



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN
SAW DAN FCAW PADA MATERIAL ASTM A 36
TERHADAP UJI TAKIK**

INAYATUL LAILIYAH
NRP. 4313.100.066

DOSEN PEMBIMBING :

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

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT - MO141326

COMPARISON ANALYSIS OF SAW AND FCAW WELDING PROCESS ON ASTM A36 STEEL USING IMPACT TEST

INAYATUL LAILIYAH
NRP. 4313.100.066

Supervisors :

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

OCEAN ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Intitute of Technology
SURABAYA 2017

**ANALISIS PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SAW DAN FCAW
PADA MATERIAL ASTM A 36 TERHADAP UJI TAKIK**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

INAYATUL LAILIYAH

NRP. 4313100066

Disetujui Oleh :

- 
1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)
.....
 2. Wimala L. Dhanistha, S.T., M.T. (Pembimbing 2)
.....
 3. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)
.....
 4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D (Penguji 2)
.....
 5. Dirda Marina C, ST., MT. (Penguji 3)
.....

Surabaya, Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SAW DAN FCAW
PADA MATERIAL ASTM A 36 TERHADAP UJI TAKIK**

Nama : Inayatul Lailiyah
NRP : 4313 100 066
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
Wimala L. Dhanistha, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pada pembuatan konstruksi kapal pasti berkaitan dengan proses pengelasan. Pengelasan merupakan proses yang memiliki peran yang sangat penting dalam penyambungan bagian plat-plat kapal. Penelitian ini merupakan eksperimen menggunakan material uji baja karbon ASTM A36 dimana material ini yang sering digunakan dalam konstruksi kapal. Material akan dilas menggunakan variasi mesin las yaitu mesin las SAW (*Submerged Arc Welding*) dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Material akan di uji mekanis seperti uji tarik (*tensile*), uji kekerasan (*hardness*), uji takik (*impact*) dan uji metalografi yang terdiri uji makro dan mikro. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui nilai kekuatan dan kekerasan yang rendah akan menghasilkan nilai ketangguhan yang tinggi. Pada spesimen pengelasan FCAW memiliki nilai kekuatan rata-rata sebesar 516.40 MPa dan memiliki nilai kekerasan rata-rata pada daerah lasan sebesar 193.20 HVN dan pada daerah HAZ sebesar 155.73 HVN. Juga memiliki nilai ketangguhan rata-rata pada daerah lasan sebesar 1.779 J/mm² dan pada daerah HAZ sebesar 1.848 J/mm². Sedangkan pada spesimen SAW memiliki nilai kekuatan rata-rata sebesar 522.07 MPa dan memiliki nilai kekerasan rata-rata pada daerah lasan sebesar 217.97 HVN dan pada daerah HAZ sebesar 172.83 HVN. Juga memiliki nilai ketangguhan rata-rata pada daerah lasan sebesar 0.978 J/mm² dan pada daerah HAZ sebesar 1.826 J/mm².

Kata Kunci : SAW, FCAW, Uji Takik, ASTM A36

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**COMPARISON ANALYSIS OF SAW AND FCAW WELDING PROCESS ON
ASTM A36 STEEL USING IMPACT TEST**

Name : *Inayatul Lailiyah*
Reg. Number : *4313 100 066*
Departement : *Ocean Engineering*
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya
Supervisors : *Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D*
Wimala L. Dhanistha, S.T., M.T.

ABSTRACT

The shipbuilding construction must be related to the welding process. Welding is a process that has a very important role in the connection of the ship plates. This research is an experiment using ASTM A36 carbon steel test material where this material is often used in ship construction. The material will be welded using a variety of welding machines namely SAW (Submerged Welding Arc) and FCAW (Flux Cored Arc Welding). The material will be tested mechanically such as tensile test, hardness test, impact test and metallographic test consisting of macro and micro test. From the results of this study can note the value of strength and low hardness will result in high toughness value. In FCAW welding specimens have an average strength value of 516.40 MPa and have a mean hardness value in the weld area of 193.20 HVN and in the HAZ area of 155.73 HVN. It also has an average toughness value in the weld area of 1,779 J / mm² and in the HAZ area of 1,848 J / mm². While the SAW specimen has an average strength value of 522.07 MPa and has a mean hardness value in the weld area of 217.97 HVN and in the HAZ area of 172.83 HVN. Also has an average toughness value in the weld area of 0.978 J / mm² and in the HAZ area of 1.826 J / mm².

Keywords : SAW, FCAW, Impact Test, ASTM A36 Steel

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-NYA laporan tugas akhir ini yang berjudul "**Analisis Perbandingan Proses Pengelasan SAW Dan FCAW Pada Material ASTM A 36 Terhadap Uji Takik**" dapat tersusun hingga selesai. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tujuan dari Tugas Akhir ini untuk mengetahui nilai takik dengan variasi pengelasan SAW dan FCAW pada material ASTM A36. Serta mengetahui sifat mekanis lainnya seperti kekuatan tarik, kekerasan serta struktur mikro. Penelitian ini diimplementasikan pada konstruksi perkapalan.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun masih ada kekurangan dari segi teori maupun susunan kalimat. Oleh karena itu saya menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar laporan kerja praktek ini menjadi lebih baik.

Saya berharap semoga laporan tugas akhir ini memberikan manfaat maupun inspirasi bagi siapa saja yang membaca.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan dan keikhlasan hati, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua Orang Tua Bapak Punadi Susanto dan Khairatun Nisak serta keluarga besar yang telah memberikan doa dan dukungan selama ini.
2. Direktorat Pendidikan Tinggi Indonesia (DIKTI) yang telah memberikan beasiswa Bidik Misi.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Wimala L. Dhanistha, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah merelakan waktunya untuk memberikan bimbingan, masukan dan nasehat dengan sabar dan ikhlas selama penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. J.J. Soedjono, M.Sc., Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D dan Ibu Dirda Marina C, ST., MT. selaku penguji penulis yang sudah berkenan menjadi penguji penulis dan bersedia memberi masukan serta arahan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr.Eng. Rudi Walujo P, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan izin untuk melakukan kerja praktek.
6. Bapak Ir. Murdjito, M.Sc. ENG selaku Dosen Wali yang telah memberikan nasihat dan motivasi selama ini.
7. Laboratorium Pengelasan-PPNS, Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Perkapalan FTK-ITS, Laboratorium Metalurgi Mesin FTI-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada penulis.
8. Tata usaha Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS yang telah membantu saya masalah administrasi jurusan.
9. Teman-teman angkatan 2013 Teknik Kelautan ITS (VALTAMERI L31) yang telah memberikan semangat yang diberikan selama 4 tahun.
10. Fans Uda (Nurika, Vilda, Tommy, Haikal dan Bima) yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.

11. Rizki Ade Pratama yang telah memberikan banyak saran dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

12. Seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Sekali lagi penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas doa dan bantuan dari segala pihak dan semoga mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR GRAFIK.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metodologi	3
1.7 Hipotesa Awal	4
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Teori Pengelasan	7
2.1.1 Parameter Pengelasan.....	8
2.1.2 Cacat Las.....	10
2.1.3 Heat Input.....	12
2.2 Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding)	13
2.2.1 Elektroda SAW	14
2.3 Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding).....	17
2.3.1 Elektroda FCAW.....	19
2.4 Sifat Baja ASTM A36	20
2.5 Destructive Test (DT).....	21
2.5.1 Uji Tarik (Tensile Test).....	21
2.5.2 Uji Kekerasan (Hardness Test)	23

2.5.3	Uji Takik (Impact Test)	24
2.6	Non-Destructive Test (NDT)	26
2.6.1	Pengujian Radiografi (Radiography Test)	26
2.7	Metallograpy Test	28
2.7.1	Uji Mikro (Micro Test)	28
2.7.2	Uji Makro (Macro Test)	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Studi Literatur	32
3.2	Tahap Persiapan	32
3.2.1	Persiapan Material Las	32
3.2.2	Persiapan Pengelasan	33
3.3	Tahap Pengelasan	36
3.3.1	SAW (Submerged Arc Welding)	36
3.3.2	FCAW (Flux Cored Arc Welding)	38
3.4	Uji NDT (Radiography Test)	39
3.5	Destructive Test	39
3.5.1	Tahap Pembuatan Spesimen Uji	40
3.5.2	Tahap Pengujian Spesimen	43
3.6	Uji Metalografi	46
3.7	Analisis hasil penelitian	48
3.8	Kesimpulan	48
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Welding Procedure Specification (WPS)	49
4.1.1	Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding)	49
4.1.2	Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding)	51
4.2	Masukan Panas (Heat Input)	52
4.3	Uji Radiografi	54
4.4	Uji Tarik	55
4.5	Uji Kekerasan	59
4.6	Uji Takik	61
4.7	Uji Metalografi	63
4.7.1	Struktur Mikro Spesimen Pengelasan SAW dan FCAW	63

