



TUGAS AKHIR - TM 145502

# PENGARUH KEDALAMAN PROSES PENGELASAN UNDER WATER MENGGUNAKAN MATERIAL ST 41 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MAKRO

DIMAS ACHMAD MUHAMMAD  
10211400000111

Dosen Pembimbing  
Ir. GATHOT DWI WINARTO, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



**TUGAS AKHIR - TM 095502**

**PENGARUH KEDALAMAN PROSES PENGELASAN UNDER  
WATER MENGGUNAKAN MATERIAL ST 41 TERHADAP  
NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MAKRO**

**DIMAS ACHMAD MUHAMMAD  
NRP.1021140000111**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT  
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DEPARTEMEN  
JURUSAN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi**



**FINAL PROJECT - TM 145502**

**EFFECT OF DEPTH ON SMAW UNDER WATER WELDING  
PROCESS USING ST 41 STEEL TO HARDNESS VALUE AND  
MACRO STRUCTURE**

**DIMAS ACHMAD MUHAMMAD  
1021140000111**

**Advisor  
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT  
19580915 198701 1 001**

**DEPARTEMENT INDUSTRY OF MECHANICAL ENGINEERING  
PROGRAM FACULTY OF VOCATIONAL  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PENGARUH KEDALAMAN PROSES PENGELASAN UNDER WATER PADA MATERIAL ST 41 TERHADAP NILAI KEKERASAN STRUKTUR MAKRO**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada  
Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DIMAS ACHMAD MUHAMMAD**  
**NRP. 1021140000111**

Mengetahui dan Menyetujui

**Dosen Pembimbing**



**Ir. Gathot Dwi Winarto, MT**  
**NIP. 19580915 198701 1 001**

**SURABAYA, JULI 2018**

**“PENGARUH KEDALAMAN PADA PROSES  
PENGELASAN UNDER WATER WELDING  
MENGUNAKAN MATERIAL ST 41 TERHADAP  
STRUKTUR MAKRO DAN NILAI KEKERASAN”**

**Nama Mahasiswa** : Dimas Achmad Muhammad  
**NRP** : 1021140000111  
**Jurusan** : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

**Abstrak**

*Proses pengelasan bawah air atau biasa disebut Under water Welding adalah merupakan salah satu teknik pengelasan yang digunakan untuk memperbaiki atau memperbaiki kerusakan yang terjadi secara darurat atau emergency pada badan kapal, bangunan lepas pantai atau akan membutuhkan beberapa intervensi bawah air untuk perawatannya.*

*Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan oleh peneliti adalah pengelasan dengan variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm dan 15 cm. Pengelasan dilakukan dengan Underwater Welding pada material baja ST 41 dengan Elektroda E 7016 dengan kampuh V tunggal 60°. Kemudian diuji dengan menggunakan kekerasan dan makro etsa.*

*Pada pengujian kekerasan, didapatkan hasil bahwa spesimen dengan kedalaman proses pengelasan 8 cm memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah daripada kedalaman proses pengelasan 15 cm. Di dapat nilai kekerasan pada kedalaman pengelasan 8 cm sebesar 91,5 HRB, tepatnya pada Spesimen 2A bagian Weld Metal sebelah kanan layer ke 2. Sedangkan pada kedalaman pengelasan 15 cm sebesar 92,0 HRB tepatnya pada Spesimen 2B bagian Weld Metal sebelah kiri layer ke 2. Untuk struktur makro didapatkan hasil bahwa specimen 1 kedalaman pengelasan 8 cm lebih lebar menghasilkan nilai lebar HAZ nya yaitu sebesar 5 mm tepatnya pada specimen*

*1 garis ke 3 bagian kiri. Sedangkan struktur makro pada specimen 2 kedalaman pengelasan 15 cm lebih sempit menghasilkan nilai lebar HAZ nya yaitu sebesar 4 mm.*

***Kata kunci :Pengelasan Under water , SMAW, Pengaruh kedalaman proses pengelasan Under water Welding, baja ST 41.***

# EFFECT OF DEPTH ON SMAW UNDER WATER WELDING PROCESS USING ST 41 STEEL TO HARDNESS VALUE AND MACRO STRUCTURE

Name of Student : Dimas Achmad Muhammad  
NRP : 1021140000111  
Department : Dept. Mechanical Engineering  
Industry FV-ITS  
Supervisor : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

## Abstract

*The underwater welding process is one of the welding techniques used to repair or repair emergency or emergency damage on the ship's body, offshore building or will require some underwater intervention for its treatment.*

*In this study, the treatment given by the researcher is welding with a variation of the welding process depth of 8 cm and 15 cm. Welding is done by Underwater Welding on ST 41 steel material with Electrode E 7016 with 60 V single camp. Then tested using hardness and macro etching.*

*In hardness testing, it was found that specimens with a depth of 8 cm welding process had a hardness value lower than the depth of the welding process 15 cm. In can be hardness value at depth of welding 8 cm equal to 91,5 HRB, precisely at 2A specimen of Weld Metal part right side of layer 2. While at depth of welding 15 cm equal to 92,0 HRB precisely on Specimen 2B Weld Metal part left side layer to 2. For the macro structure, it was found that specimen 1 welding depth 8 cm wider resulted in the width value of the HAZ which was 5 mm precisely on the specimen 1 line to the 3 left. While the macro structure on the specimen 2 welding depth of 15 cm narrower to produce the value of its HAZ width of 4 mm.*

***Keywords: Under water welding, Effect of depth of welding process Under water, ST 41 steel.***

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian yang berjudul :

“PENGARUH KEDALAMAN PROSES PENGELASAN  
UNDER WATER PADA MATERIAL ST 41 TERHADAP  
NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MAKRO”

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT selaku dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. Bapak Ir. Subowo, MSc selaku dosen pembimbing 2
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku kaprodi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi.

5. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT selaku Dosen Wali selama di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.
8. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan dalam bentuk apapun.
9. Grader Lab Metalurgi atas kerjasamanya selama proses pengerjaan Penelitian ini.
10. Teman – teman angkatan 2012, 2013, 2014, 2015 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
11. Dosen – dosen Teknik Pengelasan PPNS yang telah membantu penulis selama pengerjaan Penelitian.
12. Teman – teman di Bangkalan Nopek, Ririn, Sahrul, Mahsus, Ifa, Maek, Farida yang sudah memberi semangat dalam pengerjaan Penelitian.
13. Terima kasih kepada Arnanda Metrika Faradini yang sudah memberikan semangat dalam bentuk apapun untuk menyelesaikan pengerjaan Penelitian.
14. Terima kasih kepada Mbak Putri dan Mbak Alin yang sudah memberi semangat dan saran untuk pengerjaan penelitian.
15. Teman – teman Reng Bhengkalan Ulul, Co'eng, Dading, Deny, Fahri, Iman, Rois, Rury, Uud, Ilham yang sudah memberi semangat dalam bentuk apapun.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metodologi Penelitian .....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4

### **BAB II DASAR TEORI**

2.1 Definisi Pengelasan .....	6
2.2 SMAW Underwater Welding.....	6
2.2.1 Kendala Pada Underwater Welding .....	7
2.2.1 Metode Pengelasan pada Pengelasan Bawah Air .....	9
2.2.3 Pemecahan Masalah Dari Underwater Welding .....	11
2.3 Posisi Pada Pengelasan.....	12
2.4 Siklus Termal .....	14
2.5 Heat Input .....	15
2.6 Kodefikasi Elektroda.....	16
2.7 Material ST 41.....	17

2.7.1 Kandungan Karbon .....	20
2.8 Sifat Mekanik Material.....	21
2.9 HAZ (Heat Affected Zone) .....	23
2.10 Pengujian Material .....	24
2.11 Hardness Test .....	24
2.11.1 Pengujian Kekerasan Rockwell.....	24
2.12 Metalography test .....	26
2.12.1 Pengujian makro.....	27
2.12.2 Struktur Makro Pada Pengelasan .....	27

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Flow Chart Penelitian.....	29
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	30
3.3 Tempat Penelitian.....	30
3.4 Langkah kerja.....	30
3.4.1 Studi literatur .....	30
3.4.2 Persiapan Material.....	30
3.4.3 Pengelasan Dengan Variasi Kedalaman Pengelasan .....	33
3.4.4 Persiapan Benda Uji .....	34
3.4.5 Pengambilan Test Piece .....	35

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Parameter Pengelasan.....	38
4.2 Hardness Test (Uji Kekerasan).....	39
4.3 Metalography Test (Uji Metalografi).....	58

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	64

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pengelasan Underwater.....	12
Gambar 2.2	Posisi Pengelasan 1G .....	13
Gambar 2.3	Posisi Pengelasan 2G .....	13
Gambar 2.4	Posisi Pengelasan 3G .....	13
Gambar 2.5	Posisi Pengelasan 4G .....	14
Gambar 2.6	Siklus Termal Daerah Las .....	15
Gambar 2.7	Siklus Termal .....	15
Gambar 2.8	Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis.....	20
Gambar 2.9	Daerah HAZ.....	23
Gambar 2.10	Prinsip Kerja Rockwell .....	25
Gambar 2.11	HAZ.....	27
Gambar 3.1	Flowchart Diagram .....	29
Gambar 3.2	Dimensi Material .....	31
Gambar 3.3	Sudut Groove 30 derajat .....	31
Gambar 3.4	Material Dengan Sudut Kampuh 30 derajat .....	31
Gambar 3.5	Proses Pengelasan Kedalaman 8 cm .....	33
Gambar 3.6	Proses Pengelasan Kedalaman 15 cm .....	34
Gambar 3.7	Tank Ampere .....	34
Gambar 3.8	Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	35
Gambar 3.9	Spesimen Sebelum Di Etsa .....	37
Gambar 3.10	Alat dan Bahan Untuk Proses Etsa.....	37
Gambar 3.11	Kertas Gosok .....	37
Gambar 4.1	Titik Indentasi Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell.....	40
Gambar 4.2	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 1A Bagian Kiri Variasi Kedalaman 8 cm.....	42
Gambar 4.3	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 1A Bagian Kanan Variasi Kedalaman 8 cm.....	42
Gambar 4.4	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 2A Bagian Kiri Variasi Kedalaman 8 cm.....	44
Gambar 4.5	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 2A Bagian Kanan Variasi Kedalaman 8 cm.....	45
Gambar 4.6	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 3A Bagian	

