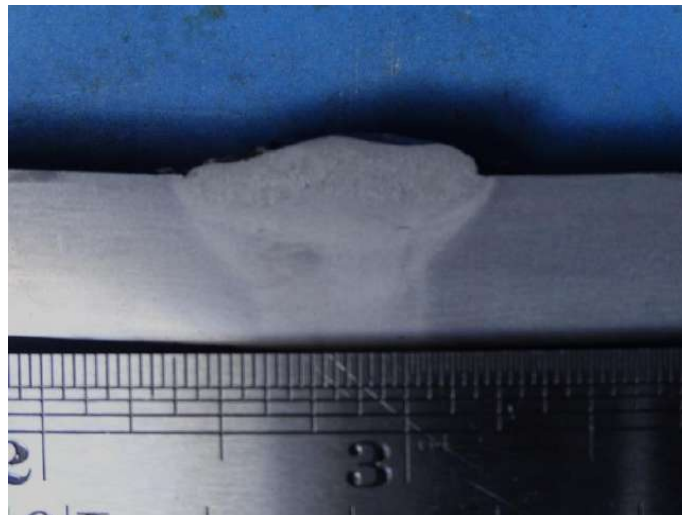
#### **4.6.2 Hasil dan Analisis Pengujian Makro Pengelasan Darat**

Gambar-gambar dibawah ini merupakan hasil foto makro pada pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 dan E6010. Pada gambar 4.12 dan 4.13 tidak terlihat cacat pada daerah pengelasan serta leburan antar *layer* sempurna.

Pada pengelasan darat yang menggunakan elektroda E6013 memiliki HAZ sebesar 1.27 mm, sedangkan pengelasan menggunakan elektroda E6010 memiliki HAZ sebesar 1.34 mm. HAZ pada pengelasan dengan elektroda E6010 lebih besar karena dipengaruhi oleh *heat input* yang besar.



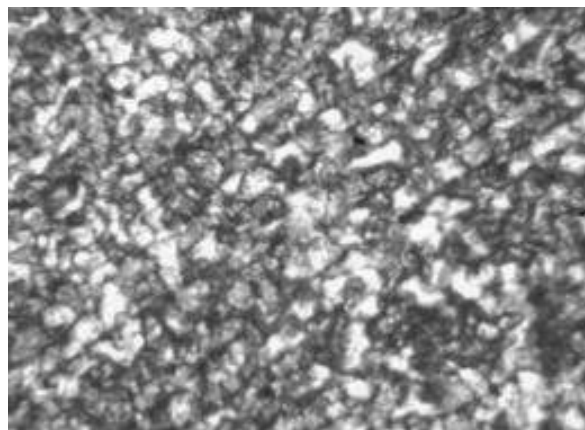
**Gambar 4. 11** Hasil struktur makro E6013 D



**Gambar 4. 12** Hasil struktur makro E6010 D

#### 4.6.3. Hasil dan Analisis Pengujian Mikro Pengelasan Bawah Air

Pengujian mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk struktur mikro yang terdapat pada area pengelasan. Proses pengelasan pada material menyebabkan perubahan komposisi spesimen sehingga presentase dari setiap daerah spesimen yaitu *Weld Metal* dan HAZ berbeda-beda. Dalam pengujian ini dilakukan pembesaran hingga 500x. Pada pembesaran 500x akan terlihat bentuk butir mikro *ferit* dan *perlit*. Butir *ferlit* cenderung lebih halus dan bersifat lunak atau ulet. Sedangkan butir *perlit* lebih kasar dan bersifat keras. Perhitungan presentase struktur mikro menggunakan metode *point counting*. Metode *point counting* ini adalah cara menghitung jumlah titik yang ada dalam suatu fasa dibagi dengan jumlah seluruh titiknya.

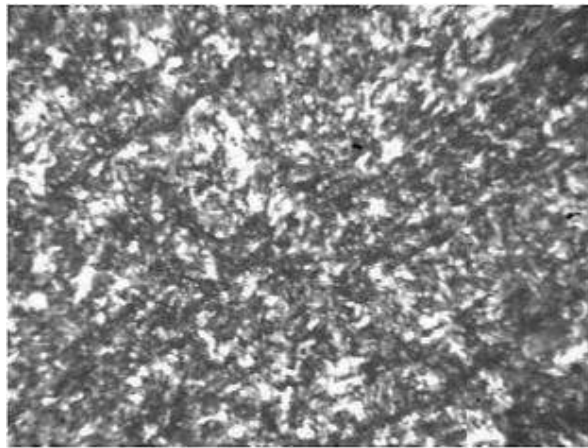


**Gambar 4. 13** Hasil mikro HAZ pada spesimen E6013 UW

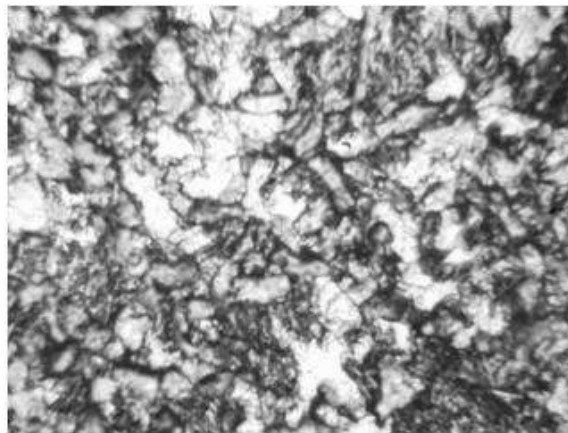


**Gambar 4. 14** Hasil mikro HAZ pada spesimen E6010 UW

Gambar 4.14 dan 4.15 merupakan hasil foto mikro bagian HAZ pada pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6013 dan E6010. Pada daerah HAZ terdapat kristalisasi antara *ferit* butiran yang berwarna terang dan *perlit* yang berwarna gelap. Pada HAZ spesimen E6013UW presentase *ferit* 57.9% dan *perlit* 42.1%. Sedangkan pada spesimen E6010UW presentase 60.3% dan *perlit* 39.7%.



**Gambar 4. 15** Hasil mikro *Weld Metal* pada spesimen E6013 UW



**Gambar 4. 16** Hasil mikro *Weld Metal* pada spesimen E6010 UW

Dari gambar 4.16 dan 4.17 terlihat terbentuknya butiran *ferit* dan *perlit* pada mikro bagian *weld metal*. Pada *weld metal* spesimen E6013UW presentase struktur *ferit* adalah 46.8% dan *perlit* 53.2%. Sedangkan untuk spesimen E6010UW presentase *ferit* 59.5% dan *perlit* 40.5%. Lebih tingginya *perlit* pada

bagian *weld metal* dibanding HAZ karena titik temperature tertinggi terdapat pada bagian *weld metal* sehingga saat kena media air akan terjadi pendinginan yang cepat sehingga membuat area tersebut lebih keras.

Baja ASTM A36 merupakan baja merupakan dengan kadar karbon rendah antara 0.05%-0.3% (Saito, 2000). Bila pengelasan *underwater* menggunakan material baja yang karbon rendah tidak akan membentuk butiran *martensit* yang lebih getas dan keras dibanding butir *perlit* (Agasthama, 2010).