4.7.2 Struktur Makro Spesimen Pengelasan FCAW.....	65
BAB V PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam Cacat Pengelasan.....	10
Gambar 2.2	Proses Las SAW.....	13
Gambar 2.3	(a) Proses FCAW-g, (b) Proses FCAW-ss.....	17
Gambar 2.4	(a) Spesimen Uji Tarik (ASME IX), (b) Kurva Tegangan-Regangan	22
Gambar 2.5	(a) Pengujian metode Charpy, (b) Metode Izod.....	25
Gambar 2.6	Radiography Test	27
Gambar 3.1	Diagram Metodologi Penelitian	31
Gambar 3.2	Material ASTM A36 (a) Baja ASTM A36, (b) Sertifikat Material	32
Gambar 3.3	Single V-Groove untuk SAW dan FCAW	33
Gambar 3.4	Pembentukan sudut kampuh	33
Gambar 3.5	Mesin SAW.....	34
Gambar 3.6	Filler Metal SAW.....	34
Gambar 3.7	Flux SAW	35
Gambar 3.8	Mesin FCAW dan Tabung Gas CO ₂	35
Gambar 3.9	Filler Metal FCAW	36
Gambar 3.10	Proses Pengelasan SAW	37
Gambar 3.11	Proses Pengelasan FCAW.....	38
Gambar 3.12	Mesin Pemotong Hidrolik.....	39
Gambar 3.13	Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	40
Gambar 3.14	Alat Pembentuk Spesimen (a) Gerinda, (b) Jangka sorong	40
Gambar 3.15	Spesimen uji tarik.....	41
Gambar 3.16	Pembutan spesimen uji kekerasan (a) poleshing, (b) spesimen uji kekerasan.....	41
Gambar 3.17	Dimensi spesimen uji takik (ASTM E23).....	42
Gambar 3.18	Pembentukan spesimen uji takik (a) proses sekrap, (b) hasil pembentukan spesimen uji takik	42
Gambar 3.19	Proses uji tarik (a) mesin uji tarik, (b) hasil spesimen setelah diuji tarik	43
Gambar 3.20	Penampang Identitor Uji Kekerasan Vickers.....	44

Gambar 3.21 Titik Daerah Uji Kekerasan	45
Gambar 3.22 Proses Uji Vickers (a) mesin uji kekerasan vickers, (b) hasil spesimen setelah diuji kekerasan tampak dilensa.....	45
Gambar 3.23 Mesin Uji Takik V-Charpy	46
Gambar 3.24 Pembentukan spesimen uji metalografi (a) proses polesting, (b) hasil pembentukan spesimen uji metalografi.....	47
Gambar 3.25 Uji Metalografi Foto Mikro	47
Gambar 4.1 Hasil Pengelasan SAW	50
Gambar 4.2 Hasil Pengelasan FCAW	52
Gambar 4.3 Hasil Uji Radiografi Pengelasan SAW	54
Gambar 4.4 Hasil Uji Radiografi Pengelasan FCAW	54
Gambar 4.5 Spesimen Uji Tarik	55
Gambar 4.6 Hasil Uji Tarik Material ASTM A36 (a) Sebelum pengujian, (b) Sesudah pengujian	56
Gambar 4.7 Hasil Stuktur Mikro Pengelasan SAW (a) Weld Metal, (b) HAZ..	63
Gambar 4.8 Hasil Stuktur Mikro Pengelasan FCAW (a) Weld Metal, (b) HAZ	64
Gambar 4.9 Foto Makro Hasil Pengelasan SAW	65
Gambar 4.10 Foto Makro Hasil Pengelasan FCAW	65

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.2	Perbandingan Yield Strength dan Ultimate Strength.....	58
Grafik 4.3	Perbandingan Kekerasan Pada Pengelasan SAW dan FCAW.....	60
Grafik 4.4	Perbandingan Hasil Uji Takik.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Elektroda Pengelasan SAW	15
Tabel 2.2	Diameter Kawat dan Arus Pengelasan SAW	15
Tabel 2.3	Klasifikasi Elektroda Pengelasan FCAW	19
Tabel 2.4	Syarat Komposisi Kimia ASTM A36.....	21
Tabel 4.1	Parameter Pengelasan SAW	49
Tabel 4.2	Parameter Pengelasan FCAW	51
Tabel 4.3	Besar Heat Input SAW	52
Tabel 4.4	Besar Heat Input FCAW.....	53
Tabel 4.5	Hasil Uji Tarik Pengelasan SAW	57
Tabel 4.6	Hasil Uji Tarik Pengelasan FCAW	57
Tabel 4.7	Summary Kekuatan Tarik.....	58
Tabel 4.8	Hasil Uji Kekerasan Pengelasan SAW	59
Tabel 4.9	Hasil Uji Kekerasan Pengelasan FCAW	59
Tabel 4.10	Hasil Uji Takik Pengelasan SAW	61
Tabel 4.11	Hasil Uji Takik Pengelasan FCAW.....	61

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan hal paling penting dalam pembuatan kapal. Dalam industri perkapalan, pengelasan dilakukan untuk menggabungkan komponen-komponen kapal seperti penyambungan plat atau blok-blok kapal. Variasi pengelasan sendiri mengacu pada WPS (*welding procedure specification*) agar mendapatkan hasil pengelasan yang baik. Pengelasan yang sering digunakan saat ini yaitu las busur listrik. Penggunaan pengelasan ini sudah digunakan saat abad ke-19. Metode pengelasan yang sering digunakan oleh industri perkapalan seperti metode penyambungan las SAW (*Submerged Arc Welding*) dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Penggunaan metode pengelasan SAW banyak digunakan karena hasil dan kualitas lasan las yang baik, kecepatan proses produksi yang tinggi sehingga mempercepat dan meningkatkan efisiensi waktu pekerjaan serta dapat mengurangi pengerjaan ulang yang diakibatkan oleh kesalahan *welder* (Iestari, 2014). Selain SAW metode yang digunakan yaitu pengelasan FCAW. Metode ini memiliki tingginya angka endapan, lebih toleran terhadap karat dan skala besar dari pada GMAW, lebih sederhana dan dapat beradaptasi dari pada SAW, memiliki produktivitas yang tinggi dari pada SMAW dan hasil permukaannya bagus (Perdana, 2015).

Pengelasan SAW adalah las busur terendam dimana busur listrik yang dihasilkan terendam di dalam fluks yang diumpankan melalui energi fluks sedangkan logam pengisi yang berupa kawat pejal diumpankan secara terus menerus (Leman, 2005). Sedangkan pengelasan 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. Gas pelindungnya menggunakan karbon dioxide CO₂, atau campuran CO₂ dengan argon. Sehingga pengelasan dapat dilakukan secara semi otomatis, maka dari itu memberi kenyamanan dalam pengoperasiannya dan memiliki keandalan yang tinggi (Ramadhani, 2016).

Dalam industri perkapalan, sering terjadi penggunaan metode pengelasan yang kurang tepat sehingga mengakibatkan keterlambatan penyerahan kepada pemilik kapal. Pemilihan metode pengelasan yang tepat diharapkan dapat memproduksi kapal dengan cepat dan efisien sehingga mampu bersaing dengan pasar global (Hadi, 2009). Pada penelitian ini digunakan metode pengelasan FCAW dan SAW karena metode tersebut memiliki kecepatan proses produksi yang tinggi sehingga mempercepat efisiensi waktu pekerjaan. Disisi lain juga perlu dilakukannya uji takik pada kedua metode tersebut untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Dimana pengujian ini lakukan dengan cara memberikan beban secara tiba-tiba dan cepat. Pada penelitian sebelumnya Hadi (2009) menyatakan bahwa ketangguhan uji takik pada pengelasan FCAW lebih tangguh sebesar 37% dibandingkan dengan proses SAW. Hal ini dimungkinkan oleh adanya *heat input* pada saat proses las FCAW lebih stabil.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan diperlukan penelitian terhadap hipotesa yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya mengenai perbandingan pengelasan SAW dan FCAW pada material ASTM A36 terhadap uji takik (*impact test*). Dalam melakukan uji takik diperlukan pengujian lainnya seperti NDT (Uji Radiografi), DT (Uji Tarik, Uji Kekerasan) serta Uji Metalografi (Uji Makro dan Mikro) untuk mengetahui cacat yang tidak tampak kasat mata yang terdapat di daerah sambungan pengelasan.