	Kiri Variasi Kedalaman 8 cm.....	47
Gambar 4.7	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 3A Bagian Kanan Variasi Kedalaman 8 cm.....	47
Gambar 4.8	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 1B Bagian Kiri Variasi Kedalaman 15 cm.....	49
Gambar 4.9	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 1B Bagian Kanan Variasi kedalaman 15 cm.....	50
Gambar 4.10	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 2B Bagian Kiri Variasi Kedalaman 15 cm.....	52
Gambar 4.11	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 2B Bagian Kanan Variasi Kedalaman 15 cm.....	52
Gambar 4.12	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 3B Bagian Kiri Variasi Kedalaman 15 cm.....	54
Gambar 4.13	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen 3B Bagian Kanan Variasi Kedalaman 15 cm.....	55
Gambar 4.14	Letak Indentasi Pada Spesimen 1A Variasi Kedalaman 8 cm .....	55
Gambar 4.15	Letak Indentasi Pada Spesimen 2A Variasi Kedalaman 8 cm .....	56
Gambar 4.16	Letak Indentasi Pada Spesimen 3A Variasi Kedalaman 8 cm .....	56
Gambar 4.17	Letak Indentasi Pada Spesimen 1B Variasi Kedalaman 15 cm .....	57
Gambar 4.18	Letak Indentasi Pada Spesimen 2B Variasi Kedalaman 15 cm .....	57
Gambar 4.19	Letak Indentasi Pada Spesimen 3B Variasi Kedalaman 15 cm .....	58
Gambar 4.20	Foto Lebar HAZ Lasan Spesimen 1 Variasi Kedalaman 8 cm .....	59
Gambar 4.21	Grafik lebar HAZ Spesimen 1 kedalaman 8 cm .....	60
Gambar 4.22	Foto Lebar HAZ Lasan Spesimen 2 Variasi Kedalaman 15 cm .....	61
Gambar 4.23	Grafik lebar HAZ Spesimen 2 kedalaman 15 cm .....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Chemical Composition .....	17
Tabel 2.2	Sifat Mekanik ST 41 .....	18
Tabel 2.3	Karakteristik Dari 5 Elemen Pada Baja .....	18
Tabel 2.4	Klasifikasi Baja Karbon .....	21
Tabel 2.5	Skala Uji Kekerasan Rockwell .....	26
Tabel 3.1	Logam Induk dan Pengisi .....	32
Tabel 3.2	Parameter Pengelasan Kedalaman 8 cm .....	32
Tabel 3.3	Parameter Pengelasan Kedalaman 15 cm .....	32
Tabel 4.1	Logam Induk E 7016 .....	38
Tabel 4.2	Parameter Pengelasan Kedalaman 8 cm .....	38
Tabel 4.3	Parameter Pengelasan Kedalaman 15 cm .....	38
Tabel 4.4	Heat Input .....	38
Tabel 4.5	Nilai Kekerasan Spesimen 1A Variasi Kedalaman 8 cm .....	40
Tabel 4.6	Nilai Kekerasan Spesimen 2A Variasi Kedalaman 8 cm .....	43
Tabel 4.7	Nilai Kekerasan Spesimen 3A Variasi Kedalaman 8 cm .....	45
Tabel 4.8	Nilai Kekerasan Spesimen 1B Variasi Kedalaman 15 cm .....	48
Tabel 4.9	Nilai Kekerasan Spesimen 2B Variasi Kedalaman 15 cm .....	50
Tabel 4.10	Nilai Kekerasan Spesimen 3B Variasi Kedalaman 15 cm .....	53
Tabel 4.11	Tabel Keseluruhan Nilai Kekerasan Spesimen 1A dan 1B .....	57
Tabel 4.12	Tabel Keseluruhan Nilai Kekerasan Spesimen 2A dan 2B .....	59
Tabel 4.13	Tabel Keseluruhan Nilai Kekerasan Spesimen 3A dan 3B .....	60
Tabel 4.14	Tebel Hasil Perbandingan Nilai kekerasan proses pengelasan kedalaman 8 cm dan 15 cm .....	61
Tabel 4.15	Lebar HAZ pada spesimen 1 variasi kedalaman proses kedalaman 8 cm .....	65

Tabel 4.16	Lebar HAZ pada spesimen 2 variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.....	67
Tabel 4.17	Tabel keseluruhan lebar HAZ specimen 1 dan specimen 2 bagian kiri .....	68
Tabel 4.18	Tabel keseluruhan lebar HAZ specimen 1 dan specimen 2 bagian kanan .....	69
Tabel 4.19	Tabel perbandingan lebar HAZ specimen 1 dan specimen 2 pengujian Makro Etsa.....	69

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proses pengelasan bawah air merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memperbaiki atau memperbaiki kerusakan yang terjadi pada badan kapal, bangunan lepas pantai, penyambungan pipa-pipa minyak dan maupun konstruksi-konstruksi lainnya yang terendam air. Selama masa operasinya, struktur bangunan lepas pantai akan membutuhkan beberapa intervensi bawah air untuk perawatan, perbaikan atau perubahan, seperti: perbaikan karena kesalahan desain, dan lain-lain. Namun di Indonesia pengelasan bawah air masih merupakan hal yang asing sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi industri maupun masyarakat luas. Kontribusi yang diberikan dengan melakukan pengelasan bawah air menggunakan metode pengelasan SMAW dan menganalisa pengaruhnya terhadap hasil pengelasan. Melalui tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kekuatan sambungan baja ST 41 dengan variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm dan 15 cm menggunakan metode pengelasan SMAW Underwater Welding dengan elektroda AWS E7016 yang dilapisi dengan isolasi. Dari penelitian ini diharapkan akan didapat informasi mengenai kekuatan sambungan material, nilai kekerasan pada material, dan struktur makro pada material ST 41. Sehingga dari penelitian ini dapat di ketahui bahwa perbaikan struktur platform atau kapal yang menggunakan ST 41 bisa menggunakan metode SMAW Underwater Welding dengan elektroda AWS E7016 yang telah disolasi.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan tersebut adalah :

1. Bagaimana nilai kekerasan dari pengaruh kedalaman proses pengelasan pada material ST 41 hasil pengelasan SMAW underwater welding.
2. Bagaimana struktur makro dari pengaruh kedalaman proses pengelasan pada material ST 41 hasil pengelasan SMAW underwater welding.

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan tugas akhir ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan proses SMAW Underwater welding dengan posisi 1G.
2. Ampere yang digunakan adalah 80 Ampere dan kampuh yang digunakan adalah single V groove 60°.
3. Material yang digunakan adalah ST 41 dengan tebal 6 mm.
4. Elektroda yang digunakan adalah AWS E7016 dengan diameter 3.2 mm.
5. Pengujian yang dilakukan adalah Hardness Test dan Metalography Test.
6. Pada Proses pengelasan Holder las tidak masuk ke dalam air, akan tetapi elektroda yang masuk ke dalam air.

### **1.4 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui nilai kekerasan dari pengaruh kedalaman proses pengelasan 8 cm dan 15 cm.
2. Mengetahui struktur makro dari pengaruh kedalaman proses pengelasan 8 cm dan 15 cm.

### **1.5 Manfaat**

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh kedalaman proses pengelasan terhadap nilai

kekerasan dan ketangguhan dari material ST 41 hasil pengelasan SMAW Underwater welding.

## **1.6 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur  
Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji kekerasan dan uji metalografi.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing  
Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.
3. Observasi Data  
Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data  
Menganalisa hasil pengujian kekerasan dan pengujian metalografi yang terjadi pada bagian logam hasil las setelah dilakukan pengelasan dengan diberikan variasi kedalaman proses pengelasan.
5. Membuat Kesimpulan  
Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjabaran mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

### **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Definisi Pengelasan**

Pengelasan (Welding) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan logam pengisi atau tanpa logam pengisi (filler) dan dengan tekanan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara Brazing dan Soldering. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara Brazing dan Soldering adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses Brazing berkisar  $450^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk Soldering, titik cair logam pengisinya kurang dari  $450^{\circ}\text{C}$ .

#### **2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Underwater Welding**

Teknologi pengelasan basah bawah air (Underwater Welding) adalah pengelasan yang dilakukan di bawah air, umumnya laut. sering sekali digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada badan kapal dan perbaikan struktur kapal, konstruksi pipa air, konstruksi pipa minyak dan gas, konstruksi jembatan di atas air maupun konstruksi pengeboran lepas pantai, bangunan lepas pantai serta konstruksi lainnya yang terendam air.

Pada pelaksanaannya, pengelasan di permukaan air masih merupakan prioritas utama sedangkan pengelasan bawah air adalah alternatif lain yang dipilih bilamana tidak memungkinkan untuk dikerjakan di permukaan air. Ada beberapa keuntungan yang didapat dari teknik las dalam air ini, diantaranya adalah biaya yang relatif lebih murah dan

persiapan yang dibutuhkan jauh lebih singkat dibanding dengan teknik yang lain.

### **2.2.1 Kendala pada Underwater Welding**

- Class, baik DNV atau LR belum menerima teknik ini untuk perbaikan yang sifatnya permanen. Terdapat weld defects yang hampir selalu menyertai (porosity, lack of fusion, cracking) yang memberatkan teknik pengelasan ini untuk tujuan-tujuan perbaikan permanen. Pada perbaikan elemen yang dapat dikatakan kurang penting, class sudah bisa menerimanya sebagai permanen bersyarat yaitu bisa dianggap sebagai permanen asal dalam inspeksi mendatang tidak ditemukan penurunan yang signifikan dari kualitas pengelasan.
- Mengacu pada AWS D3.6:1999 yaitu Specification for underwater welding, hasil terbaik yang bisa diperoleh dari teknik ini adalah baru Class B. Hasil seperti ini hanya bisa diterima bila tujuan pengelasan hanya untuk aplikasi yang kurang penting atau kritis dimana ductility yang lebih rendah, porosity yang lebih banyak walaupun pengelasan ini dipakai hanya diaplikasi untuk tujuan yang sifatnya fit for purpose atau darurat saja.
- Tingginya resiko hydrogen cracking di area HAZ terutama untuk material yang mempunyai kadar karbon equivalent lebih tinggi dari 0.4%. Terutama di Laut Utara, struktur lepas pantainya biasa menggunakan material ini.
- Berdasarkan pengalaman yang ada di industri, teknik pengelasan ini hanya dilakukan sampai kedalam yang tidak lebih dari 30 meter.
- Produsen elektroda komersial juga membatasi penggunaannya sampai kedalaman 100 meter saja.

- Sifat hasil pengelasan juga memburuk dengan bertambahnya kedalaman, terutama ductility dan toughness (charpy impact).
- Karena kontak langsung dengan air, maka air di sekitar area pengelasan menjadi mendidih dan terionisasi menjadi gas oksigen dan hidrogen. Sebagian gas ini melebur ke area HAZ tapi sebagian besar lainnya akan mengalir ke udara. Bila aliran ini tertahan, maka akan terjadi resiko ledakan yang biasanya membahayakan penyelam.