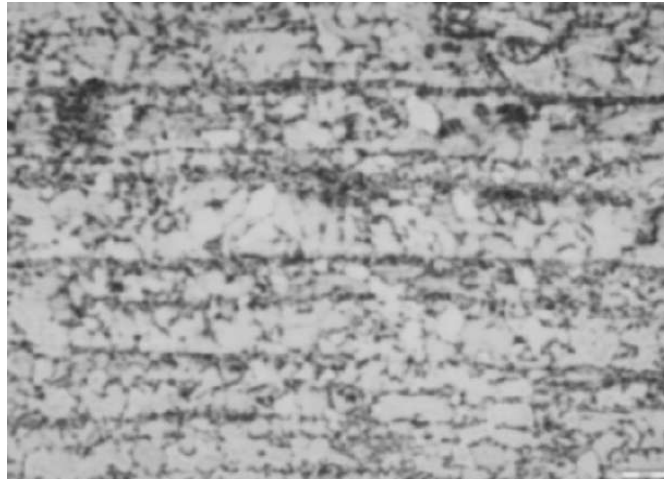
Pada pengelasan butir-butir *martensit* akan terbentuk bila hasil uji kekerasan diatas 580 HVN (Wulandri, 2012). Sedangkan hasil uji kekerasan tertinggi pada pengelasan bawah air dalam penelitian ini adalah 208.5 HVN menggunakan elektroda E6013.

#### **4.6.4 Hasil dan Analisis Pengujian Mikro pada Pengelasan Darat**

Gambar-gambar dibawah ini merupakan hasil foto mikro pada pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 dan E6010.

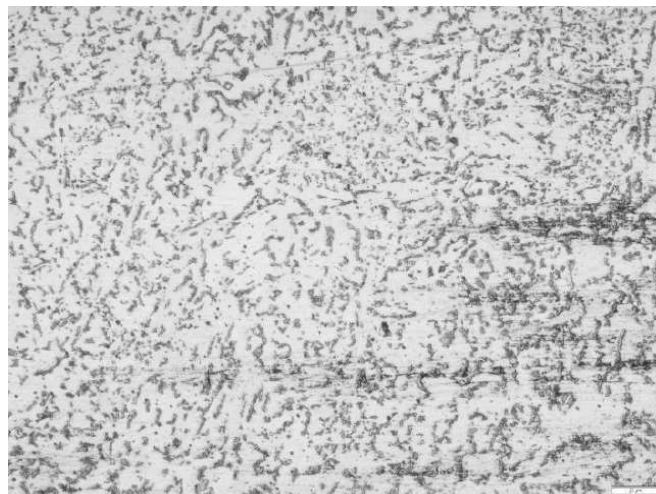


**Gambar 4. 17** Hasil mikro HAZ pada spesimen E6013D



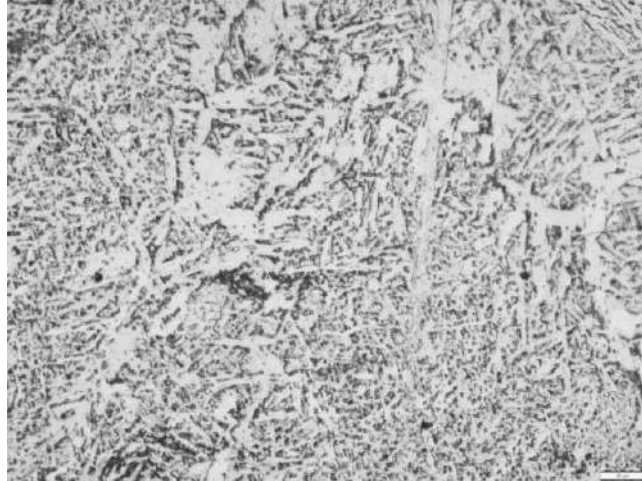
**Gambar 4. 18** Hasil mikro HAZ pada spesimen E6010D

Pada daerah HAZ struktur mikro terdapat butir-butir *ferit* dan *perlit*. Persentase struktur mikro pada pengelasan darat menggunakan elektroda E6013 *ferit* 75.6% dan *perlit* 24.4% sedangkan untuk pengelasan dengan elektroda E6010 *ferit* 66.5% dan *perlit* 33.5%.



**Gambar 4. 19** Hasil mikro *Weld Metal* pada spesimen E6013D





**Gambar 4. 20** Hasil mikro *Weld Metal* pada spesimen E6010D

Dari struktur mikro *Weld Metal* pada gambar 4.21 dan 4.22 dapat dilihat foto tersebut didominasi oleh fase *ferit* yang butir-butir warna terang, sedangkan butir-butir *perlit* yang berwarna gelap lebih sedikit. Persentase mikro *weld metal* untuk pengelasan dengan elektroda E6013 *ferit* 66.5% dan *perlit* 33.5%. Untuk pengelasan dengan elektroda E6010 *ferit* 65.4% dan *perlit* 34.6%.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengelasan dengan *heat input* yang besar memiliki hasil yang tinggi pada pengujian tarik dan kekerasan *Vickers* dan memiliki HAZ yang besar, ini disebabkan karena semakin besarnya arus dan waktu lasan maka semakin besar daerah penyambungan logam yang terjadi sehingga kekuatan las semakin besar membuatnya lebih getas dan keras. Pada pengelasan bawah air hasil yang mempunyai *heat input* terbesar adalah dengan menggunakan elektroda E6013 dengan rata-rata 2686.82 Joule/mm, sehingga mendapatkan hasil rata-rata tertinggi saat uji tarik 573.07 MPa dan uji kekerasan 201.63 HVN, berbeda dengan hipotesa awal yang di berikan. Dan untuk pengelasan darat yang mempunyai *heat input* terbesar adalah dengan menggunakan elektroda E6010 dengan rata-rata 2557.67Joule/mm, sehingga mendapatkan hasil uji tarik yang besar 529.44 MPa dan uji kekerasan 191.6 HVN, sesuai dengan hipotesa awal.
2. Hasil pengujian *impact* menunjukkan bahwa pengelasan yang memiliki hasil uji tarik dan uji kekerasan yang tinggi akan memiliki nilai uji *impact* yang rendah akibat material tersebut menjadi getas sehingga mudah patah. Dimana pengelasan menggunakan elektroda E6013 darat memiliki hasil uji *impact* yang lebih tinggi dibanding pengelasan darat menggunakan E6010 dan pengelasan bawah air menggunakan elektroda E6013 dan elektroda E6010, menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan elektroda tersebut lebih tangguh. Hasil pengujian *impact* sesuai dengan hipotesa awal mengenai ke-uletan dengan pengelasan E6013.

3. Hasil pengujian metalografi foto mikro menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan nilai uji tarik dan uji kekerasan yang lebih besar akan memiliki presentase butir-butir *perlit* lebih banyak dibanding yang pengelasan yang memiliki nilai uji tarik dan uji kekerasan yang kecil. Dan tidak terbentuk butir-butir *martensit* karena baja ASTM A36 merupakan baja karbon rendah.
4. Pengelasan bawah air dengan elektroda E6013 dapat digunakan pada saat memperbaiki bagian kapal yang tidak terkena beban lebih, karena pengelasan bawah air dengan elektroda E6013 memiliki sifat yang lebih getas dari pengelasan elektroda E6010 membuatnya mudah patah. Dan untuk pengelasan darat, bila ingin mengelas bagian yang membutuhkan kekuatan yang tinggi dapat menggunakan elektroda E6010, sedangkan bila mencari ke tangguhan yang lebih tinggi dapat menggunakan elektroda E6013.