1.2 Perumusan Masalah

Berikut perumusan masalah yang akan dianalisis pada penelitian ini :

1. Bagaimana perbandingan hasil pengelasan antara SAW dan FCAW terhadap nilai kekuatan tarik, takik (*impact test*), dan kekerasan material ASTM A36?
2. Bagaimana perbandingan hasil stuktur makro dan mikro pengelasan antara SAW dan FCAW pada material ASTM A36?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah pelat baja ASTM A36 dengan ketebalan 12 mm.
2. Jenis proses pengelasan yang digunakan adalah SAW dan FCAW.

3. Desain sambungan menggunakan *butt joint*.
4. Posisi pengelasan yaitu 1G.
5. Variasi pengelasan seperti Arus, Tegangan, Posisi, elektroda dan lain-lain mengacu pada WPS.
6. Untuk analisis cacat las menggunakan *radiography test*.
7. Pengujian yang dilakukan adalah *Destructive Test (Hardness Test, Tension Test dan Impact Test)*, *Non Destructive Test (Radiography Test)* dan *Metallography Test (Macro Test dan Micro Test)*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan perbandingan hasil pengelasan antara SAW dan FCAW terhadap nilai kekuatan tarik, takik (*impact test*) dan kekerasan.
2. Untuk mendapatkan struktur makro dan mikro pengelasan antara SAW dan FCAW pada material ASTM A36.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan perbandingan hasil pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*) dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) terhadap cacat las, sifat ketangguhan spesimen terhadap uji takik (*impact test*) dan kekuatan spesimen terhadap uji tarik (*tension test*). Proses pengelasan dengan berbagai variasi yang mengacu pada WPS (*Welding Procedure Specification*). Sehingga didapatkan perbandingan kualitas dari dua pengelasan pada material ASTM A36.

1.6 Metodologi

Berikut ini merupakan metode yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir:

1. Studi Literatur

Untuk mempermudah saat proses penelitian harus memperbanyak literatur-literatur yang sesuai topik penelitian seperti tugas akhir sebelumnya, jurnal-jurnal, buku panduan dan *codes* yang akan dipakai dalam penelitian ini. Disamping itu mencari sumber informasi dari orang yang sudah berpengalaman seperti teknisi laboratorium sehingga proses yang dilakukan berjalan dengan semestinya.

2. Pelaksanaan Pengujian

Dalam melaksanakan pengujian, ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Persiapan material baja ASTM A36 dengan ketebalan 12 mm.
- Melakukan jenis proses pengelasan SAW dan FCAW.
- Pengujian *Non-Destructive Test* (NDT) yaitu *Radiography Test*
- Melakukan *Destructive Test* antara lain:
 - Uji Tarik (*Tension Test*)
 - Uji Kekerasan (*Hardness Test*)
 - Uji Takik (*Impact Test*)
- Melakukan *Metallography Test* antara lain:
 - Uji Makro (*Macro Test*)
 - Uji Mikro (*Micro Test*)

3. Analisis dan Pembahasan

Hasil dari pengujian akan dianalisis dan akan dibahas secara rinci.

Berikut hasil yang akan dianalisis:

- Hasil *Radiography test*
- Hasil Uji Tarik (*Tension Test*)
- Hasil Uji Kekerasan (*Hardness Test*)
- Hasil Uji Takik (*Impact Test*)
- Hasil Uji Makro (*Macro Test*)
- Hasil Uji Mikro (*Micro Test*)

4. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis dan pembahasan akan ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya agar penelitian ini lebih baik lagi.

1.7 Hipotesa Awal

Hasil uji takik pada pengelasan FCAW lebih ulet dibandingkan pengelasan SAW. Hal ini dikarenakan masukan panas pada FCAW lebih kecil dibandingkan SAW. Karena semakin besar masukan panas saat pengelasan akan terjadi perubahan struktur seperti pembesaran daerah HAZ yang menyebabkan penurunan kekuatan dan perubahan struktur mikro material.

Menurut (Hadi, 2009) ketangguhan hasil pengelasan FCAW lebih tangguh 37% dari pengelasan SAW. Hal ini disebabkan masukan panas saat pengelasan relatif stabil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Teori Pengelasan

Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam ataupun non logam yang biasanya dilakukan untuk membuat konstruksi suatu bangunan. Teknik pengelasan sudah digunakan sejak 4000 sampai 3000 dimana alat dan metode masih sangat sederhana yang mana sumber energi panas menggunakan pembakaran kayu atau arang. Suhu yang dihasilkan sangat rendah maka teknik ini tidak dikembangkan lebih lanjut. Pada abad ke-19 dimana saat energi listrik sudah dipergunakan dengan mudah, teknik pengelasan banyak yang digunakan saat itu seperti las busur, las resistansi listrik, las termit dan las gas. Pada tahun 1885 teknik yang digunakan secara luas yaitu las busur yang menggunakan sumber panas dalam proses pengelasan. Salah satu ilmuwan bernama Benardes memaka elektroda yang terbuat dari karbon atau grafit. Dengan berjalannya waktu banyak penemuan-penemuan baru dalam teknik pengelasan dimana ilmu pengetahuan dan teknologi semakin maju sehingga alat pengelasan pun juga lebih canggih dan memiliki berbagai jenis pengelasan baru seperti las tekan dingin, las listrik terak, las busur dengan pelindung gas CO₂, las gesek, las ultrasonik, las sinar elektron, las busur plasma, las laser dan masih banyak lainnya. Harga yang ditawarkan oleh perusahaan-perusahaan pun juga bervariasi. Kegunaan dalam pengelasan ini juga sangat banyak seperti konstruksi perkapalan, perpipaan, jembatan dan lain-lain.

Definisi pengelasan sendiri banyak versi, salah satunya menurut *American Welding Society*. Pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan cara memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan menggunakan tekanan (pressure) maupun tidak, menggunakan tekanan (pressure) saja, menggunakan logam pengisi (filler) atau tidak (AWS,1989). Sedangkan menurut *British Standards Institution*, pengelasan merupakan proses penyambungan material dua atau lebih dalam keadaan plastis atau cair dengan menggunakan panas (*heat*) atau dengan tekanan (*pressure*) atau keduanya. Logam pengisi (*filler metal*) dengan temperatur lebur

yang sama dengan titik lebur dari logam induk dapat atau tanpa digunakan dalam proses penyambungan tersebut (BSI, 1983).

2.1.1 Parameter Pengelasan

Dalam melakukan pengelasan perlu diperhatikan beberapa parameter yang menunjang hasil dari pengelasan agar yang didapat hasil yang baik sebagai berikut:

1. Tegangan busur las

Tinggi tegangan busur las tergantung pada panjang busur dari jenis elektroda yang digunakan. Tinggi tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur untuk elektroda yang sejenis. Busur listrik yang terlalu panjang tidak direkomendasi sebab stabilitas mudah terganggu yang mengakibatkan hasil dari pengelasan yang tidak merata. Selain itu tinggi tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan sehingga tegangan yang tinggi hanya membuang energi saja.

Panjang busur yang baik kira-kira sama dengan garis tengah elektroda. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas dengan elektroda bergaris tengah 3 sampai 6 mm, kira-kira sekitar 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Sedangkan untuk posisi vertikal atau *overhead* biasanya dikurangi 2 sampai 5 volt. Kestabilan busur dapat juga didengar dari suaranya saat pengelasan. Orang yang sudah berpengalaman, ketepatan panjang busur dapat diperkirakan dari suara pengelasan. Sehubungan dengan panjang busur, hal yang paling susah dalam las busur listrik dengan tangan adalah mempertahankan panjang busur yang tetap dan stabil (Okomura,1996).

2. Besar ampere las

Menentukan besar ampere las diperlukan beberapa faktor seperti geometri sambungan, bahan serta ukuran las, posisi pengelasan tergantung jenis dan diameter inti elektroda. Daerah lasan yang memiliki kapasitas panas yang tinggi maka diperlukan ampere las yang besar dan jika perlu diberikan pemanasan tambahan. Saat pengelasan pada logam paduan alangkah baiknya menggunakan ampere yang kecil untuk menghindari dari terbakarnya unsur-unsur paduan.

3. Kecepatan las

Kecepatan pengelasan berhubungan dengan ampere las, semakin cepat pengelasan ampere yang dibutuhkan semakin tinggi. Selain itu tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, material, geometri sambungan dan lain-lain. Tegangan las tidak ada hubungannya dengan kecepatan las akan tetapi tegangan las berbanding lurus dengan ampere las. Apabila tegangan dari ampere dibuat konstan, kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang akan menurun. Ketika sampai pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan maka penembusan semakin membesar. Apabila kecepatan dinaikkan lagi maka masukan panas persatuan panjang juga akan menjadi kecil sehingga proses pendinginan menjadi cepat yang bisa memperkeras daerah (HAZ) *Heat Affected Zone* (Okumura, 1996).