Perusahaan pengeboran lepas pantai dan industri perkapalan adalah konsumen terbesar terhadap jasa pengelasan bawah air ini. Mengingat pengerjaan las bawah air tersebut rentan terhadap resiko kecelakaan terhadap sang welder seperti mendapatkan electrical shock atau biasa kita sebut kesetrum, gas tabung yang digunakan untuk mengelas didalam laut berpotensi meledak, nitrogen yang digunakan untuk pengelasan bisa terhirup dan bercampur dengan darah welder, hingga resiko karena factor alam bawah laut (Arus pusaran air laut dan serangan ikan hiu). Resiko pekerjaan yang begitu tinggi sebagai tukang las bawah laut tentunya berbanding lurus dengan hasil atau salary yang didapat.

Perlu diketahui, di Indonesia sendiri untuk mendapatkan pekerjaan seperti ini tidaklah mudah, mereka harus memiliki sebuah ijin atau sertifikat dari badan yang berwenang. Yaitu sebuah sertifikasi yang dikeluarkan oleh API yaitu Asosiasi Pengelasan Indonesia atau biasa di kenal dengan (Indonesian Welding Society). Selain itu yang tidak kalah penting juga sertifikasi sebagai penyelam.

Lokasi pendidikan keahlian pengelasan di bawah air (welding underwater) pertama di Indonesia yang masih langka itu berada di Solo Techno Park. Lembaga pendidikan yang didirikan Pemerintah Kota Surakarta didukung Kementerian Perindustrian dan Perdagangan itu bergerak

khusus di bidang pengelasan dengan standar internasional. Peserta pelatihan pengelasan bawah air di STP dipatok dalam waktu 2-3 bulan sudah mahir dan bersertifikasi underwater wet welding.

Tak sembarang orang boleh mengikuti pendidikan selama dua bulan itu. Hanya mereka yang bisa berenang, lalu ikut pendidikan menyelam dan sudah memiliki sertifikat menyelam yang boleh ikut pendidikan ini. Syarat itu harus dipenuhi karena resiko pekerjaan tersebut sangat tinggi Materi pelatihan yang diberikan meliputi teknik las umum, teknik dan konstruksi las bawah air, salvage dan penyelaman serta pengelasan bawah air.

Kurikulum pelatihan mengacu pada Manhein University Jerman. Para instruktur merupakan tenaga ahli dari ATMI dan INLASTEK. Untuk beberapa bidang khusus, STP juga mendatangkan tenaga expert dari Jerman. Fasilitas pelatihan yang pengadaannya didukung penuh oleh Dirjen Industri Unggulan Berbasis Teknologi Tinggi terdiri dari mesin untuk las octogen, MIG/MAC/TIG, electric (MMA) perlengkapan las bawah air (UW), mesin uji radiografi, tensile test, impact, magnetic test, dye penetrant test dan X-ray test.

### **2.2.2 Metode Pengelasan pada Pengelasan Bawah Air**

Metode perbaikan akan dibutuhkan seperti pengelasan bawah air (underwater welding). Dua kategori utama pada teknik pengelasan di dalam air adalah pengelasan basah (Wet Underwater welding) dan pengelasan kering (Dry Underwater Welding).

- **Metode Pengelasan Basah (Wet Underwater Welding)**

Dimana proses pengelasan ini berlangsung dalam keadaan basah dalam arti bahwa elektrode maupun benda

berhubungan langsung dengan air. Aplikasi pengelasan sampai kedalaman 150 m. Metode pengelasan memberikan hasil yang kurang memuaskan, disamping memerlukan welder yang memiliki keahlian menyelam yang tangguh dan memerlukan pakaian khusus untuk selam, gelembung gas yang terjadi selama proses pengelasan akan sangat mengganggu pengamatan welder tersebut. Adapun proses pengelasan yang dipakai SMAW, FCAW dan MIG.

Shielded metal arc welding (SMAW) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda). SMAW merupakan pekerjaan manual dengan peralatan meliputi power source, kabel elektroda, kabel kerja (work cable), electrode holder, work clamp, dan elektroda. Elektroda dan system kerja adalah bagian dari rangkaian listrik.

Flux cored arc welding (FCAW) merupakan las busur listrik fluk inti tengah / pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk.

- **Metode Pengelasan Kering (Dry Underwater Welding)**

Metode pengelasan ini tidak berbeda dengan pengelasan pada udara terbuka. Hal ini dapat dilakukan dengan bantuan suatu peralatan yang bertekanan tinggi yang biasa disebut dengan Dry Hyperbaric Weld Chamber, dimana alat ini secara otomatis didesain kedap air seperti layak desain kapal selam. Aplikasi pengelasan sampai kedalaman 150 m kebawah.

Seorang welder atau diver sebelum menjalankan tugas ini tidak boleh langsung terjun pada kedalaman yang dituju, tetapi harus menyesuaikan terlebih dahulu step by step tekanan yang terjadi pada kedalaman tertentu sampai dapat menyesuaikan tekanan yang terjadi pada kedalaman yang dituju, otomatis untuk pengelasan 1 joint bisa memakan waktu yang cukup lama.

### **2.2.3 Pemecahan Masalah dari Underwater Welding**

Meskipun ada beberapa kendala yang membuat pihak industri yang enggan untuk memakai teknik pengelasan ini, sebenarnya terdapat beberapa usaha perbaikan yang telah dilakukan, baik dalam teknik pengelasan maupun mutu elektrodanya, yaitu :

- Hydrogen cracking dan hardness di area HAZ bisa diminimalisasi atau dihindari dengan penerapan teknik multiple temper bead (MTB). Konsep dari teknik ini adalah dengan mengontrol rasio panas (heat input) diantara lapisan-lapisan bead pengelasan. Pengontrolan panas ini, ukuran bead pada lapisan pengelasan pertama harus disesuaikan sehingga penetrasi minimum ke material bisa didapat. Begitu juga untuk lapisan yang kedua dan seterusnya. Terdapat tiga parameter yang mempengaruhi kualitas pengelasan dalam penerapan MTB ini, yaitu jarak antara temper bead, rentang waktu pengelasan, dan heat input.
- Teknik buttering juga bisa digunakan terutama untuk material dengan CE lebih dari 0.4%. Elektroda butter yang digunakan bisa elektroda yang punya oxidizing agent atau elektroda thermit.
- Pemakaian elektroda dengan oxidizing agent. Agent ini akan menyerap kembali gas hidrogen atau oksigen yang terserap di HAZ.

- Pemakaian thermit elektroda juga bisa digunakan. Elektroda jenis ini akan memproduksi panas yang tinggi dan pemberian material las (weld metal) yang sedikit sehingga mengurangi kecepatan pendinginan dari hasil pengelasan oleh suhu di sekitarnya sehingga terjadi semacam proses post welding heat treatment.
- Elektroda berbasis nikel bisa menahan hidrogen untuk tidak berdifusi ke area HAZ. Sayangnya hardness di area HAZ masih tinggi dan kualitas pengelasan hanya baik untuk kedalaman sampai 10 meter.

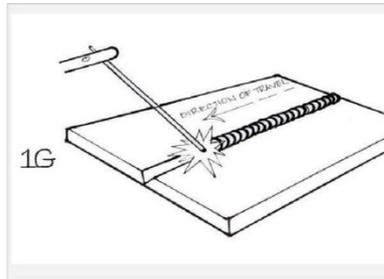


**Gambar 2.1** Proses Pengelasan Underwater

### **2.3 Posisi Pada Pengelasan**

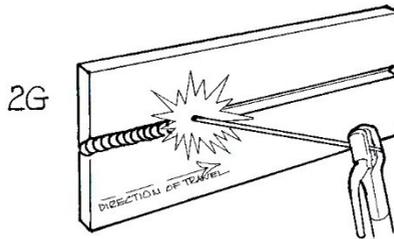
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam, yaitu:

- Posisi ( 1G )



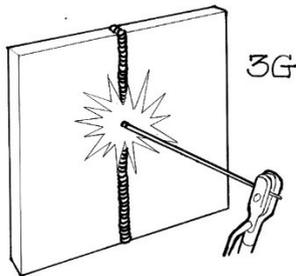
**Gambar 2.2** Posisi pengelasan 1G

- Posisi ( 2G )



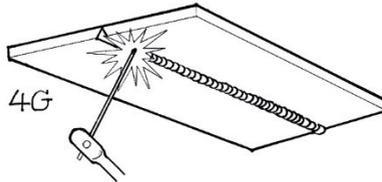
**Gambar 2.3** Posisi pengelasan 2G

- Posisi ( 3G )



## Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G

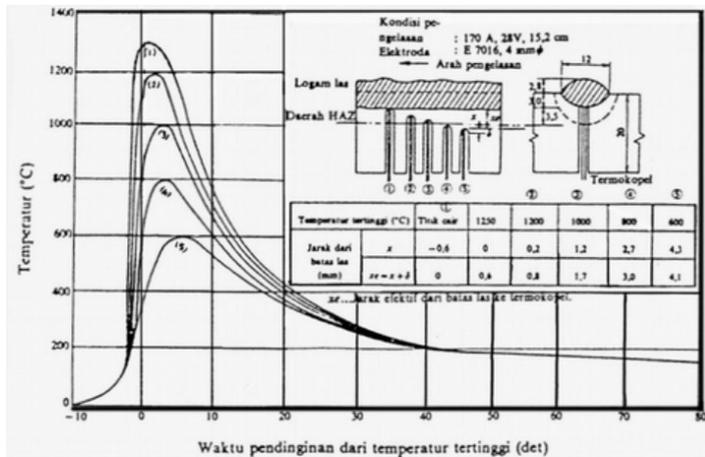
- Posisi ( 4G )



## Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G

### 2.3 Siklus Termal Daerah Las (*Heat Affected Zone*)

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi pada daerah lasan. Pada proses las terjadi proses pemanasan dan juga pendinginan maka dapat dikatakan proses las juga proses heat treatment hanya saja terjadinya lokal, tidak seperti proses heat treatment pada umumnya. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan. Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah ini. Secara umum struktur dan sifat daerah panas umum efektif dipengaruhi dari lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk itu sendiri. Untuk melihat fenomena proses tersebut dapat dilihat pada grafik siklus termal las.



Gambar 2.6 Grafik Siklus Termal

## SIKLUS TERMAL DAERAH LAS

**DAERAH LAS :**

1. logam las ( weldment )
2. daerah pengaruh panas (Heat Affected Zone) yang disingkat menjadi daerah HAZ
3. logam induk ( Base Metal or Parent metal )

Logam las

HAZ

Logam induk

Gambar 2.7 Siklus Termal

## 2.5 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang

diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltase) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (heat input). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut heat input. Persamaan dari heat input hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

Masukan panas : 
$$HI = \frac{V \times I \times 0.06}{s} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Dimana: HI= Masukan panas atau energi ( J/mm )  
 I= Arus ( Ampere )  
 V=Voltase ( Volt )  
 s=Kecepatan pengelasan ( mm/s )

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

**2.6 Kodifikasi Elektroda**

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (flux) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi flux atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan

apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (American Welding Society) dan ASTM (American Society Testing Material).