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pengelasan menggunakan elektroda yang berbeda serta variasi temperature.
2. Melakukan *pre-heating* dan *post-heating* terlebih dahulu agar pendinginan cepat dapat dikurangi sehingga mendapat hasil yang optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agastama, Phytra. 2010. **Studi Laju Korosi Weld Joint Material A36 pada Underwater Welding**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Anggraeni, Safira Dwi. 2016. **Studi Perbandingan Proses Pengelasan SMAW pada Lingkungan Darat dan Bawah Air Terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Joint Material A36**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- ASME section II. 2004. **Materials**. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASME section VIII. 2013. **Rules and Construction of Pressure Vessels**. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASME section IX. 2013. **Qualification Standard For Welding, Brazing, And Fusing Procedures; Welders, Brazers, And Welding, Brazing, And Fusing Operators**. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASTM section A36. 2004. **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**. Washington: ASTM Publishing
- ASTM section D1141. 2003. **Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water**. Washington: ASTM Publishing.
- AWS section D3.6M. 2010. **Underwater Welding Code**. Florida: American Welding Society.
- AWS section A5.1. 2004. **Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding**. Florida: American Welding Society.
- Feelus, P. 2000. **Underwater Welding Explained-Wet Welding** UCI. Journal Noordhoek Offshore BV.

- Hidayana, Ervan H. 2008. **Pengaruh Underwater Welding Terhadap Perubahan Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja di Lingkungan Laut.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Joshi, A.M. 2002. **Underwater Welding.** Bombay: Indian Institut of Technology.
- Kenyon, W. 1985. **Dasar – Dasar Pengelasan.** Jakarta: Erlangga
- Manurung, Edison I. 2015. **Pengaruh Variasi Diamter Elektroda pada Pengelasan Baja Karbon Rendah Jenis ST 37 terhadap Distribusi Kekerasa, Kekuatan Impak dan Struktur Mikro.** Medan: Universitas Sumatera Utara
- Marinda, Girang Setyo. 2017. **Pengaruh Sudut Groove Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi pada Baja Karbon ASTM A 36 di Lingkungan Laut.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Prasojo, B., 2012. **Modul Ilmu Pengetahuan Bahan.** Surabaya: Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Surabaya.
- Ramadani, Rizkiyah. 2016. **Analisa Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan FCAW dan SMAW Terhadap Kekuatan Uji Impact Butt Joint pada Spesimen Pipa API 5L Grade X42.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Saito, S., Surdia T. 2000. **Pengetahuan Bahan Teknik.** Pradnya Paramitha, Jakarta
- Sonawan, Hery, Suratman R. 2003. **Pengelasan Logam.** Bandung
- Student Association of Welding Engineering. 2015. **Macam dan Jenis Elektroda Cara Pemakaiannya.** Surabaya: PPNS
- Unterweiser, Paul M.1982. **Heat Treater's Guide Standard Practices and Procedures for Steel.** American Society for Metals: Ohio
- W, Kenyon.1985. **Dasar-dasar Pengelasan.** Jakarta: Penerbit Erlangga

Widharto, S. 2007. **Inspeksi Teknik Jilid 6**. Jakarta: Pradnya Paramita

Wiryosumarto, Harsono, Toshie Okumura. 2000. **Teknologi Pengelasan Logam**.  
Jakrta. PT Pradnya Paramita

Wulandri, Vidya Rina. 2012. **Pengaruh Carbon Potential (CP) pada Proses High Concentration Carburizing Terhadap Karakteristik Baja SCM 440 pada Komponen Pin Rantai Tipe Timing Chain**. Depok: Universitas Indonesia