4. Polaritas listrik

Pemilihan polaritas listrik ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain-lain. Apabila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panas besar alangkah baiknya menggunakan polaritas lurus dimana elektroda dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya apabila kapasitas panas kecil pada pelat yang tipis maka menggunakan polaritas balik dimana elektroda dihubungkan dengan kutub positif.

Sifat busur yang stabil biasanya terjadi ketika arus searah dibandingkan dengan arus bolak-balik, terutama pengelasan menggunakan arus rendah. Tetapi untuk pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak-balik karena saat menggunakan arus searah kemungkinan akan terjadi ledakan busur pada akhir pengelasan (Okumura, 1996).

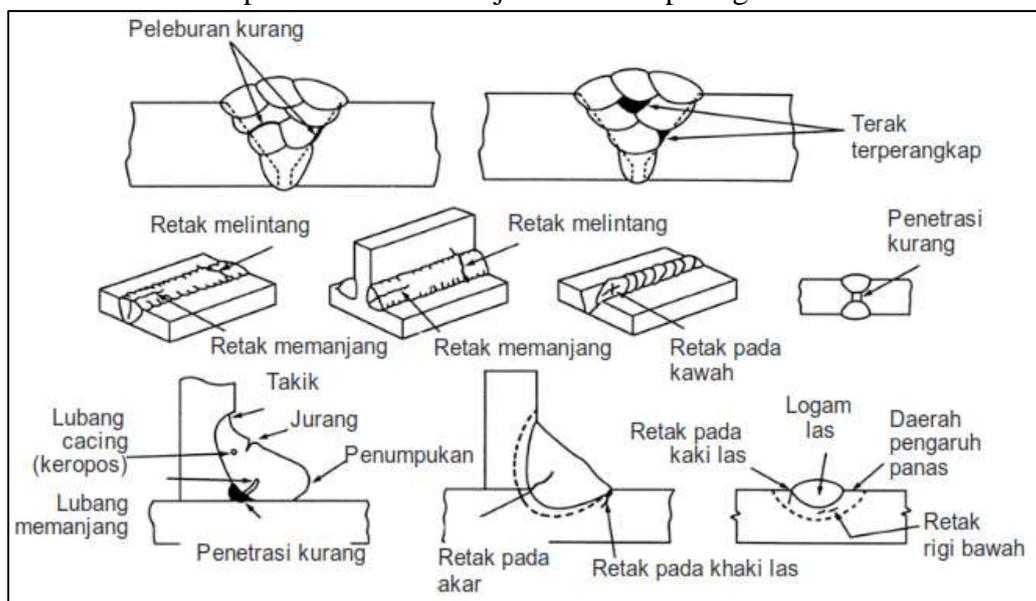
5. Besarnya tembusan

Untuk menentukan besarnya tembusan tergantung pada sifat-sifat *fluks*, polaritas, besarnya arus, kecepatan las dan tegangan yang digunakan. Penembusan atau penetrasi yang cukup akan menghasilkan kekuatan sambungan yang tinggi. Semakin besar arus las maka semakin besar pula daya tembusnya. Tegangan memberi pengaruh sebaliknya, semakin besar tegangan semakin panjang busur yang terjadi dan semakin tidak terpusat, sehingga penetrasi yang

dihasilkan lebar dan dangkal akibat panas yang melebar. Ada pengecualian pada beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memerlukan tegangan tinggi. Untuk pengaruh kecepatan apabila suatu kecepatan tertentu naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi ketika melampaui kecepatan tersebut maka penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan (Okomura, 1996).

2.1.2 Cacat Las

Cacat las terjadi apabila pekerjaan pengelasan dikerjakan dengan tidak benar. Sehingga kualitas hasil lasan menjadi buruk dan tampilan dari lasan tidak memuaskan. Terdapat macam-macam jenis lasan seperti gambar 2.1.



Gambar 2.1 Macam-macam Cacat Pengelasan
(sumber : *Teknologi Las Kapal, 2008*)

- **Tampilan rigi las buruk**

Tampilan rigi las buruk adalah istilah umum untuk kondisi permukaan rigi las yang lain daripada biasa, meliputi panjang kaki kurang, kekurangan atau kelebihan penguatan, dan perlakuan pada kawah las yang salah.

Tampilan rigi las yang buruk dapat disebabkan oleh kondisi pengelasan yang kurang tepat atau kurangnya ketrampilan juru las, dan menghasilkan kurangnya kekuatan pada sambungan las. Takik atau penumpukan menunjukkan adanya takikan, yang menyebabkan konsentrasi tegangan, memicu retak dan rapuh (Sunaryo, 2008).

- **Lubang cacing dan jurang**

Jika leburan logam membeku sebelum gas CO₂, H₂ atau N₂ dilepaskan secara keseluruhan, gas tersebut terperangkap didalam rigi las, membentuk lubang cacing. Lubang cacing berbentuk memanjang disebut "pipa". Sebuah lubang terbuka di permukaan disebut "pit/jurang". Cacat cacat tersebut kebanyakan berbentuk bola. Lubang cacing atau jurang kecil yang tersebar sebetulnya tidak berpengaruh merugikan pada las-lasan. Bagaimanapun, jika cacat-cacat tersebut berukuran besar atau ada dalam jumlah besar, pengulangan muatan akan timbul, menyebabkan berkurangnya kekuatan pada sambungan las (Sunaryo, 2008)

- **Kurang penembusan, peleburan kurang, terak terperangkap**

Kurangnya penembusan (*lack of penetration*) terjadi jika leburan logam tidak tembus secara sempurna kedalam sambungan dengan penembusan penuh. Peleburan kurang (*lack of fusion*) terjadi jika kekurangan peleburan didalam batas antara logam las dan logam induk atau antara lajur-lajur las. Cacat-cacat tersebut menunjukkan kurangnya rongga atau takikan, menghasilkan pengurangan berarti pada kekuatan sambungan las. Terak yang terperangkap (Slag inclusion) terjadi bila lelehan terak tetap tinggal didalam logam las tanpa naik ke permukaan, atau bila terak dari lapisan sebelumnya tetap tidak dibuang dan masuk kedalam logam las. Sama dengan kurang penembusan, terak terperangkap sering menimbulkan takikan, menghasilkan pengurangan kekuatan pada sambungan las.

- **Retak-retak**

Retak didalam daerah las adalah cacat las yang paling serius. Meskipun kecil, retak membentuk takikan runcing dimana terdapat konsentrasi tegangan, memungkinkan untuk menjadi sebab terjadinya kerusakan serius pada struktur yang dilas.

Retak secara menyeluruh diklasifikasikan menurut tempat terjadinya, kedalam retak logam las, retak daerah pengaruh panas dan retak logam induk. Retak dapat juga diklasifikasikan menurut suhu terjadinya, kedalam retak panas dan retak dingin. Retak panas terjadi pada suhu atau sedikit dibawah rentang suhu pembekuan. Retak dingin terjadi pada suhu 300°C atau dibawahnya. Pemanasan kembali retakan dihasilkan dari perlakuan panas pasca pengelasan yang kurang tepat (Sunaryo, 2008).

- **Retak panas**

Retak panas adalah istilah umum untuk retak yang terjadi pada temperatur tinggi atau sedikit dibawah rentang suhu pembekuan.

Jika logam induk berisi fosfor, sulfur atau unsur-unsur sejenis dengan daya regang rendah pada temperatur tinggi, logam tersebut akan terkoyak oleh adanya tegangan tarik seperti pembekuan dan penyusutan logam las. Hasil retakannya disebut "Retak panas" atau "Retak padat". Patahan dari retakan ini kadang-kadang teroksidasi dan menjadikannya mudah terlihat. Terdapat bermacam-macam retak panas, seperti retak kawah, retak bentuk buah per, retak rigi memanjang, dan retak sulfur. Retak pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada baja tahan karat austenitik hampir seperti retak panas. Jika plat baja tahan karat austenitic yang tebal dilas menggunakan sudut kampuh kecil dan masukan panas besar, dapat dihasilkan rigi dengan rongga yang lebih besar daripada ketebalan plat. Pada beberapa bentuk rigi, retak padat cenderung untuk terjadi dipusat rigi. Retak jenis ini disebut "Retak bentuk buah per" karena riginya berbentuk seperti buah per. Terjadinya retak bentuk buah per dapat dicegah dengan pemilihan bentuk sambungan yang sesuai dan kondisi pengelasan yang tepat pula serta menghindari masukan panas yang besar untuk memastikan bahwa reaksi tegangan kecil dan rigi bentuk buah per tidak terbentuk (Sunaryo, 2008).