Adapun kodifikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh : E70XX

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

70 : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

X : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

X : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

## 2.7 Material ST 41

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material ST 41. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

**Tabel 2.1** Nilai Chemical Composition

Komposisi kimia ST 41		
NO	Nama Unsur	Persentase
1	Mangan (Mn)	0.8-1.4
2	Karbon (C)	0.20
3	Silikon (Si)	0,25
4	Fosfor (P)	0,03
5	Belerang (S)	0,035

**Tabel 2.2** Sifat Mekanik ST 41A ST 41 steel Mechanical properties

Grade	Type	Thickness mm	Yield strength Mpa(min)	Tensile Strength MPa	Elongation % (min)	Impact Energy (KJ) (min)		
						-20°	0°	+20
A ST 41	Normalized	<16 16 >	265	410-530	22	27	34	40
		to<40 40 >	255	410-530	22	27	34	40
		to<60 60 >	245	410-530	22	27	34	40
		to<100 100	215	410-530	22	27	34	40
		> to<150	200	400-530	22	27	34	40
		150 >	185	390-530	22	27	34	40

**Tabel 2.3** Karakteristik dari 5 elemen pada baja

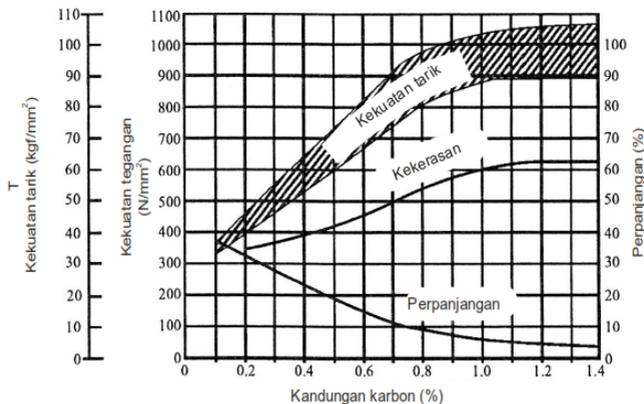
Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silikon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3%	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.

		silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan

			ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.
--	--	--	--

### 2.7.1 Kandungan karbon

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik mulur dan kekerasan tetapi menurunkan machineability dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah.



**Gambar 2.8** Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Sehubungan dengan kandungan karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan baja keras yang dapat dikeraskan dan baja lunak yang tidak dapat dikeraskan

**Table 2.4** Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% sampai 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% sampai 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% sampai 2,0%	Baja untuk rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur.

## 2.8 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material atau komponen tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

### A. Kekuatan (Strenght)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

### B. Kekakuan (stiffness)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk.

### C. Kekenyalan (elasticity)

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan atau

dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami perubahan bentuk (deformasi).

**D. Plastisitas (plasticity)**

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (ductile), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (brittle).

**E. Keuletan (ductility)**

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet (ductile) ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangannya.

**F. Ketangguhan (toughness)**

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

**G. Kegetasan (brittleness)**

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen.

**H. Kelelahan (fatigue)**

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (dynamic load) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

### I. Melar (creep)

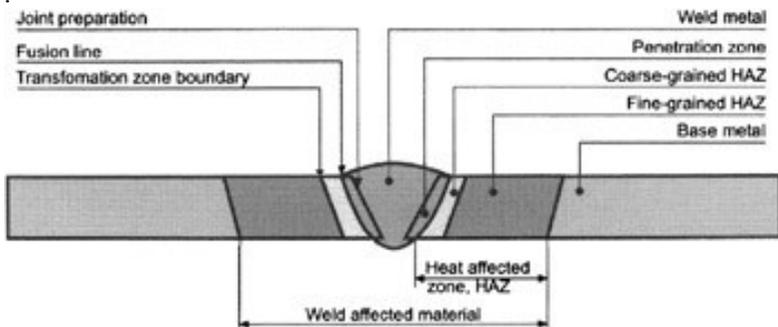
Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

### J. Kekerasan (hardness)

Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan wear resistance yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

## 2.9 HAZ (Heat Affected Zone)

Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu pertama daerah logam induk merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah daerah terpengaruh panas atau disebut heat affected zone (HAZ) merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan. HAZ merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan sifat. Secara umum daerah HAZ dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam las



**Gambar 2.9** Daerah HAZ

## **2.10 Pengujian Material**

Proses pengujian material adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristik nya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur mikro dan makro. Penjelasan mengenai pengujian logam akan dijelaskan lebih lanjut. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai beberapa metode pengujian logam.

## **2.11 Hardness Test**

Hardness Test adalah pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan, dalam hal ini kekerasan pada daerah base metal, weld metal dan HAZ. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

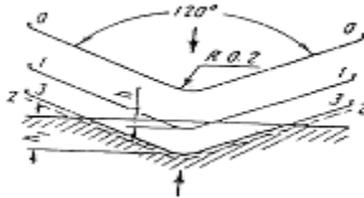
1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, Brinell dan Vickers, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan metode Rockwell.

### **2.11.1 Pengujian kekerasan Rockwell**

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indenter, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (diamond cone). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, seperti tercantum pada tabel 2.1. Pengujian ini banyak dilakukan di industri karena

pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan spesimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



**Gambar 2.10** Prinsip Kerja Rockwell

Keterangan :

- 0-0 Posisi sebelum indentasi
- 1-1 Penetrasi pada saat beban awal P1
- 2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh ( P1+P )
- 3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_H = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

**Tabel 2.5** Skala Uji Kekerasan Rockwell

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

## 2.12 Metalography Test

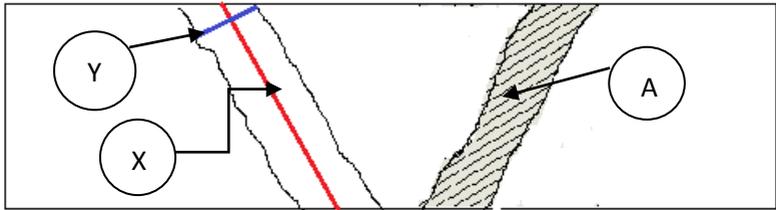
Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography. Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, tembaga yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine block, piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron dengan perbesaran 50 sampai 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Pengujian metalografi dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

### 2.12.1 Pengujian Makro

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu. Untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



**Gambar 2.11 HAZ**

Keterangan :

A = Luas HAZ (daerah yang diarsir)

X = Panjang acuan HAZ (garis warna merah)

Y = Lebar rata-rata HAZ ( garis biru)

### 2.12.2 Struktur Makro pada Pengelasan

Perubahan metalurgi yang terjadi di las dan HAZ signifikan mempengaruhi kualitas las. Berbagai macam perubahan yang mungkin terjadi tergantung pada berbagai faktor, misalnya :

- (a) Sifat material (yaitu fase tunggal, dua-fase)
- (b) Sifat heat treatment sebelumnya
- (c) Sifat cold working sebelumnya.

Mempertimbangkan las fusi dua potong bahan fase tunggal, yang telah di cold working untuk menghasilkan orientasi yang diinginkan. Butiran cold working menghasilkan kekuatan tinggi dan keuletan rendah. Namun, pada gabungan pengelasan, pertumbuhan butiran bercampur lagi terjadi di daerah HAZ, yang pada akhirnya menghasilkan kekuatan rendah. Daerah HAZ yang terkena panas, butiran menjadi kasar karena heat input (annealing),

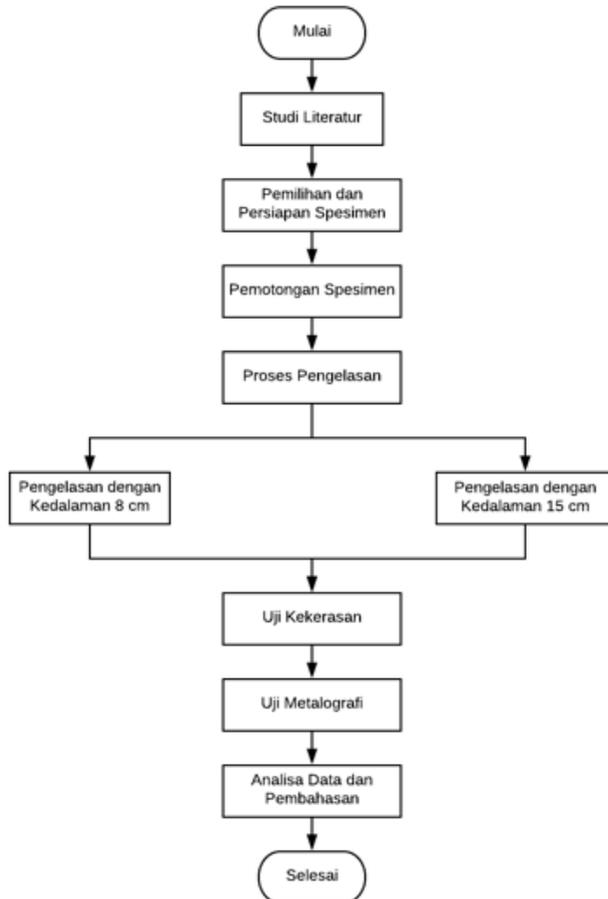
dan juga terjadi rekristalisasi parsial. Dengan meningkatnya jarak dari HAZ, butiran menjadi lebih halus sampai daerah panas HAZ terpengaruh dengan mencapainya butiran yang memanjang.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flow Chart Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



**Gambar 3.1** Flow Chart Diagram

### **3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian**

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2017/2018 yaitu pada bulan April sampai dengan Juni 2018.

### **3.3 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Lab Metalurgi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dan Lab Metalurgi S1 Teknik Mesin FTI-ITS

### **3.4 Langkah Kerja**

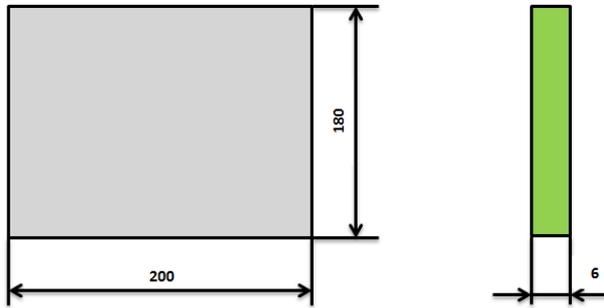
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang konstruksi kapal yaitu penyambungan plat dengan membedakan variasi arus ampere, serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan-tahapan yang akan dilakukan.