## **LAMPIRAN**

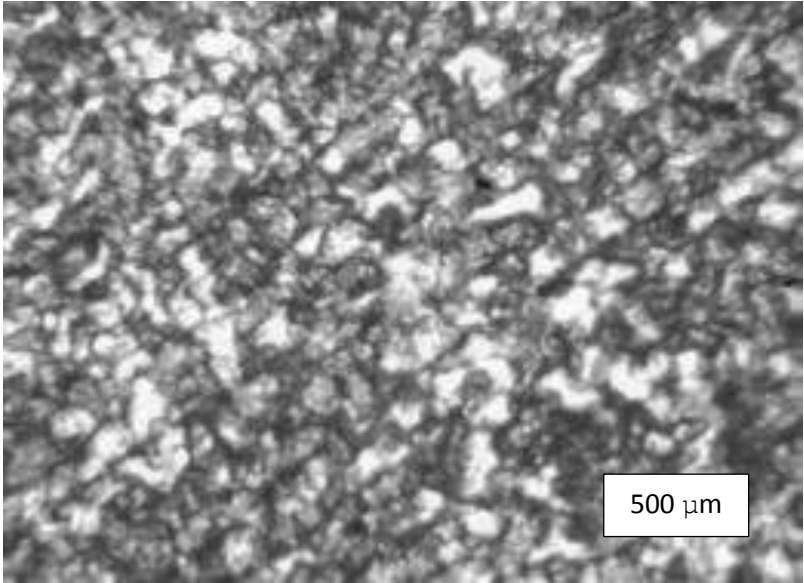




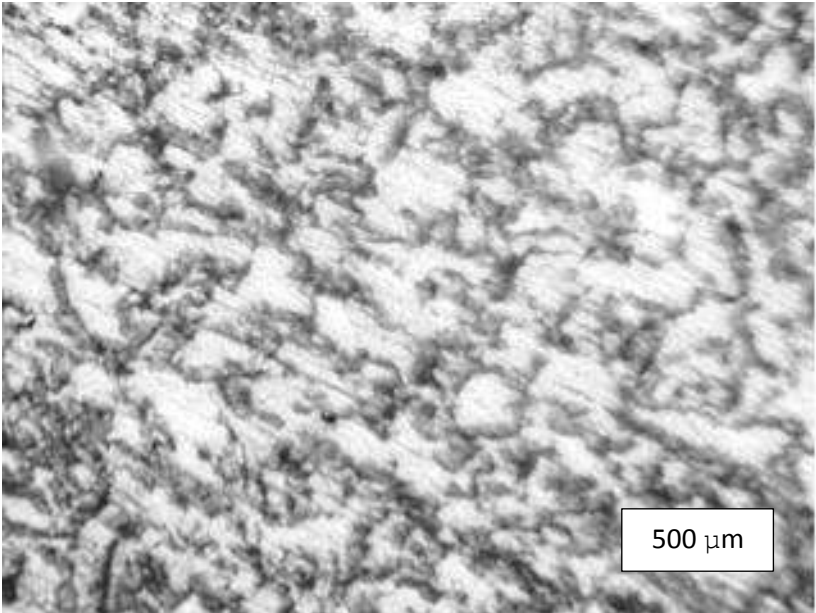
**LAMPIRAN A**

**DATA**

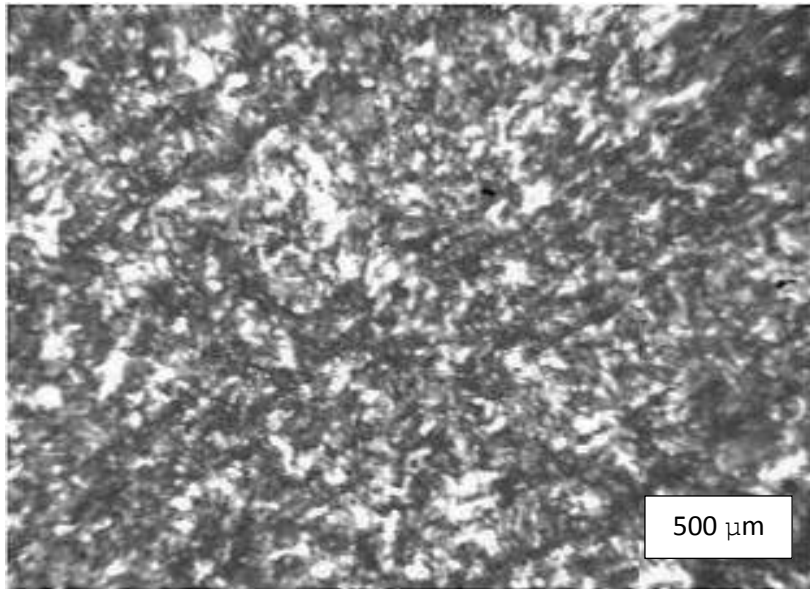
**Struktur Mikro**



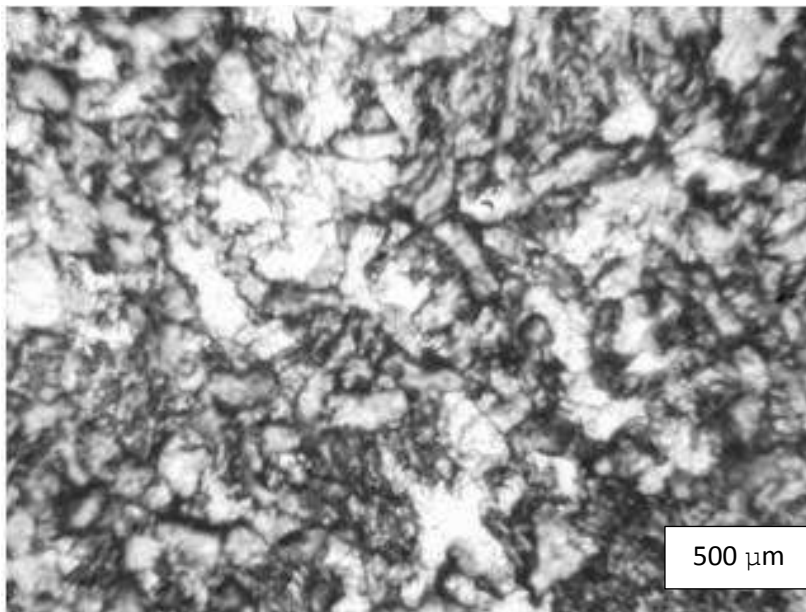
Kode E6013 UW HAZ



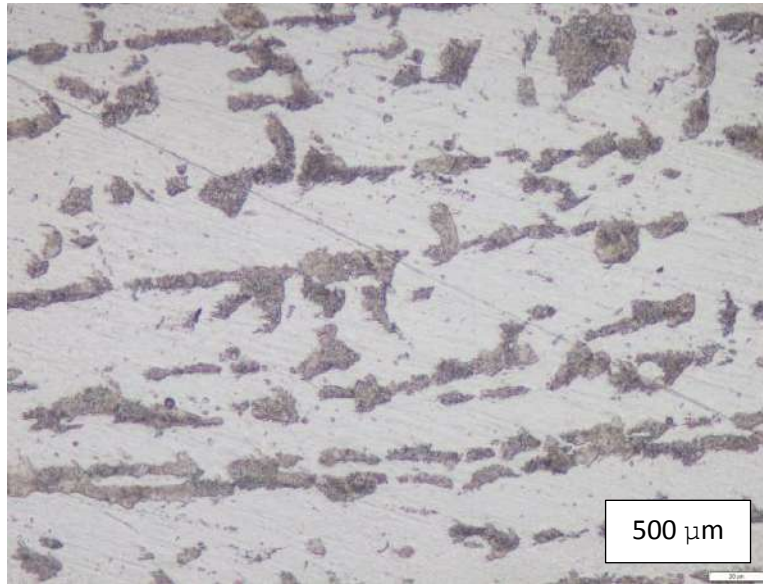
Kode E6010 UW HAZ



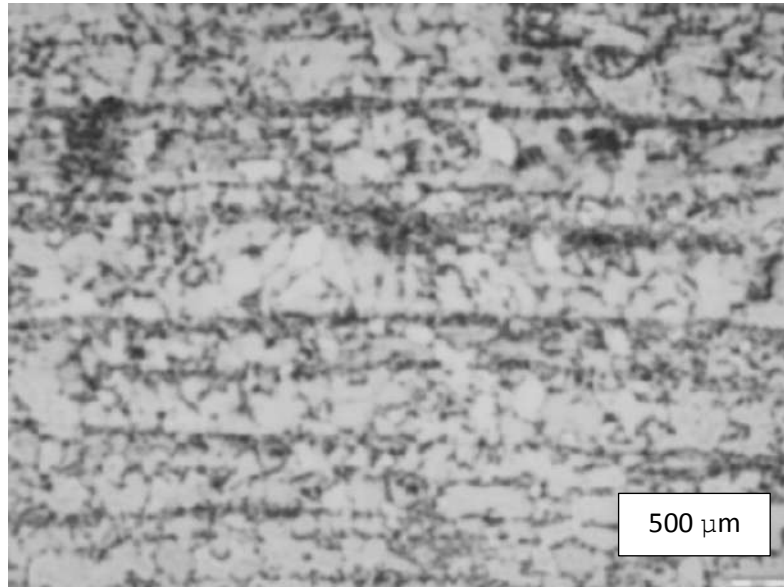
*Kode E6013UW Weld Metal*



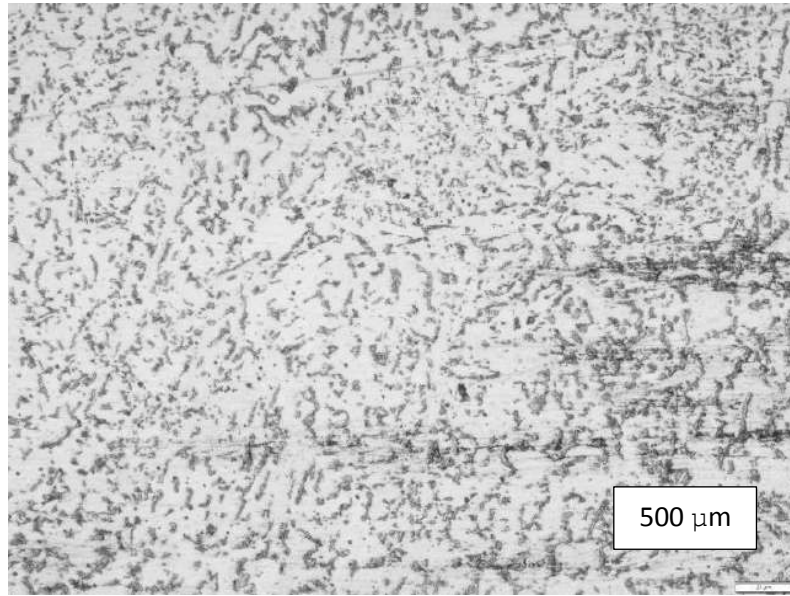
*Kode E6010UW Weld Metal*



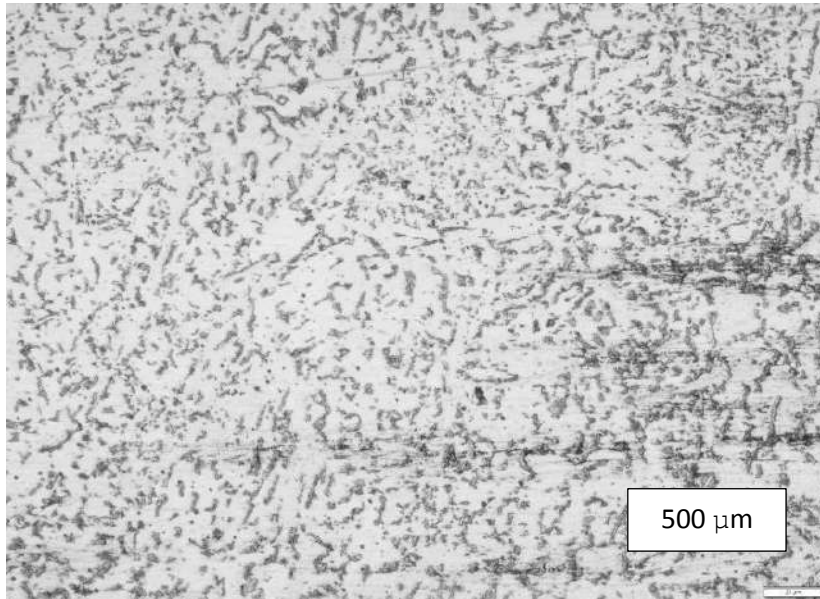
Kode E6013D HAZ



Kode E6010 HAZ

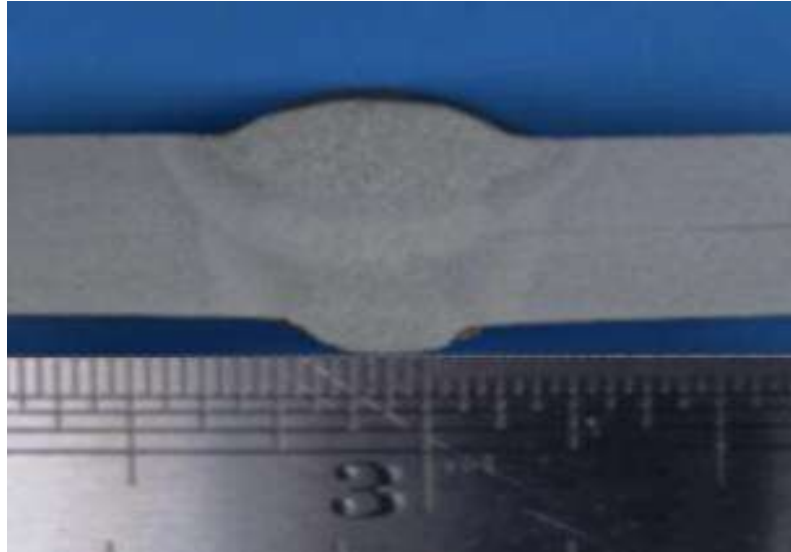


Kode E6013D *Weld Metal*

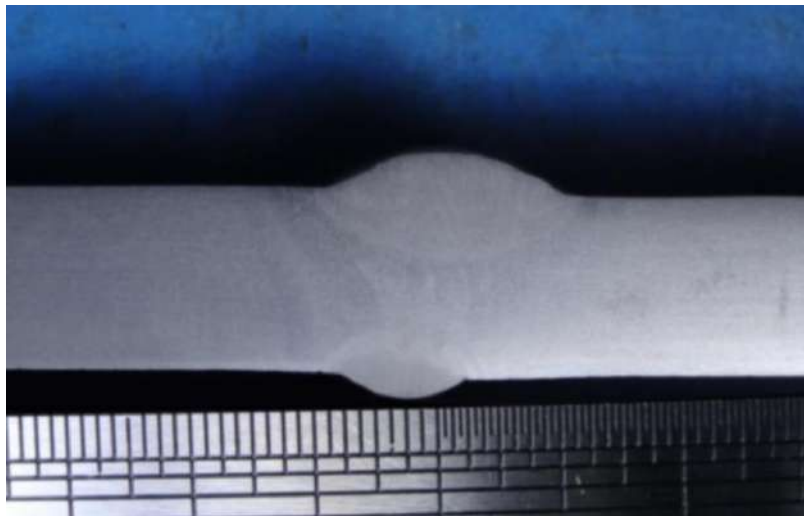


Kode E6010D *Weld Metal*

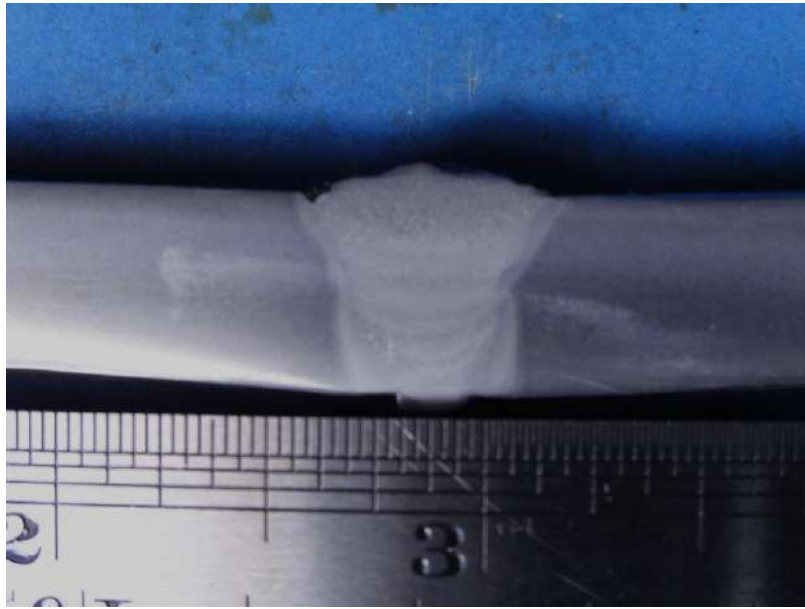
## 2. Struktur Makro



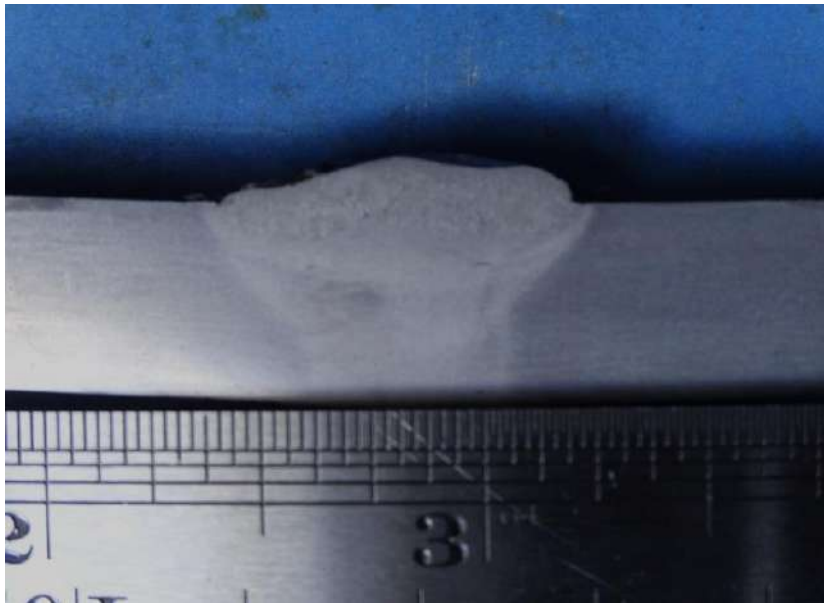
Makro E6013 UW



Makro E6010 UW



Makro E6013 D



Makro E6010 D

**LAMPIRAN B**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**





Mesin las SMAW dan ampere meter



Mesin Gerinda



Elektroda AWS E6010

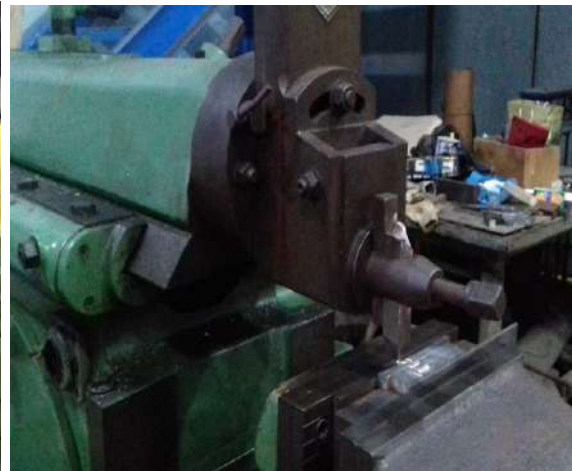




Elektroda AWS E6013