- **Retak dingin**

Retak dingin adalah istilah umum untuk retak yang terjadi setelah suhu daerah las turun sampai sekitar suhu normal. Kebanyakan retak yang terdeteksi pada struktur lasan dari baja lunak atau baja paduan rendah adalah retak dingin. Retak dingin dapat diklasifikasikan kedalam retak akar yang dihasilkan dari konsentrasi tegangan pada daerah akar, retak dibawah rigi yang terjadi pada daerah pengaruh panas, retak rigi melintang, retak jari, dll (Sunaryo, 2008).

2.1.3 Heat Input

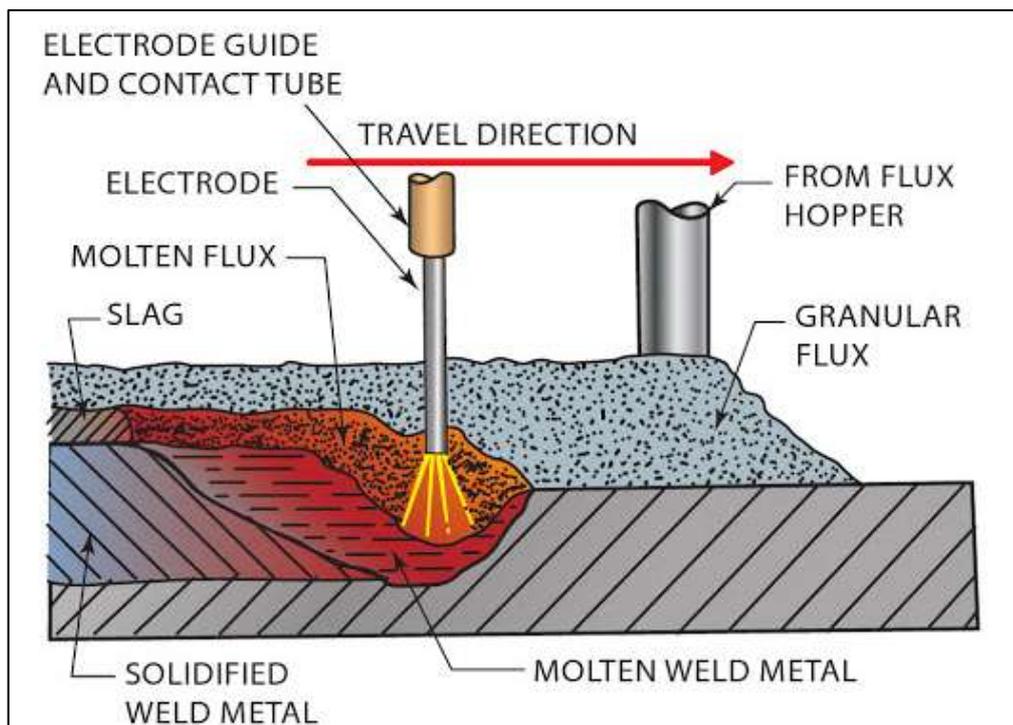
Heat input merupakan salah satu parameter yang terpenting dalam pengelasan. *Heat input* merupakan masukan panas pada saat pengelasan dimana nantinya akan berpengaruh pada struktur mikro material. Material menjadi lebih tangguh atau menjadi *brittle*. Saat proses pengelasan berlangsung, diusahakan besar

nilai heat input tetap konstan agar hasil pengelasan memiliki kualitas yang sama disepanjang daerah *weld metal* dan HAZ (*Heat Affected Zone*). Akan tetapi pada kenyataannya nilai heat input saat proses pengelasan berubah-ubah tergantung pada tegangan busur las, kecepatan pengelasan dan besar arus las. Besar nilai heat input dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Heat input (J/mm)} = \frac{\text{Arus (A)} \times \text{Tegangan (V)}}{\text{Travel Speed (mm/sec)}} \quad (\text{ASME IX, 2013}) \dots\dots\dots(2.1)$$

2.2 Pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*)

Las busur teredam atau sering disebut SAW merupakan salah satu proses pengelasan berjenis las listrik dimana material dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Lelehan elektroda dan metal induk diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas.



Gambar 2.2 Proses Las SAW
(sumber : *Welding: Principles and Application 7th Ed., 2012*)

Proses pengelasan SAW tidak memerlukan tekanan. Elektroda berupa gulungan filler metal yang dipasok terus menerus secara otomatis dan pengelasan ini menggunakan butiran flux seperti pasir untuk melindungi dari kontaminasi udara

luar. Prinsip pengelasan SAW hampir sama dengan SMAW namun flux yang digunakan berupa butiran pasir sedangkan SMAW elektoda diselaputi oleh flux. Selain itu SAW merupakan pengelasan otomatis sedangkan SMAW pengelasan manual.

Terdapat kelebihan dan kekurangan penggunaan metode SAW. Kelebihan dari metode ini yaitu bisa digunakan untuk mengelas berbagai macam jenis baja struktur maupun baja paduan termasuk baja karbon rendah, *low alloy steel*, baja yang bisa diperlakukan panas, *high alloy steel* seperti *stainless steel*. Selain itu karena proses SAW secara otomatis maka tidak diperlukan keterampilan juru las yang tinggi dan perubahan-perubahan teknik pengelasan yang dilakukan oleh juru las tidak banyak pengaruhnya terhadap kualitas las. Untuk kelemahan dari metode ini yaitu karena prosesnya otomatis, maka penggunaannya lebih terbatas bila dibandingkan las dengan tangan atau semi otomatis seperti posisi pengelasan yang terbatas hanya pada posisi horisontal. Busur yang tidak kelihatan karena butiran flux yang menutupi, maka penentuan pengelasan yang salah dapat menggagalkan seluruh hasil pengelasan.

2.2.1 Elektroda SAW

Elektroda yang digunakan memiliki flux dan berbentuk roll seperti gulungan kabel. Elektroda dalam bentuk kawat diumpankan ke kampuh las benda kerja secara terus menerus dan ditutup dengan flux dalam bentuk serbuk halus. Busur listrik tercipta diantara elektroda dan benda kerja namun tidak terlihat karena elektroda tertutup oleh flux. Standar penggunaan elektrodapun bervariasi sesuai kebutuhan. Biasanya standar yang digunakan yaitu JIS (Japan Industrial Standards) yang sering dipakai di negara Jepang atau ASTM (American Society for Testing and Materials) yang didasarkan pada standar las Amerika yaitu AWS (American Welding Society). Berikut komposisi untuk elektrode SAW :

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Elektroda Pengelasan SAW

Electrode Classification	UNS Number ^a	C	Mn	Si	S	P	Cu ^d	Ti
Low-Manganese Electrodes								
EL8	K01008	0.10	0.25–0.60	0.07	0.030	0.030	0.35	—
EL8K	K01009	0.10	0.25–0.60	0.10–0.25	0.030	0.030	0.35	—
EL12	K01012	0.04–0.14	0.25–0.60	0.10	0.030	0.030	0.35	—
Medium-Manganese Electrodes								
EM11K	K01111	0.07–0.15	1.00–1.50	0.65–0.85	0.030	0.025	0.35	—
EM12	K01112	0.06–0.15	0.80–1.25	0.10	0.030	0.030	0.35	—
EM12K	K01113	0.05–0.15	0.80–1.25	0.10–0.35	0.030	0.030	0.35	—
EM13K	K01313	0.06–0.16	0.90–1.40	0.35–0.75	0.030	0.030	0.35	—
EM14K	K01314	0.06–0.19	0.90–1.40	0.35–0.75	0.025	0.025	0.35	0.03–0.17
EM15K	K01515	0.10–0.20	0.80–1.25	0.10–0.35	0.030	0.030	0.35	—
High-Manganese Electrodes								
EH10K	K01210	0.07–0.15	1.30–1.70	0.05–0.25	0.025	0.025	0.35	—
EH11K	K11140	0.06–0.15	1.40–1.85	0.80–1.15	0.030	0.030	0.35	—
EH12K	K01213	0.06–0.15	1.50–2.00	0.20–0.65	0.025	0.025	0.35	—
EH14	K11585	0.10–0.20	1.70–2.20	0.10	0.030	0.030	0.35	—
EG	Not Specified							

(Sumber: AWS A5.17, 2007)

Pada tabel diatas merupakan komposisi kimia dari setiap elektroda pengelasan SAW. Elektroda dibagi 3 kategori yaitu *low*, *medium* dan *high manganese*.