#### **3.4.1 Studi Literatur**

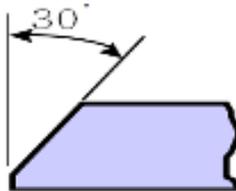
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

#### **3.4.2 Persiapan Material**

Material yang digunakan adalah ST 41 dengan tebal 6 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut single V groove  $60^0$  seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 3.2** Dimensi Material



**Gambar 3.3** Sudut groove  $30^{\circ}$



**Gambar 3.4** Material Dengan Sudut Kampuh  $30^{\circ}$

**Tabel 3.1** Material dan Logam Pengisi

NAMA	KETERANGAN
Spesifikasi Material	ST 41
Tebal Material	6 mm
Panjang x Lebar Material	200 mm x 180 mm

NAMA	KETERANGAN
Filler Catalog Number	UW-EZ-1
AWS Classification	E 7016
Filler Diameter	3.2 mm
Posisi Pengelasan	1G

**Tabel 3.2** Parameter Pengelasan Kedalaman 8 cm

Parameter	Layer 1	Layer 2	Layer 3
Number/Pass	1 (root)	2 (fill)	3 (capping)
Proses	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding

Travel Speed, mm/min	1.5 mm/min	1.5 mm/min	1.2 mm/min
Amphere	80 A	80 A	80 A
Voltage	27 V	27 V	27 V
Elektrode Diameter	3.2 mm	3.2 mm	3.2 mm

**Tabel 3.3** Parameter Pengelasan Kedalaman 15 cm

Parameter	Layer 1	Layer 2	Layer 3
Number/Pass	1 (root)	2 (fill)	3 (capping)
Proses	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding
Travel Speed, mm/min	1.8 mm/min	1.8 mm/min	1.8 mm/min
Amphere	80 A	80 A	80 A
Voltage	27 V	27 V	27 V
Elektrode Diameter	3.2 mm	3.2 mm	3.2 mm

### 3.4.3 Pengelasan dengan Variasi Kedalaman pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan SMAW Underwater Welding posisi 1G dalam penelitian kali ini terdapat perbedaan variasi kedalaman proses pengelasan yaitu:

1. Variasi proses pengelasan dengan kedalaman 8cm

Material dilakukan proses pengelasan menggunakan arus ampere 80 dengan kedalaman proses pengelasan 8cm menggunakan Electrode E7016.



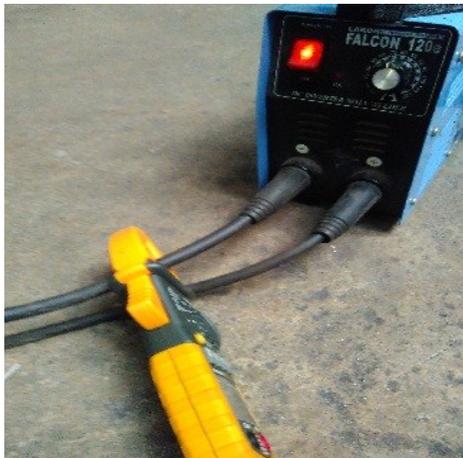
**Gambar 3.5** Proses Pengelasan kedalaman 8 cm.

2. Variasi proses pengelasan dengan kedalaman 15cm

Material dilakukan proses pengelasan menggunakan arus ampere 80 dengan kedalaman proses pengelasan 15cm menggunakan Electrode E7016. Proses pengelasan dilakukan setelah dilakukannya pembuatan groove pada masing-masing plat berikut ini proses pengelasan yang dilakukan:



**Gambar 3.6** Proses Pengelasan kedalaman 15 cm



**Gambar 3.7** Tank Ampere

#### **3.4.4 Persiapan benda uji**

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji. Dalam melakukan tes untuk menentukan benda uji itu penting dan

perlu diperhatikan ketebalannya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaannya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

### 3.4.5 Pengambilan Test Piece

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah Uji Kekerasan (Hardness) dan Uji Metalografi

#### A. Pengujian Kekerasan.

Dalam pengujian kekerasan, jumlah titik yang diambil ialah 10 titik yaitu pada daerah, weld metal, HAZ, dan base metal.



**Gambar 3.8** Alat Uji Kekerasan Rockwell

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS  
Loading : Maximum 100 KP  
Minimum 10 KP  
Hrb Load : 100 KP  
Indentor : Bola Baja 1/16.

## **B. Pengujian Metalography**

Untuk proses Metalography Test saya melakukan pengamatan makro test.

- Makro test  
Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan  $HCL+HNO_3+H_2O.$ , maka bagian Weld Metal, HAZ, dan Base Metal akan terlihat.

Prosedur pengujian metalography adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji  
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metalography dilakukan pada 2 bidang pada satu spesimen.
2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin grinding dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 100, 400, 800, 1000, 1500, 2000 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melarutkan geram. Setelah menggunakan kertas gosok, spesimen dipoles dengan menggunakan autosol dan kain jeans.
3. Spesimen yang sudah mengkilap disterilkan terlebih dahulu dengan alkohol. Kemudian direndam dalam cairan etsa selama  $\pm 5$  menit sampai weld metal, HAZ, dan base metal terlihat. Kemudian spesimen dikeringkan dengan hair dryer dengan cepat. Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji ( Test piece ) :
4. Pengambilan gambar makro spesimen.



**Gambar 3.9** Spesimen sebelum di etsa



**Gambar 3.10** Alat dan Bahan untuk Proses Etsa



**Gambar 3.11** Kertas Gosok

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh arus amphere pada sambungan las baja ST 41 yang dilakukan pengelasan dengan metode SMAW Underwater Welding selama 35 menit, melalui 2 pengujian , yaitu Hardness Test dan Metalography Test.

#### **4.1 Parameter Pengelasan**

**Tabel 4.1** Logam Induk E7016

NAMA	KETERANGAN
AWS Classification	E 7016
Filler Metal Diameter	3.2 mm
Filler Catalog No	UW-EZ-1
Posisi Pengelasan	1G

**Tabel 4.2** Parameter Pengelasan Kedalaman 8 cm

Parameter	Layer 1	Layer 2	Layer 3
Number/Pass	1 (root)	2 (fill)	3 (capping)
Proses	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding

Travel Speed, mm/min	1.5 mm/min	1.5 mm/min	1.2 mm/min
Amphere	80 A	80 A	80 A
Voltage	27 V	27 V	27 V
Elektrode Diameter	3.2 mm	3.2 mm	3.2 mm

**Tabel 4.3** Parameter Pengelasan Kedalaman 15 cm

Parameter	Layer 1	Layer 2	Layer 3
Number/Pass	1 (root)	2 (fill)	3 (capping)
Proses	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding	SMAW Underwater Welding
Travel Speed, mm/min	1.8 mm/min	1.8 mm/min	1.8 mm/min
Amphere	80 A	80 A	80 A
Voltage	27 V	27 V	27 V

Elektrode Diameter	3.2 mm	3.2 mm	3.2 mm
--------------------	--------	--------	--------

**Tabel 4.4** Heat Input

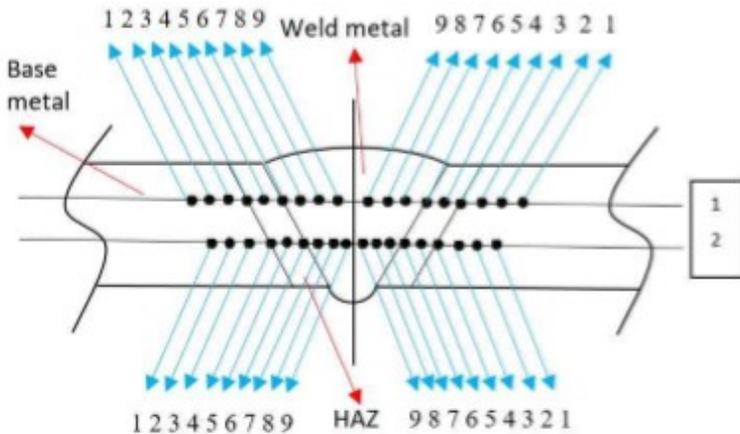
Type Electrode	Arus (I)	Voltase (E)	Travel Speed (V)	Heat Input (HI)	Deep Welding
E 7016	80 Ampere	27	1.1 mm/s	1178 J/mm	8 cm
E 7016	80 Ampere	27	1.1 mm/s	1178 J/mm	15 cm

#### **4.2 Hardness Test ( Uji Kekerasan )**

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian titik pasti batas daerah antara Base Metal dengan Heat Affected Zone dan juga antara daerah Heat Affected Zone dengan daerah Weld Metal.

Perbedaan variasi dalam pengujian kekerasan ini adalah variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm dan 15cm. Pada pengujian kekerasan ini menggunakan pengujian kekerasan Rockwell dengan menggunakan indentor bola 1/16 inchi (HRB). Dalam pengujian ini dibuat 6 benda uji yaitu spesimen 1A, 2A, dan 3A mewakili variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm, spesimen 1B, 2B, dan 3B mewakili variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

Berikut ini adalah sketsa pengambilan titik identasi pada pengujian kekerasan Rockwell :



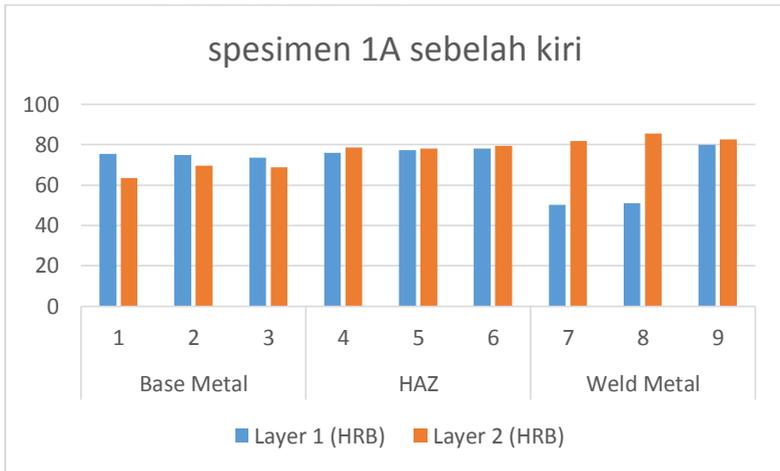
**Gambar 4.1** Titik indentasi hasil pengujian kekerasan Rockwell