Mesin gergaji hidrolik



Mesin cutter



Pengujian *impact*



Pengujian tarik



Spesimen setelah uji *impact*





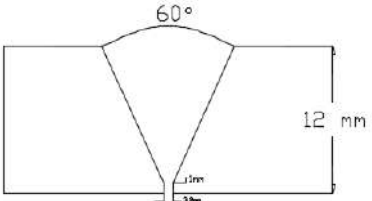
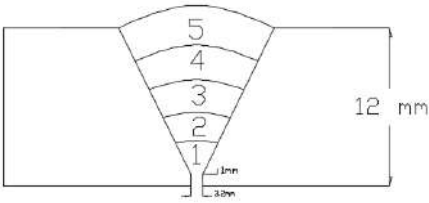


**LAMPIRAN C**  
**HASIL DATA PENGUJIAN**

## WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

Name : Kalila Ziva		Length : 250 mm
Material : ASTM A-36		Width : 150 mm
Position : 1G		Thickness : 12 mm

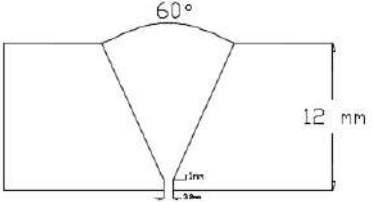
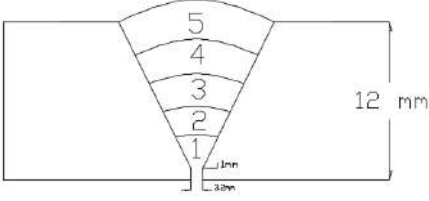
Welding Process	SMAW	SMAW	SMAW
Layer	ROOT	FILL	CAPP
Electrode	E6013	E6013	E6013
Polarity	DC	DC	DC
Shielding Gas	N/A	N/A	N/A
Purge Gas	N/A	N/A	N/A

Layer	Dia. (mm)	Ampere	Volt	Speed (mm/min)	Heat input (J/mm)	Weld Preparation
1	3.2	96.5	22-24	102.04	1305.07	
2	3.2	139	26-28	144.51	1558.25	
3	3.2	144	26-27	142.85	1572.48	
4	3.2	144	25-28	126.26	1847.58	
5	3.2	142	27-29	102.88	2318.8	
°						
<b>Note :</b> 1. Preheat and Postheat : - 2. Underwater						<b>Pass Location</b> 

## WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

Name : Kalila Ziva		Length : 250 mm