1. Kelompok Mn rendah : kelompok ini mengandung Mn antara 0,25 sampai 0,6% dan biasanya digunakan bersama-sama degan fluks jenis ikatan.
2. Kelompok Mn sedang : Kandugan Mn dalam kawat las ini berkisar antara 1 sampai 1,25% dan biasanya digunakan degan fluks jenis leburan.
3. Kelompok Mn tinggi : Kawat las ini mengandung Mn 1,3 sampai 2,2% dan penggunaanya digabung degan fluks jenis leburan. Kawat ini bisa dipakai dalam berbagai penggunaan misal las lapis tunggal las lapis banyak, las tumpul dan las sudut.

Tabel 2.2 Diameter Kawat dan Arus Pengelasan SAW

Diameter kawat (mm)	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0
Besar arus (Amp)	< 400	300–500	350–800	500–1100	700–1600	> 1000

(Sumber : Teknologi Pengelasann Logam)

Komposisi kimia dari kawat kelompok Mn rendah dan Mn tinggi yang terdapat dipasaran dapat di lihat pada tabel 2.2. Kawat tersebut biasanya dibuat dengan garis tengah 2,4 ; 3,2; 4,0 ; 4,8 ; 5,6 ; 6,4 dan 8,0 mm. Berikut contoh penjelasan jenis elektroda.

E H 1 2 K

Keterangan :

- E** = Elektroda pengelasan SAW
- H** = High Manganese (Magnesium tinggi)
- 1 2** = 0,12% Carbon
- K** = Silicon-killed

Penjelasan untuk penulisan klasifikasi elektroda yang dibuat AWS dimana terdiri dari 4 digit angka setelah huruf pertama yaitu E yang menunjukkan bahwa itu elektrode pengelasan SAW. Untuk huruf selanjutnya biasanya terdiri huruf L (*low*), M (*medium*), H (*High*) yang menyatakan kisaran magnesium. Digit selanjutnya biasanya terdiri dari satu atau dua angka yang menyetakan kadar dari karbon. Untuk digit terakhir terkadang ada juga terkadang tidak ada yaitu huruf K yang menyatakan *silicon-killed, deoxidized steel*.

F 7 A 5

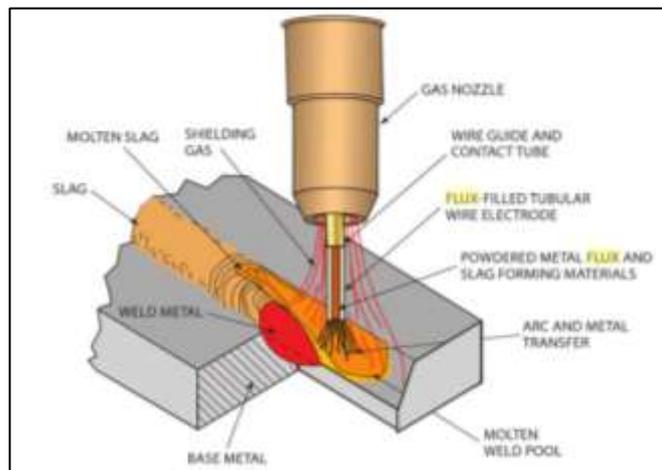
Keterangan :

- F** = Flux pengelasan SAW
- 7** = 70000 psi (*tensile strength*)
- A** = As-Welded
- 5** = -50°F atau -46°C (*impact strength test*)

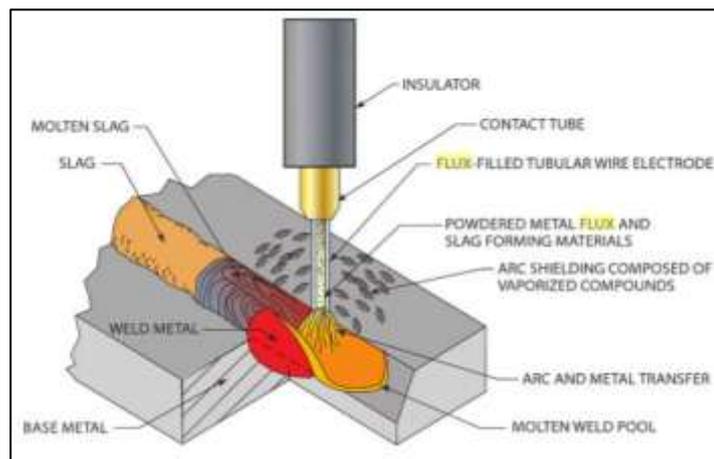
Adapun klafikasi dari flux SAW itu sendiri. Huruf pertama yaitu F yang menyatakan Flux untuk SAW. Digit selanjutnya yaitu berupa angka yang menyatakan kekuatan Tarik (*tensile strength*) biasanya dinyatakan 10000 psi. misal angka 7 yang berarti kekuatan tarik sebesar 70000 psi. untuk digit selanjutnya biasanya huruf “A “atau “P” dimana huruf “A” menyatakan “As-welded condition” sedangkan huruf “P” menyatakan “Postweld heat treatment”. Digit terakhir biasanya tercantum angka atau huruf. Jika angka yang tercantum menyatakan suhu terendah untuk uji kekuatan takik (*impact test*) yang dinyatakan -10°F contoh angka yang tertera adalah “5” yang berarti -50°F atau (-46°C).

2.3 Pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Las busur listrik fluks inti tengah / pelindung inti tengah biasanya dikenal dengan proses pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) adalah salah satu proses pengelasan menggunakan busur yang diisi filler metal berupa elektroda yang dapat diumpangkan secara terus-menerus dengan bidang kerja biasanya berbentuk tubular. Pengelasan FCAW dioperasikan secara semi otomatis atau otomatis. Aplikasi untuk pengelasan FCAW semi otomatis yang sering digunakan dalam dunia fabrikasi struktur baja. Biasanya dilakukan pada pengelasan yang sulit diaskes, produksi las yang pendek atau posisi pengelasan keluar seperti vertikal atau diatas kepala. Secara umum pengelasan FCAW menggunakan operasi secara semi otomatis.



(a)



(b)

Gambar 2.3 (a) Proses FCAW-g, (b) Proses FCAW-ss
(Sumber : *Welding: Principles and Application 7th Ed., 2012*)

Menurut kegunaannya FCAW digolongkan menjadi dua jenis variasi tergantung pada elektrode pelindung yaitu FCAW-ss dan FCAW-g seperti pada gambar 2.3. Pengelasan FCAW-ss (*Self Shielded Flux Core Arc Welding*) merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas dari hasil penguapan atau reaksi dari inti fluks. Sedangkan pengelasan FCAW-g perlindungan dengan dual gas, yaitu melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas sendiri juga ditambah gas pelindung yang berasal dari luar sistem. Umumnya gas yang digunakan yaitu karbon dioksida (CO₂) sebagai gas pelindung meskipun juga bisa menggunakan campuran jenis gas lain seperti Argon.

Terdapat kelebihan dan kelemahan penggunaan pengelasan FCAW ini. Kelebihan dari proses ini yaitu elektrode dapat berjalan terus menerus yang dapat mempercepat proses pengelasan dan mengurangi cacat las ketika pengelasan sering dilakukan secara diskontinyu. Selain itu apabila arus listrik ditinggikan maka akan meningkatkan laju endapan dan produktivitas yang sesuai. Sedangkan untuk kelemahan dari proses pengelasan FCAW ini yaitu filler metal harus dibeli dari pabrik elektroda yang dilengkapi syarat-syarat hidrogen rendah. Pengelasan yang dilakukan dengan proses ini dapat menimbulkan *notch toughness* yang buruk. Dimana *filler metal* yang digunakan harus memenuhi persyaratan uji takik. Elektroda yang memiliki kandungan hidrogen lebih rendah dan memiliki syarat kimia khusus akan menghasilkan sifat yang lebih konsisten (PPNS, 2015).

Kedua jenis pelindung diatas sama-sama menghasilkan terak las yang memadai untuk melindungi metal las yang akan beku. Perbedaannya terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan *welding torch* (*welding gun*).