**Tabel 4.5** Nilai Kekerasan Spesimen 1A variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

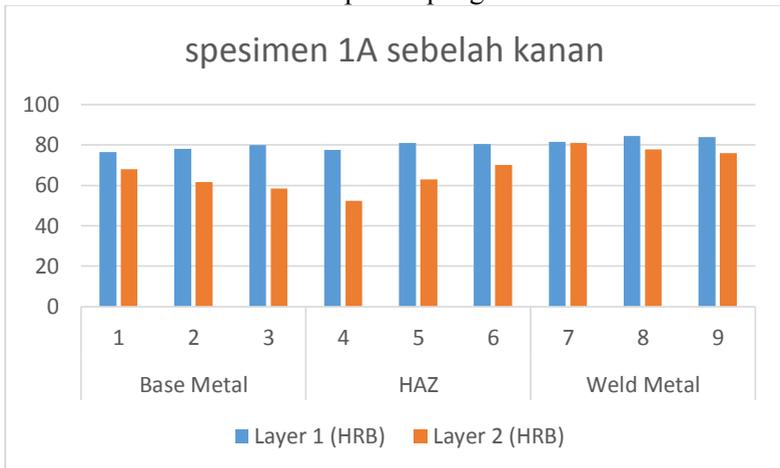
Benda Uji	Daerah		Titik Identasi	Batas Layer	
				Layer 1 (HRB)	Layer 2 (HRB)
Spesimen 1A	Kiri	Base Metal	1	75,5	63,6
			2	74,8	69,5
			3	73,6	68,8
	HAZ	4	75,9	78,5	
		5	77,3	78,0	

			6	78,0	79,5
		Weld Metal	7	78,3	81,8
			8	82,0	85,5
			9	80,0	82,5
	Kanan	Base Metal	1	76,5	68,0
			2	78,0	61,6
			3	80,0	68,5
		HAZ	4	77,5	68,0
			5	81,0	70,0
			6	80,5	70,0
		Weld Metal	7	81,5	81,0
			8	84,5	77,8
			9	84,0	76,0

**Gambar 4.2** Grafik nilai kekerasan spesimen 1A sebelah kiri variasi kedalaman 8 cm.



**Gambar 4.3** Grafik nilai kekerasan Spesimen 1A sebelah kanan variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

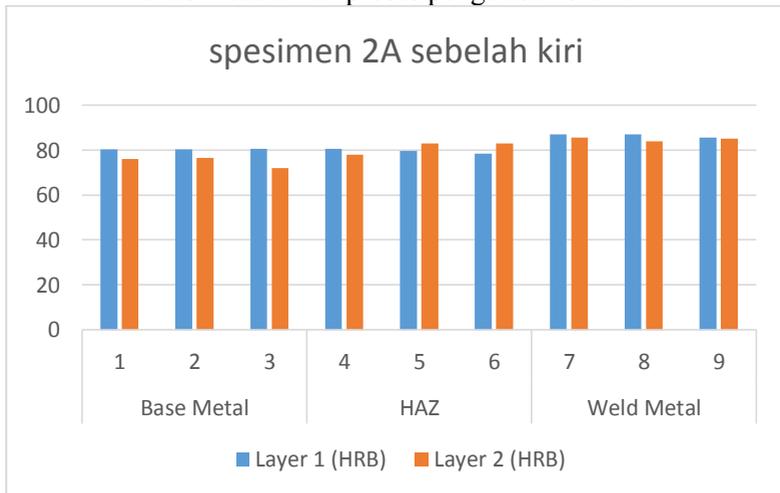


**Tabel 4.6** Nilai Kekerasan Spesimen 2A variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

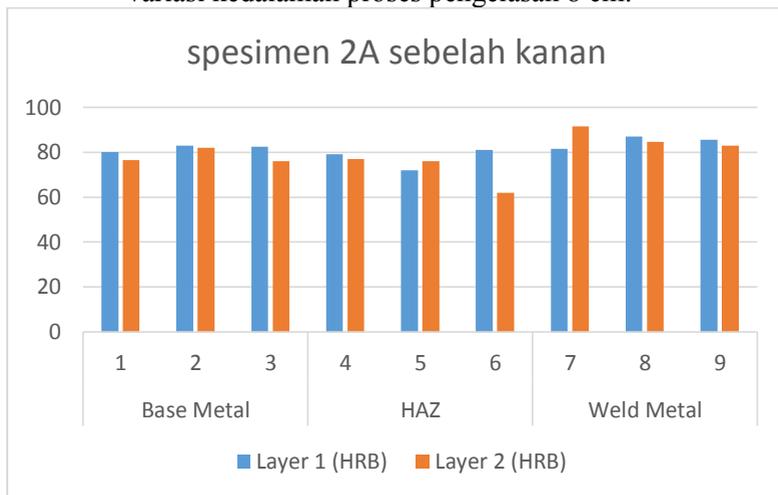
Benda Uji	Daerah		Titik Identasi	Batas Layer	
				Layer 1 (HRB)	Layer 2 (HRB)
Spesimen 2A	Kiri	Base Metal	1	80,3	76,0
			2	80,3	76,5
			3	80,5	72,0
		HAZ	4	80,5	78,0
			5	79,5	83,0
			6	78,5	83,0
		Weld Metal	7	87,0	85,5
			8	87,0	84,0
			9	85,5	85,0
	Kanan	Base Metal	1	80,0	76,5
			2	83,0	82,0
			3	82,4	76,0
		HAZ	4	79,0	77,0

			5	72,0	76,0
			6	81,0	62,0
		Weld Metal	7	81,5	91,5
			8	87,0	84,5
			9	85,5	83,0

**Gambar 4.4** Grafik nilai kekerasan Spesimen 2A sebelah kiri variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.



**Gambar 4.5** Grafik nilai kekerasan Spesimen 2A sebelah kanan variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

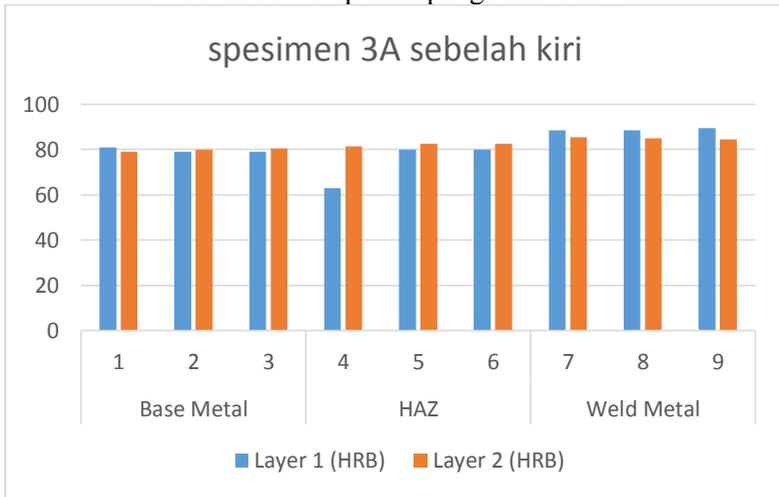


**Tabel 4.7** Nilai Kekerasan Spesimen 3A variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

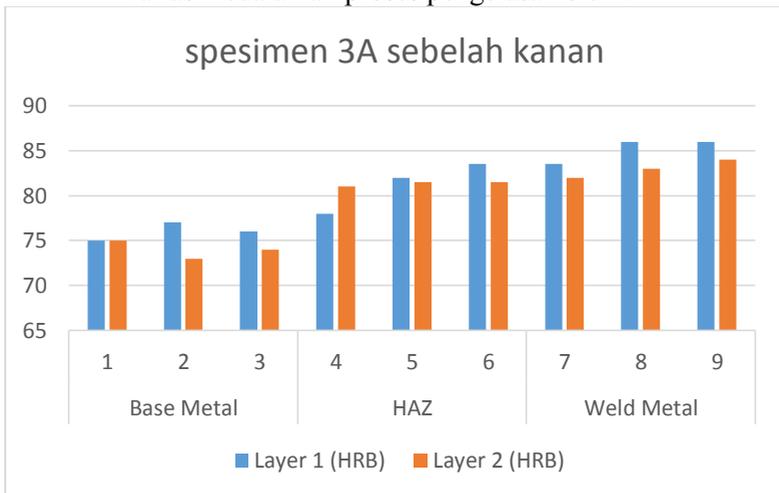
Benda Uji	Daerah		Titik Identasi	Batas Layer	
				Layer 1 (HRB)	Layer 2 (HRB)
Spesimen 3A	Kiri	Base Metal	1	81,0	79,0
			2	79,0	80,0
			3	79,0	80,5
	HAZ	4	63,0	81,5	

			5	80,0	82,5
			6	80,0	82,5
		Weld Metal	7	88,5	85,5
			8	88,5	85,0
			9	89,5	84,5
		Kanan	Base Metal	1	75,0
	2			77,0	73,0
	3			76,0	74,0
	HAZ		4	78,0	81,0
			5	82,0	81,5
			6	83,5	81,5
	Weld Metal		7	83,5	82,0
			8	86,0	83,0
			9	86,0	84,0

**Gambar 4.6** Grafik nilai kekerasan Spesimen 3A sebelah kiri variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.



**Gambar 4.7** Grafik nilai kekerasan Spesimen 3A sebelah kanan variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

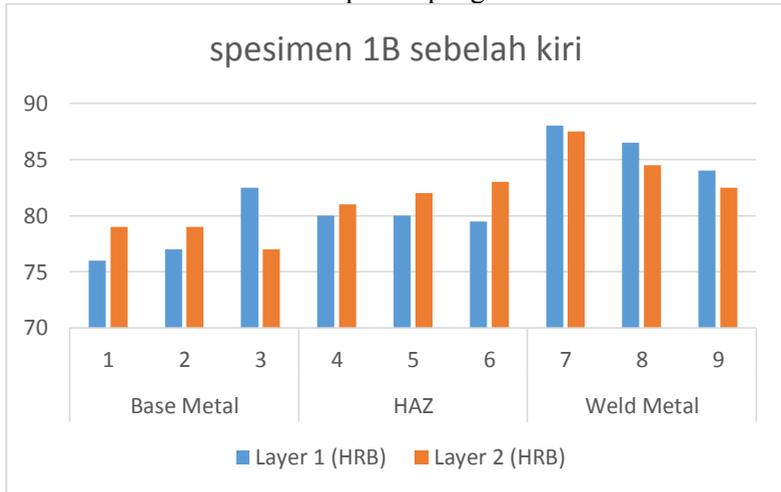


**Tabel 4.8** Nilai kekerasan Spesimen 1B variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

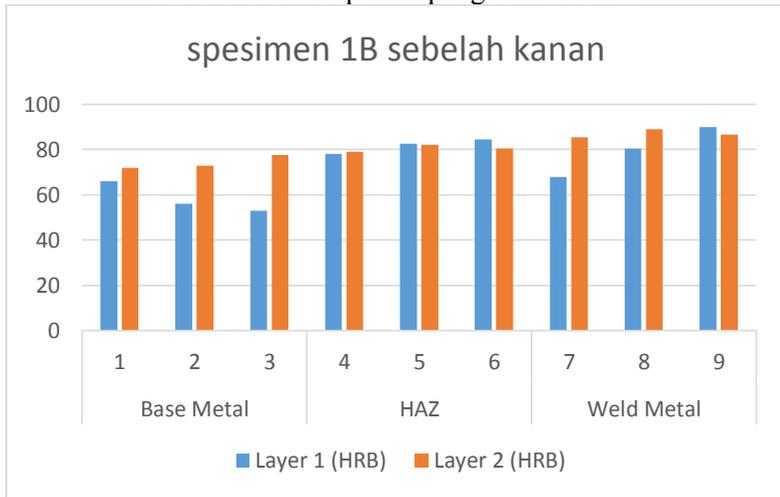
Benda Uji	Daerah		Titik Identasi	Batas Layer	
				Layer 1 (HRB)	Layer 2 (HRB)
Spesimen 1B	Kiri	Base Metal	1	76,0	79,0
			2	77,0	79,0
			3	82,5	77,0
		HAZ	4	80,0	81,0
			5	80,0	82,0
			6	79,5	83,0
		Weld Metal	7	88,0	87,5
			8	86,5	84,5
			9	84,0	82,5
	Kanan	Base Metal	1	66,0	72,0
			2	78,5	73,0
			3	79,0	77,5
		HAZ	4	78,0	79,0

			5	82,5	82,0
			6	84,5	80,5
		Weld Metal	7	68,0	85,5
			8	80,5	89,0
			9	90,0	86,5

**Gambar 4.8** Grafik nilai kekerasan Spesimen 1B sebelah kiri variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.