Material : ASTM A-36		Width : 150 mm
Position : 1G		Thickness : 12 mm

Welding Process	SMAW	SMAW	SMAW
Layer	<b>ROOT</b>	<b>FILL</b>	<b>CAPP</b>
Electrode	E6010	E6010	E6010
Polarity	DC	DC	DC
Shielding Gas	N/A	N/A	N/A
Purge Gas	N/A	N/A	N/A

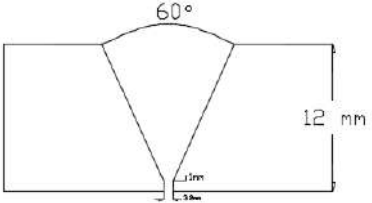
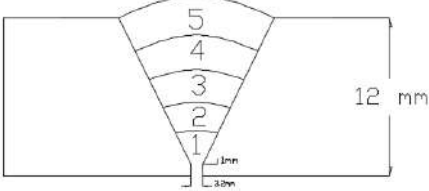
Layer	Dia. (mm)	Ampere	Volt	Speed (mm/min)	Heat input (J/mm)	Weld Preparation
1	3.2	87	30-34	66.67	2505.6	
2	3.2	105	40-43	102.88	2571.912	
3	3.2	123	40-42	125	2420.64	
4	3.2	93	40-42	80.12	2855.17	
5	3.2	95	39-41	93.63	2435.04	
<p>Note :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preheat and Postheat : -</li> <li>2. Underwater</li> </ol>						<p>Pass Location</p> 



## WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

Name : Kalila Ziva		Length : 250 mm
Material : ASTM A-36		Width : 150 mm
Position : 1G		Thickness : 12 mm

Welding Process	SMAW	SMAW	SMAW
Layer	<b>ROOT</b>	<b>FILL</b>	<b>CAPP</b>
Electrode	E6013	E6013	E6013
Polarity	DC	DC	DC
Shielding Gas	N/A	N/A	N/A
Purge Gas	N/A	N/A	N/A