2.3.1 Elektroda FCAW

Elektroda yang digunakan dalam pengelasan FCAW berupa *filler metal* yang mengacu pada peraturan AWS A5.20 yang menjelaskan mengenai elektroda untuk *mild steel*. Berikut klasifikasi elektroda yang digunakan pada pengelasan FCAW:

Tabel 2. 3 Klasifikasi Elektroda Pengelasan FCAW

Usability Designator	AWS Classification		Position of Welding ^{a, b}	External Shielding ^c	Polarity ^d	Application ^e
	A5.20	A5.20M				
1	E70T-1C	E490T-1C	H, F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-1M	E490T-1M	H, F	75-80 Ar/bal CO ₂		
	E71T-1C	E491T-1C	H, F, VU, OH	CO ₂		
	E71T-1M	E491T-1M	H, F, VU, OH	75-80 Ar/bal CO ₂		
2	E70T-2C	E490T-2C	H, F	CO ₂	DCEP	S
	E70T-2M	E490T-2M	H, F	75-80 Ar/bal CO ₂		
	E71T-2C	E491T-2C	H, F, VU, OH	CO ₂		
	E71T-2M	E491T-2M	H, F, VU, OH	75-80 Ar/bal CO ₂		
3	E70T-3	E490T-3	H, F	None	DCEP	S
4	E70T-4	E490T-4	H, F	None	DCEP	M
5	E70T-5C	E490T-5C	H, F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-5M	E490T-5M	H, F	75-80 Ar/bal CO ₂		
	E71T-5C	E491T-5C	H, F, VU, OH	CO ₂		
5	E71T-5M	E491T-5M	H, F, VU, OH	75-80 Ar/bal CO ₂		
	6	E70T-6	E490T-6	H, F	None	DCEP
7	E70T-7	E490T-7	H, F	None	DCEN	M
	E71T-7	E491T-7	H, F, VU, OH			
8	E70T-8	E490T-8	H, F	None	DCEN	M
	E71T-8	E491T-8	H, F, VU, OH			
9	E70T-9C	E490T-9C	H, F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-9M	E490T-9M	H, F	75-80 Ar/bal CO ₂		
	E71T-9C	E491T-9C	H, F, VU, OH	CO ₂		
	E71T-9M	E491T-9M	H, F, VU, OH	75-80 Ar/bal CO ₂		
10	E70T-10	E490T-10	H, F	None	DCEN	S
11	E70T-11	E490T-11	H, F	None	DCEN	M
	E71T-11	E491T-11	H, F, VD, OH			
12	E70T-12C	E490T-12C	H, F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-12M	E490T-12M	H, F	75-80 Ar/bal CO ₂		
	E71T-12C	E491T-12C	H, F, VU, OH	CO ₂		
	E71T-12M	E491T-12M	H, F, VU, OH	75-80 Ar/bal CO ₂		
13	E61T-13	E431T-13	H, F, VD, OH	None	DCEN	S
	E71T-13	E491T-13				
14	E71T-14	E491T-14	H, F, VD, OH	None	DCEN	S
G	E60T-G	E430T-G	H, F	Not Specified	Not Specified	M
	E70T-G	E490T-G				
	E61T-G	E431T-G	H, F, VD or VU, OH	Not Specified	Not Specified	M
	E71T-G	E491T-G				
	E60T-GS	E430T-GS	H, F	Not Specified	Not Specified	S
E70T-GS	E490T-GS					
E61T-GS	E431T-GS	H, F, VD or VU, OH	Not Specified	Not Specified	S	
E71T-GS	E491T-GS					

(Sumber: AWS A5.20, 2005)

Tabel diatas merupakan klasifikasi elektroda FCAW pada AWS. Dimana terdapat macam elektroda beserta ketentuan-ketentuannya seperti posisi

pengelasan, gas pelindung, polaritas dan aplikasi. Berikut penjelasan penamaan elektroda FCAW menurut AWS A5.20 (2005) yaitu:

$$E X_1 X_2 T - X_3 X_4$$

Dimana:

- E = Elektroda pengelasan FCAW
- X₁ = Kekuatan tarik logam las (ksi)
- X₂ = Posisi Pengelasan
Kode angka 0 = posisi pengelasan secara mendatar dan horisontal
Kode angka 1 = semua posisi pengelasan
- T = Jenis *flux*
- X₃ = Kegunaan pengelasan. Biasanya kode yang digunakan adalah angka 1 hingga 14 atau huruf “G” atau “GS”. Huruf G menunjukkan polaritas dan karakteristik operasi umum tidak spesifik. Dan huruf “S” setelah “G” menunjukkan bahwa elektrode hanya cocok untuk pengelasan *single pass*.
- X₄ = Gas pelindung pengelasan. Umumnya kode yang digunakan adalah huruf “C” yang menunjukkan bahwa elektroda menggunakan gas pelindung 100% CO₂. Sedangkan huruf “M” menunjukkan bahwa elektroda menggunakan gas pelindung 75%-80% Argon atau campuran gas pelindung CO₂. Kode lainnya dapat juga digunakan untuk menunjukkan gas lainnya yang bisa digunakan sebagai pelindung gas.

2.4 Sifat Baja ASTM A36

Material yang sering digunakan dalam industri perkapalan yaitu ASTM A36 dengan jenis *mild steel/low carbon steel*. Pemakaian material ini harus sesuai dengan spesifikasi baja yang ditetapkan oleh *American Society and Testing Material* (ASTM) yang memiliki komposisi kimia seperti **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 4 Syarat Komposisi Kimia ASTM A36

Product	Shapes ^a	Plates ^b					Bars ^c			
		To ¼ [20] incl	Over ¼ to 1½ [20 to 40] incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65] incl	Over 2½ to 4 [65 to 100] incl	Over 4 [100]	To ¼ [20] incl	Over ¼ to 1½ [20 to 40] incl	Over 1½ to 4 [100] incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.60-1.20	0.60-1.20	0.65-1.20	0.65-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^aManganese content of 0.85-1.35 % and silicon content of 0.15-0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].
^bFor each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

(Sumber: ASTM A36/A36M-04, 2003)

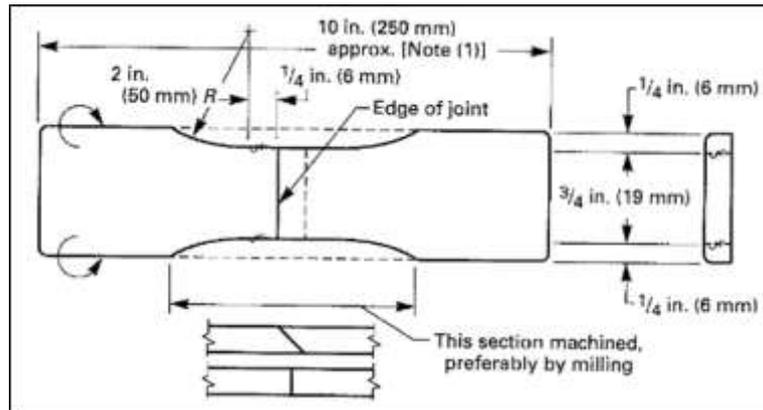
Table diatas menjelaskan mengenai syarat komposisi kimia material ASTM A36. Komposisi karbon rendah antara 0,25%-0,29%. Struktur karbon rendah terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan.

2.5 Destructive Test (DT)

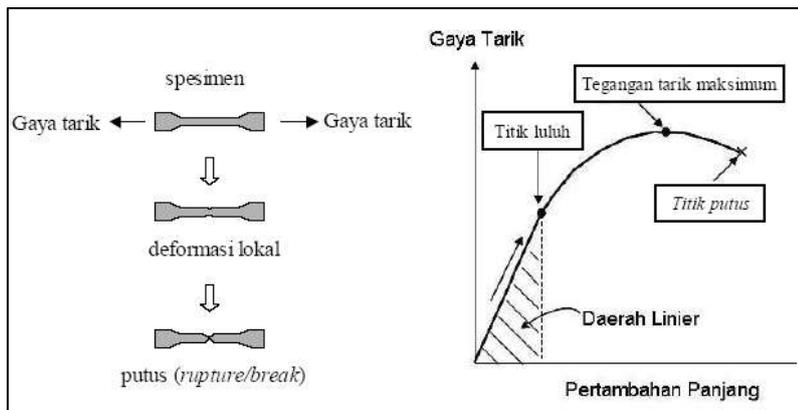
Pengujian kerusakan (*Destructive Test*) adalah salah satu metode untuk mengetahui kelayakan dan mutu suatu material sesuai dengan standar yang ditentukan. Pengujian ini harus merusak material seperti uji tarik (*tensile test*), uji tekuk (*bending test*), uji takik (*impact test*) dan uji kekerasan (*hardness test*).

2.5.1 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik merupakan pengujian material yang paling dasar dimana material yang sudah dipotong-potong diuji dengan cara ditarik searah gaya aksial agar mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Pembuatan spesimen uji harus sesuai dengan standar yang diinginkan. Hasil dari pengujian ini akan mendapatkan profil tarikan berupa diagram tegangan-regangan (*stress-strain diagram*).