**Gambar 4.9** Grafik nilai kekerasan Spesimen 1B sebelah kanan variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

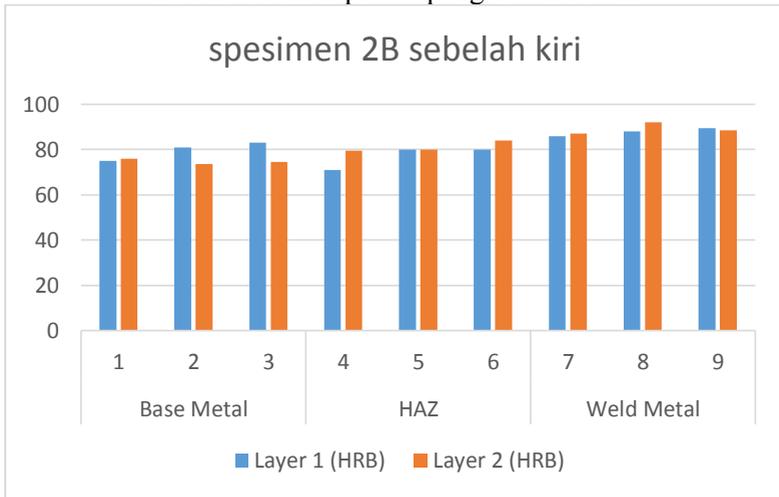


**Tabel 4.9** Nilai kekerasan Spesimen 2B variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

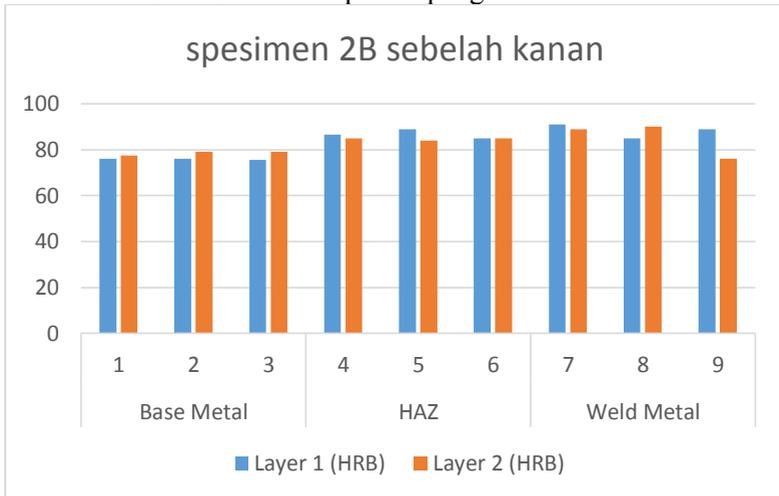
Benda Uji	Daerah		Titik Identasi	Batas Layer	
				Layer 1 (HRB)	Layer 2 (HRB)
Spesimen 2B	Kiri	Base Metal	1	75,0	76,0
			2	81,0	73,5
			3	83,0	74,5
		HAZ	4	71,0	79,5

			5	80,0	80,0	
			6	80,0	84,0	
		Weld Metal	7	86,0	87,0	
			8	88,0	92,0	
			9	89,5	88,5	
		Kanan	Base Metal	1	76,0	77,5
				2	76,0	79,0
				3	75,5	79,0
			HAZ	4	86,5	85,0
	5			89,0	84,0	
	6			85,0	85,0	
	Weld Metal		7	91,0	89,0	
			8	85,0	90,0	
			9	89,0	76,0	

**Gambar 4.10** Grafik nilai kekerasan Spesimen 2B sebelah kiri variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.



**Gambar 4.11** Grafik nilai kekerasan Spesimen 2B sebelah kanan variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

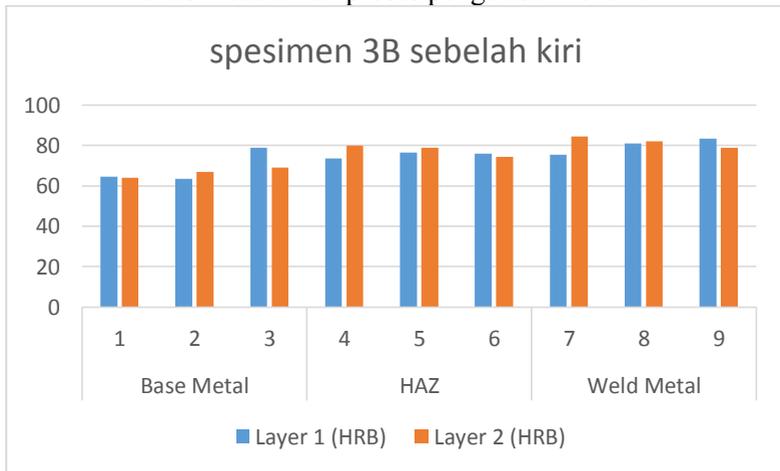


**Tabel 4.10** Nilai kekerasan Spesimen 3B variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

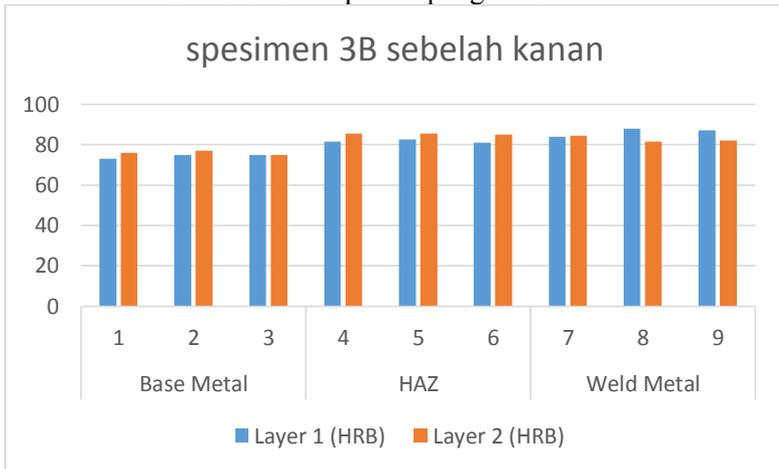
Benda Uji	Daerah		Titik Identasi	Batas Layer	
				Layer 1 (HRB)	Layer 2 (HRB)
Spesimen 3B	Kiri	Base Metal	1	64,5	64,0
			2	63,5	67,0
			3	79,0	69,0
		HAZ	4	73,5	80,0
			5	76,5	79,0
			6	76,0	74,5
		Weld Metal	7	75,5	84,5
			8	81,0	82,0
			9	83,5	79,0
	Kanan	Base Metal	1	73,0	76,0
			2	75,0	77,0
			3	75,0	75,0
		HAZ	4	81,5	85,5

			5	82,5	85,5
			6	81,0	85,0
		Weld Metal	7	84,0	84,5
			8	88,0	81,5
			9	87,0	82,0

**Gambar 4.12** Grafik nilai kekerasan Spesimen 3B sebelah kiri variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.



**Gambar 4.13** Grafik nilai kekerasan Spesimen 3B sebelah kanan variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.



**Tabel 4.11** Tabel Keseluruhan Nilai Kekerasan Spesimen 1A dan 1B

Kedalaman 8cm	SPESIMEN 1A					
	KIRI			KANAN		
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 1	75.5	79.3	75	76.5	81.5	77.5
	74.8	79	77.3	78	84.5	81
	73.6	80	78	80	84	80.5
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 2	73.6	81.8	78.5	78	81	72.4
	79.5	85.5	78	79.6	77.8	73
	78.8	82.5	79.5	78.5	76	70
Kedalaman 15 cm	SPESIMEN 1B					
	KIRI			KANAN		
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 1	76	88	80	76	78	78
	77	86.5	80	76	80.5	82.5
	82.5	84	79.5	78.5	90	84.5
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ

Layer 2	79	87.5	81	72	85.5	79
	79	84.5	82	73	89	82
	77	82.5	83	77.5	86.5	80.5

**Tabel 4.12** Tabel Keseluruhan Nilai Kekerasan Spesimen 2A dan 2B

Kedalaman 8cm	SPESIMEN 2A					
	KIRI			KANAN		
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 1	80.3	87	80.5	80	81.5	79
	80.3	87	79.5	80	87	72
	80.5	85.5	78.5	82.4	85.5	81
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 2	76	85.5	78	76.5	91.5	77
	76.5	84	83	82	84.5	76
	72	85	83	76	83	78.5
Kedalaman 15 cm	SPESIMEN 2B					
	KIRI			KANAN		
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ

Layer 1	75	86	71	76	91	86.5
	81	88	80	76	85	84
	83	89.5	80	75.5	89	85
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 2	76	87	79.5	77.5	89	85
	73.5	92	80	79	90	84
	74.5	88.5	84	79	76	85

**Tabel 4.13** Tabel Keseluruhan Nilai Kekerasan Spesimen 3A dan 3B

Kedalaman 8cm	SPESIMEN 3A					
	KIRI			KANAN		
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 1	81	88.5	78	75	83.5	78
	79	88.5	80	77	86	82
	79	89.5	80	76	86	83.5
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 2	79	85.5	81.5	75	82	81
	80	85	82.5	73	83	81.5

	80.5	84.5	82.5	74	84	81.5
Kedalaman 15 cm	SPESIMEN 3B					
	KIRI			KANAN		
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 1	75	75.5	73.5	73	84	81.5
	75	81	76.5	75	88	82.5
	79	83.5	76	75	87	81
	BM	WM	HAZ	BM	WM	HAZ
Layer 2	74	84.5	80	76	84.5	85.5
	77	82	79	77	81.5	85.5
	79	79	74.5	75	82	85