Layer	Dia. (mm)	Ampere	Volt	Speed (mm/min)	Heat input (J/mm)	Weld Preparation
1	3.2	64	28-32	40	2880	
2	3.2	86	34-38	89.28	2080.51	
3	3.2	85	28-32	89.29	1713.6	
4	3.2	84	28-32	36.76	4112.64	
5	3.2	83	29-31	56.43	2647.37	
<p>Note :</p> <p>1. Preheat and Postheat : -</p>						<p>Pass Location</p> 

## WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

Name : Kalila Ziva		Length : 250 mm
Material : ASTM A-36		Width : 150 mm
Position : 1G		Thickness : 12 mm

Welding Process	SMAW	SMAW	SMAW
Layer	ROOT	FILL	CAPP
Electrode	E6010	E6010	E6010
Polarity	DC	DC	DC
Shielding Gas	N/A	N/A	N/A
Purge Gas	N/A	N/A	N/A

Layer	Dia. (mm)	Ampere	Volt	Speed (mm/min)	Heat input (J/mm)	Weld Preparation
1	3.2	69	46-49	51.33	3871.07	
2	3.2	119	47-49	115.2	2974.81	
3	3.2	121	47-49	132.97	2620.57	
4	3.2	109	48-50	93.63	3422.51	
5	3.2	108	46-49	2504.6	124.184	
<p>Note :</p> <p>3. Preheat and Postheat : -</p>						

**REPORT ON TEST RESULT NO. :**

**/IT2.4.I.1/PM.05.02/2017**

**Page 1 of 2**

DATE : 06/06/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASME Section IX 2013  
 PQRNO. :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : Plate ASTM A36 to Plate ASTM A36  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 TEST POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi

**1. TENSILE TEST**

TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK	CSA	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
13UW-1	Good	19.5	12.1	235.95	100000	134500	423.82	570.04	Base Metal
13UW-2	Good	19.6	12	235.2	101000	135500	429.42	576.11	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

**2. CHARPY V-NOTCH IMPACT TEST**

TEST PIECE CODE	LENGTH	WIDTH	THICKNESS AT NOTCH	TEMPERATURE	ENERGY	
	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(JOULE)	AVERAGE
13UW-WM1	55.2	9.9	7.9	28	72	
13UW-WM2	55.31	9.82	7.95	28	76	
13UW-HAZ1	55	9.79	7.8	28	130.5	
13UW-HAZ2	55.1	9.9	7.87	28	125	

Equipment: Charpy Impact Testing Machine "Otto Wolpert-Werke GMBH, PW-15"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction  
  
 Didik Tjatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001

**REPORT ON TEST RESULT NO. :**  
**/IT2.4.I.1/PM.05.02/2017**

**Page 1 of 2**

DATE : 06/06/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASME Section IX 2013  
 PQRNO. :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : Plate ASTM A36 to Plate ASTM A36  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 TEST POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK	CSA	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
10UW-1	Good	19	11.8	224.2	80	120.8	356.82	538.8	Base Metal
10UW-2	Good	19	11.7	222.3	83	120.3	373.37	541.16	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. CHARPY V-NOTCH IMPACT TEST						
TEST PIECE CODE	LENGTH	WIDTH	THICKNESS AT NOTCH	TEMPERATURE	ENERGY	
	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(JOULE)	AVERAGE
10UW-WM1	55	9.7	7.8	28	66	
10UW-WM2	55.25	9.8	7.8	28	60.5	
10UW-HAZ1	55.3	9.82	7.8	28	128	
10UW-HAZ2	55.1	9.86	7.9	28	110	

Equipment: Charpy Impact Testing Machine "Otto Wolpert-Werke GMBH, PW-15"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001



**REPORT ON TEST RESULT NO. :**

**/IT2.4.I.1/PM.05.02/2017**

**Page 1 of 2**

DATE : 06/06/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASME Section IX 2013  
 PQRNO. :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : Plate ASTM A36 to Plate ASTM A36  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 TEST POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK	CSA	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
13D-1	Good	19.43	12	233.16	95	124	407.45	531.82	Base Metal
13D-2	Good	19.5	11.8	230.1	89	109	386.79	473.71	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. CHARPY V-NOTCH IMPACT TEST						
TEST PIECE CODE	LENGTH	WIDTH	THICKNESS AT NOTCH	TEMPERATURE	ENERGY	
	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(JOULE)	AVERAGE
13D-WM1	55	9.8	7.86	28	100	
13D-WM2	55.1	9.9	7.97	28	89	
13D-HAZ1	55.4	9.8	7.8	28	123.5	
13D-HAZ2	55	9.9	7.9	28	90	

Equipment: Charpy Impact Testing Machine "Otto Wolpert-Werke GMBH, PW-15"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto  
NIP. 19620115 198103 1 001

**REPORT ON TEST RESULT NO. :**  
**/IT2.4.I.1/PM.05.02/2017**

**Page 1 of 2**

DATE : 06/06/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASME Section IX 2013  
 PQRNO. :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : Plate ASTM A36 to Plate ASTM A36  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 TEST POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi

1. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK	CSA	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
10D-1	Good	19.1	11.8	225.38	80	118	354.96	523.56	Base Metal
10D-2	Good	19	11.7	222.3	86	119	386.86	535.31	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

2. CHARPY V-NOTCH IMPACT TEST						
TEST PIECE CODE	LENGTH	WIDTH	THICKNESS AT NOTCH	TEMPERATURE	ENERGY	
	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(JOULE)	AVERAGE
10D-WM1	55.2	9.9	7.97	28	60	
10D-WM2	55.	9.9	7.9	28	64.5	
10D-HAZ1	55	9.86	7.82	28	124	
10D-HAZ2	55.1	9.8	7.89	28	119.5	

Equipment: Charpy Impact Testing Machine "Otto Wolpert-Werke GMBH, PW-15"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

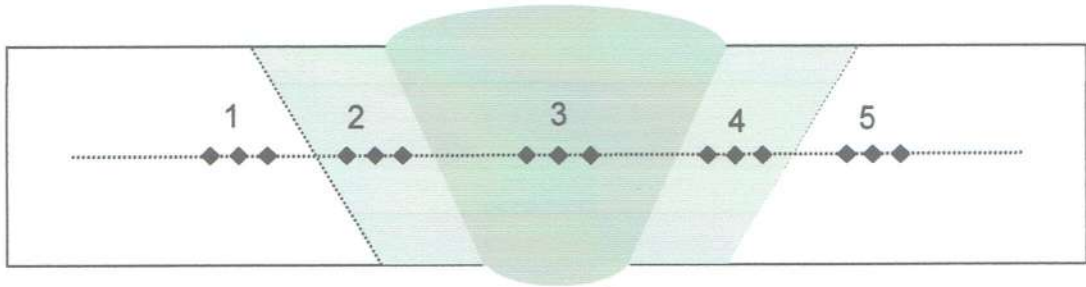
Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001

DATE : 8/6/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASTM E92  
 WPS NUMBER :  
 PQR NUMBER :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36  
 DIAMETER :  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 FILLER METAL : E6013  
 WELDING POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi  
 PROJECT NAME : Tugas Akhir