**Gambar 4.14** Letak indentasi pada spesimen



**Gambar 4.15** Letak indentasi pada spesimen  
2A kedalaman 8 cm



**Gambar 4.16** Letak indentasi pada spesimen 3A kedalaman 8 cm



**Gambar 4.17** Letak indentasi pada spesimen 1B kedalaman 15 cm



**Gambar 4.18** Letak indentasi pada spesimen 2B kedalaman 15 cm

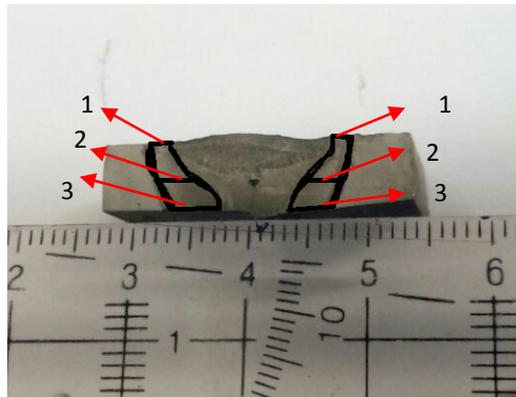


**Gambar 4.19** Letak indentasi pada spesimen 3B kedalaman 15 cm

### 4.3 Metalography Test ( Uji Metalografi)

Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur makro dari ke dua spesimen yaitu daerah Base metal, HAZ , Weld metal. Untuk pengujian ini menggunakan 2 benda kerja yang masing masing ber variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm dan kedalaman proses pengelasan 15 cm. Pengujian ini menggunakan Kaca Pembesar (Luv) dengan perbesaran 50x, dan didapatkan hasil sebagai berikut:

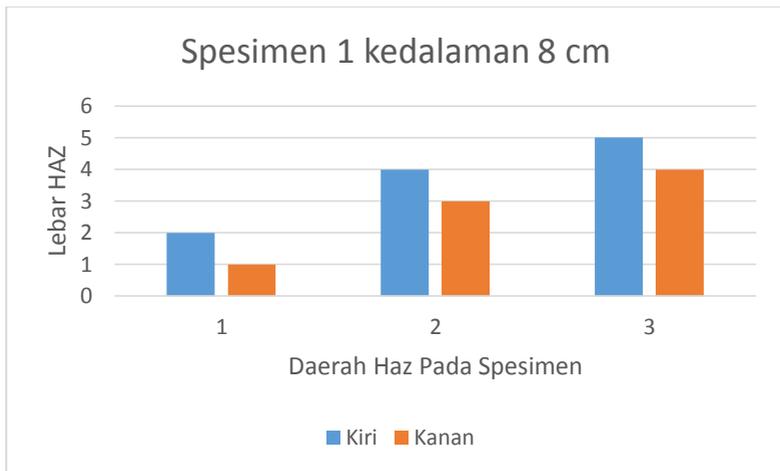
- Hasil pengujian makro etsa pada spesimen 1 dengan variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.



**Gambar 4.20** Foto lebar HAZ lasan spesimen 1 variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

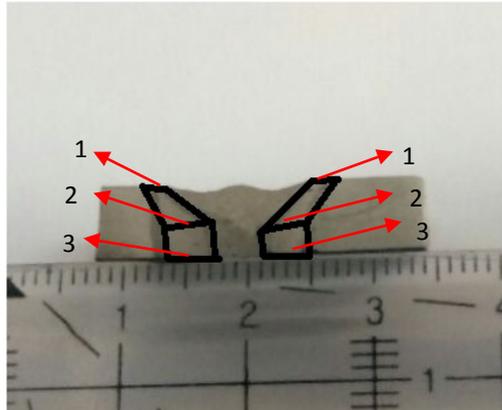
**Tabel 4.15** Lebar HAZ pada spesimen 1 variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm.

Benda Uji	Garis	Lebar HAZ	
		Kiri	Kanan
Spesimen 1 Kedalaman 8 cm	1	2 mm	1 mm
	2	4 mm	3 mm
	3	5 mm	4 mm



**Gambar 4.21** Grafik lebar HAZ Spesimen 1 kedalaman 8 cm

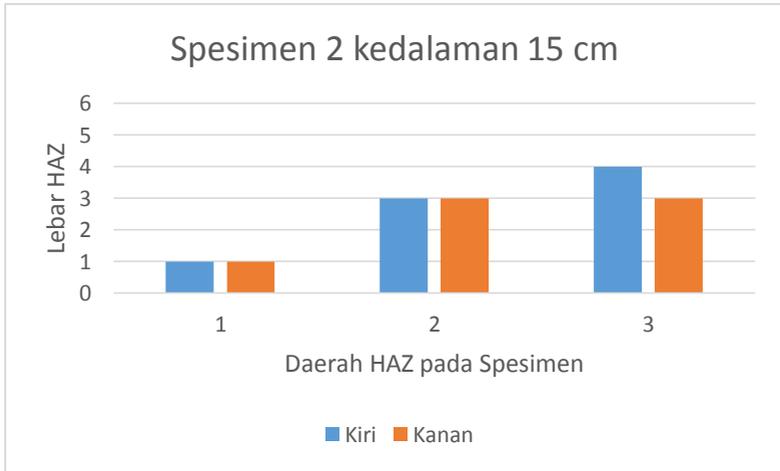
- Hasil pengujian makro etsa pada spesimen 2 variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.



**Gambar 4.22** Foto lebar HAZ lasan spesimen 2 variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

**Tabel 4.16** Lebar HAZ pada spesimen 2 variasi kedalaman proses pengelasan 15 cm.

Benda Uji	Garis	Lebar HAZ	
		Kiri	Kanan
Spesimen 2 Kedalaman 15 cm	1	1 mm	1 mm
	2	3 mm	3 mm
	3	4 mm	3 mm



**Gambar 4.23** Grafik lebar HAZ Spesimen 2 kedalaman 15 cm

**Tabel 4.17** Tabel keseluruhan lebar HAZ specimen 1 dan specimen 2 bagian kiri

Garis	Bagian Kiri	
	Lebar HAZ specimen 1 Kedalaman 8 cm	Lebar HAZ specimen 2 Kedalaman 15 cm
1	2 mm	1 mm
2	4 mm	3 mm
3	5 mm	4 mm

**Tabel 4.18** Tabel keseluruhan lebar HAZ specimen 1 dan specimen 2 bagian kanan

Garis	Bagian Kanan	
	Lebar HAZ specimen 1 Kedalaman 8 cm	Lebar HAZ specimen 2 Kedalaman 15 cm
1	1 mm	1 mm
2	3 mm	3 mm
3	4 mm	3 mm

**Tabel 4.19** Tabel Rangkuman pengujian Kekerasan dan Makro Etsa

Kekerasan	Kedalaman 8 cm	Base Metal = 82.4 HRB
		Weld Metal = 91.5HRB
		HAZ = 83.5 HRB
	Kedalaman 15 cm	Base Metal = 83 HRB
		Weld Metal = 92 HRB
		HAZ = 86.5 HRB
pengujian	Perbandingan	Hasil
Makro Etsa	Specimen 1 Kedalaman 8 cm	Lebar HAZ antara 1 mm – 5 mm
	Specimen 2 Kedalaman 15 cm	Lebar HAZ antara 1 mm – 4 mm

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa data mengenai analisa variasi kedalaman proses pengelasan 8 cm dan 15 cm dengan amphere tetap dengan elektroda E 7016 pada hasil pengelasan Underwater menggunakan material ST 41 dengan metode pengujian Kekerasan dan Struktur Makro, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada pengujian kekerasan, didapat hasil bahwa spesimen variasi kedalaman pengelasan 8 cm memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dari variasi kedalaman pengelasan 15 cm. Untuk nilai kekerasan pada kedalaman pengelasan 8 cm sebesar 91,5 HRB, tepatnya pada Spesimen 2A bagian Weld Metal sebelah kanan layer ke 2. Sedangkan pada kedalaman pengelasan 15 cm sebesar 92,0 HRB, tepatnya pada Spesimen 2B bagian Weld Metal sebelah kiri layer ke 2.
2. Pada pengujian Makro Etsa hasil pengelasan dengan lebar HAZ tersempit terdapat pada spesimen 2 variasi kedalaman pengelasan 15 cm yaitu sebesar 4 mm, sedangkan lebar HAZ terbesar terdapat pada spesimen 1 variasi kedalaman pengelasan 8 cm yaitu sebesar 5 mm.
3. Dapat diambil kesimpulan, bahwa proses pengelasan dengan kedalaman 15 cm lebih tinggi nilai kekerasannya daripada kedalaman 8 cm. Dan nilai lebar HAZ nya lebih lebar pada variasi kedalaman pengelasan 8 cm daripada variasi kedalaman pengelasan 15 cm. Dikarenakan pada proses pengelasan terpadat pengaruh-pengaruh seperti tekanan dalam air, laju pendinginannya yang lebih cepat atau pengaruh yang lain-lain.

## **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Pada penelitian kali ini metode pengelasan Underwater dinilai kurang sempurna dalam prosesnya sehingga terdapat cacat pada spesimen benda kerja, sehingga diharapkan untuk selanjutnya prosedur pengelasannya lebih baik.
2. Pada penelitian kali ini didapatkan banyak kesalahan dalam pemotongan test piece benda kerja dikarenakan terbatasnya alat potong yang memadai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. “**Elektroda (*filler* atau bahan isi)**”.  
<http://las-listrik.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 5 Mei 2018.
- American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, *Ferrous Material Specifications*.
- Idashabu. 2014. “**Tabel Kawat Las**”.  
<http://idashabu.blogspot.co.id>. Diakses pada tanggal 7 Mei 2018.
- Sonawan, Hery. 2003. “**Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam**. Alfabeta, cv.”
- Wirjosumarto, Harsono. 2008. “**Teknologi Pengelasan Logam**. Balai Pustaka, (Persero)”

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ketiga dari ketiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 30 Nopember 1994 di Bangkalan, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu pada tahun 2001-2007 bersekolah di SDN Demangan 2 Bangkalan, kemudian pada tahun 2007-2011 melanjutkan ke SMP Al-Hikam Burneh Bangkalan dan pada tahun 2011-2014 melanjutkan ke SMAN 1 Bangkalan. Setelah itu pada tahun 2014 penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah menjabat sebagai Grader lab. Proses Pemesinan Logam periode 2015-2016. Pada bulan Juli 2016, penulis melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia Kayaku Gresik selama satu bulan. Dalam kerja praktek penulis melakukan studi dengan judul “Proses Management Pemeliharaan Dust Collector PT Petrokimia Kayaku Gresik”. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi lebih luas dan untuk informasi mengenai tugas akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis via E-mail : [dimas.muhammad69@gmail.com](mailto:dimas.muhammad69@gmail.com)