**3. HARDNESS TEST**



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)													
	Base Metal		H A Z			Weld Metal			H A Z		Base Metal			
	1		2			3			4		5			
SMAW			191	183	177.4	189.5	206.9	208.5						
Average			183.38			201.63								

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction

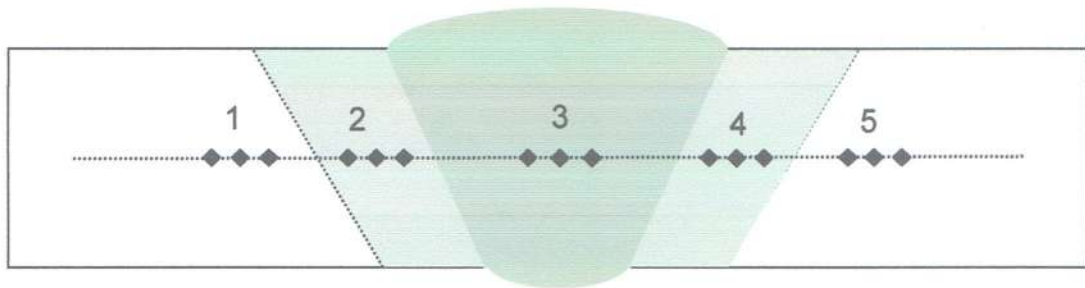


Didik Tjatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001



DATE : 8/6/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASTM E92  
 WPS NUMBER :  
 PQR NUMBER :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36  
 DIAMETER :  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 FILLER METAL : E6010  
 WELDING POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi  
 PROJECT NAME : Tugas Akhir

**3. HARDNESS TEST**



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)											
	Base Metal		H A Z			Weld Metal			H A Z		Base Metal	
	1		2			3			4		5	
<b>SMAW</b>			165.3	169.6	174.4	208	198.4	196.1				
<b>Average</b>			169.77			200.83						

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction

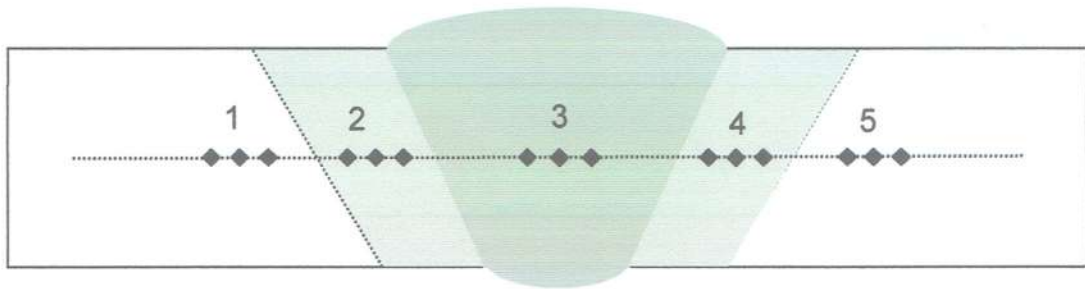


Didik Tjatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001



DATE : 8/6/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASTM E92  
 WPS NUMBER :  
 PQR NUMBER :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36  
 DIAMETER :  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW D  
 FILLER METAL : E6013  
 WELDING POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi  
 PROJECT NAME : Tugas Akhir

**3. HARDNESS TEST**



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)											
	Base Metal		H A Z			Weld Metal			H A Z		Base Metal	
	1		2			3			4		5	
<b>SMAW</b>			148.2	166.3	117.5	181.8	170.5	190.7				
<b>Average</b>			144			181						

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

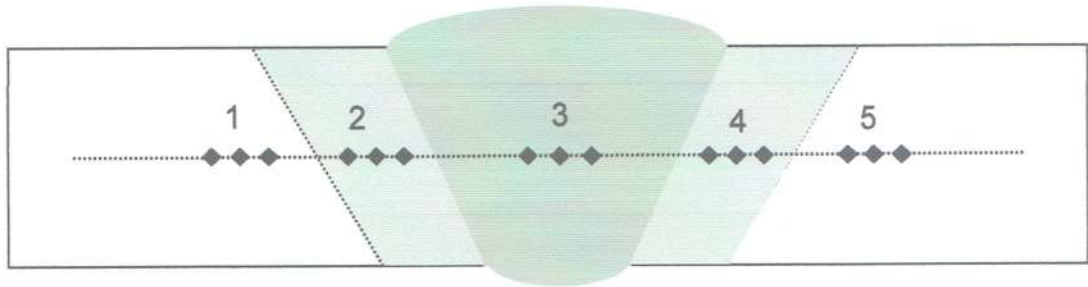
Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction

  
 Didik Tjatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001

DATE : 8/6/2017  
 ORDER FROM : Tugas Akhir Kalila  
 TEST STANDARD : ASTM E92  
 WPS NUMBER :  
 PQR NUMBER :  
 JOINT DESIGN : Butt Joint  
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36  
 DIAMETER :  
 THICKNESS : 12 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW (D)  
 FILLER METAL : E6010  
 WELDING POSITION : 1G  
 WELDER NAME : Pardi  
 PROJECT NAME : Tugas Akhir

**3. HARDNESS TEST**



Location	Vickers Hardness Number (HV. 1)											
	Base Metal		H A Z			Weld Metal			H A Z		Base Metal	
	1		2			3			4		5	
SMAW			165.1	163	177.8	175.9	201.5	197.4				
Average			168.63			191.6						

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto

NIP. 19620115 198103 1 001

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta tanggal 27 Februari 1995 dan merupakan anak pertama dari satu bersaudara. Putri pasangan Bapak Ahmad Fajar Kunaefi dan Ibu Junita Zulkarnain ini menempuh pendidikan mulai dari TK Patra Jakarta 2000-2001, SD Tarakanita 2 Jakarta 2001-2007, SMP Tarakanita 1 Jakarta 2007-2010 dan SMA Negeri 78 Jakarta pada tahun 2010-2013. Setelah lulus dari jenjang SMA, penulis melanjutkan studinya ke tahap sarjana di Jurusan Teknik Kelautan, FTK ITS.

Selama empat tahun menjalani masa studi, penulis menjadi panitia dalam acara MARTEC ‘*9th International Conference on Maritime Technology*’ pada tahun 2014 dan menjadi panitia *Public Relation* pada acara *Ocean Engineering Exhibition and Competition* pada tahun 2016. Penulis merupakan wakil ketua untuk acara *Study Excursion Ocean Engineering* 2016. Selain itu penulis juga aktif dalam kepanitian kegiatan acara seperti ‘*FTK Business and Professional Gathering*’, ‘*International Seminar on Ocean, Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*’ serta menjadi salah satu staff inti pada Himpunan Departemen Teknik Kelautan 2015-2016 divisi Hubungan Luar. Dan menjadi salah satu ambassador Bentley Software di ITS pada tahun 2015-2016. Selama perkuliahan penulis memenangkan beberapa kegiatan perlombaan olahraga futsal. Penulis mendapat pengalaman kerja praktek di PT. FMC Santana Petroleum Equipment Indonesia (Jakarta, Indonesia).

Kontak Penulis :

Email : kalilaziva@gmail.com