(a)



(b)

Gambar 2.4 (a) Spesimen Uji Tarik (ASME IX), (b) Kurva Tegangan-Regangan
(Sumber: PPNS, 2015)

Pada gambar (a), dimensi untuk spesimen uji tarik menurut ASME IX gambar (b) menjelaskan mengenai ilustrasi pengujian material pada uji tarik. Awalnya spesimen dibentuk sesuai standar. Setelah itu dilakukan uji tarik dengan memberikan gaya aksial yang nantinya semakin lama akan mengalami deformasi local dan akhirnya putus. Sehingga menghasilkan kekuatan tarik lasan, batas elastis, titik luluh dan daktilitas dan menjelaskan kurva tegangan-regangan dimana tegangan tarik maksimum atau *Ultimate 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*. Biasanya jarak penggeseran regangan sekitar 0,2%. Berikut rumus untuk melakukan perhitungan setelah uji tarik dilakukan :

$$\sigma Ultimate = \frac{F Ultimate}{A} N/mm^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\sigma Yield = \frac{F Yield}{A} N/mm^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

A = Initial cross section area (mm²)

$F Ultimate$ = Maximum load (Newton)

$F Yield$ = Yield load (Newton)

2.5.2 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Uji kekerasan merupakan paling penting dan paling banyak digunakan dalam *mechanical test* untuk mengetahui sifat-sifat logam serta material tertentu lainnya. kekerasan material biasanya dinilai ketahanannya terhadap identor (deformasi tekan) permanen. pada umumnya sebuah identor ditekan kepermukaan logam yang akan diuji dengan beban tertentu pada interval waktu tertentu dan pengukuran diperoleh dari ukuran dan kedalaman identor. Prinsip utama dari pengujian ini adalah untuk menentukan kesesuaian bahan pada aplikasi tertentu atau perlakuan tertentu pada suatu objek. kemudahan dari uji kekerasan ini merupakan metode paling umum yang dilakukan dalam inspeksi logam dan logam campuran (Chandler, 1999).

Metode yang digunakan untuk tugas akhir ini yaitu Metode Vickers. Salah satu metode pengujian kekerasan yang memiliki tujuan untuk mengetahui daya tahan suatu material dengan cara memberikan beban menggunakan identitor piramida intan dengan sudut 136° antara permukaan piramida intan yang saling berhadapan dengan material uji. Acuan yang digunakan adalah ASTM E 92. Angka kekerasan vickers dinyatakan dalam rumus berikut ini:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

VHN = Angka kekerasan Vickers (Kgf/mm²)

P = Beban yang digunakan (Kgf)

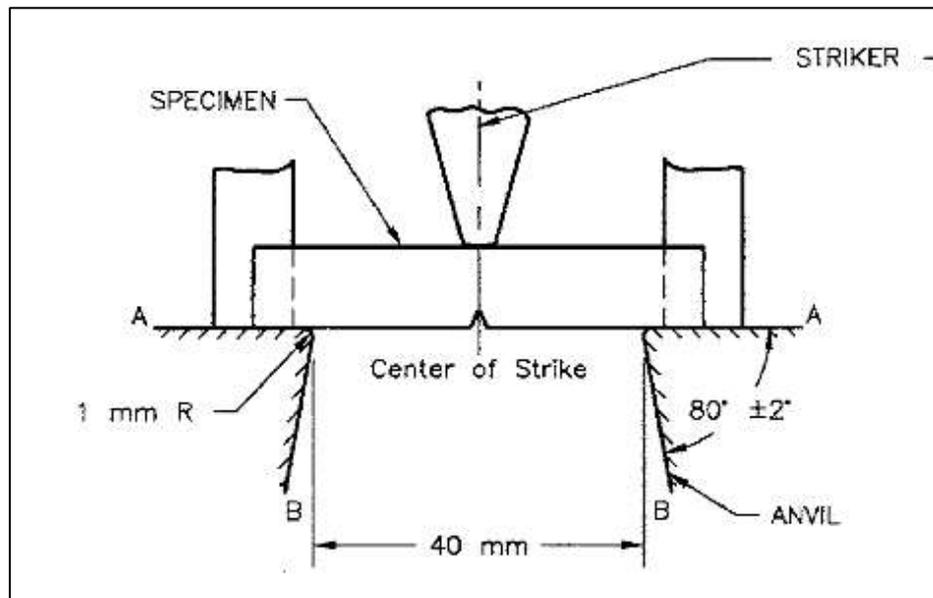
d = Panjang diagonal rata- rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

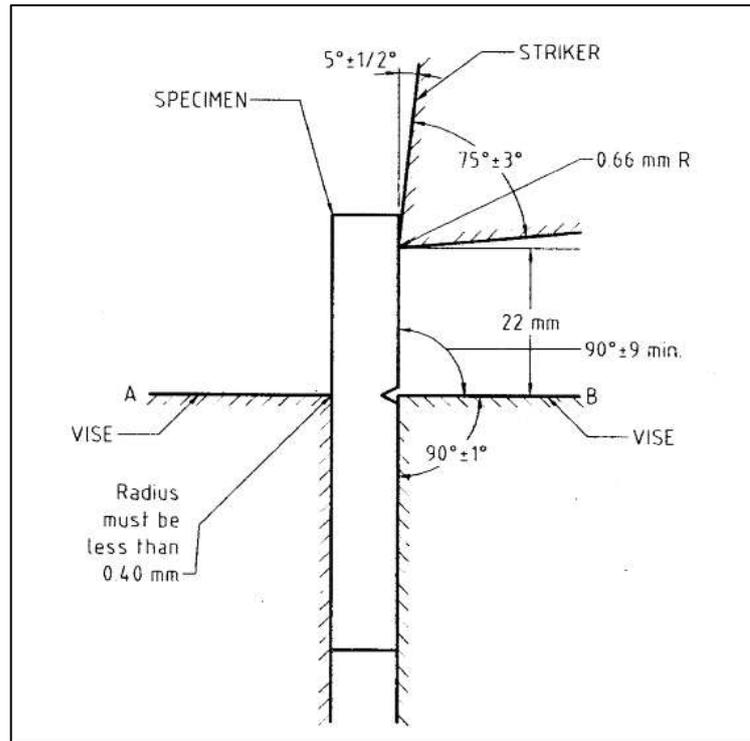
2.5.3 Uji Takik (*Impact Test*)

Uji takik merupakan pengujian suatu material untuk mengetahui kegetasan dan dengan cara pembebanan tiba-tiba terhadap benda yang diuji secara statis. Pengujian ini dilakukan dikarenakan ketika terjadi mode kepecahan *brittle* pada suhu rendah, ketika suhu tinggi dan *triaxial state of stress*. Hal ini bisa menggunakan *fatigue test*. Akan tetapi akan tes tersebut membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Oleh karena itu dilakukan *impact test* karena membutuhkan waktu yang lebih cepat dan biaya yang murah.

Pengujian kuat takik merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Dasar pengujian takik adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Uji takik merupakan pertimbangan yang penting dalam merancang bangunan dimana merupakan hal yang sulit untuk dihitung dan sebagai pengukuran yang kritikal dalam usia pakai (*service life*) terutama untuk produk yang mengutamakan keselamatan dan resiko tinggi. Uji ini mengacu pada standart ASTM E23. Metode yang telah menjadi standar untuk uji takik ini ada 2, yaitu uji takik metode Charpy dan metode Izod (Rusnoto, 2013).



(a)



(b)

Gambar 2.5 (a) Pengujian metode Charpy, **(b)** Metode Izod
(Sumber: ASTM E23)

1. Metode Charpy

Pada metoda ini banyak digunakan di Amerika Serikat, dan merupakan cara pengujian dimana spesimen dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada spesimen diletakkan di tengah-tengah dengan arah pembebanan tepat diatas takikan (Manalu, 2014).

Kelebihan :

- Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
- Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang.
- Harga alat lebih murah.
- Waktu pengujian lebih singkat.

Kekurangan :

- Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.
- Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam.
- Pengujian hanya dapat dilakukan pada specimen yang kecil.
- Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena level teganganyang diberikan tidak rata.

2. Metode Izod

Pada metoda ini banyak digunakan di Eropa terutama Inggris dan merupakan cara dimana spesimen berada pada posisi vertical pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Tumbukan pada spesimen dilakukan tidak tepat pada pusat takikan melainkan pada posisi agak diatas dari takikan (Manalu, 2014).

Kelebihan :

- Tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam.
- Dapat menggunakan specimen dengan ukuran yang lebih besar.
- Spesimen tidak mudah bergeser karena dicekam pada salah satu ujungnya

Kekurangan :

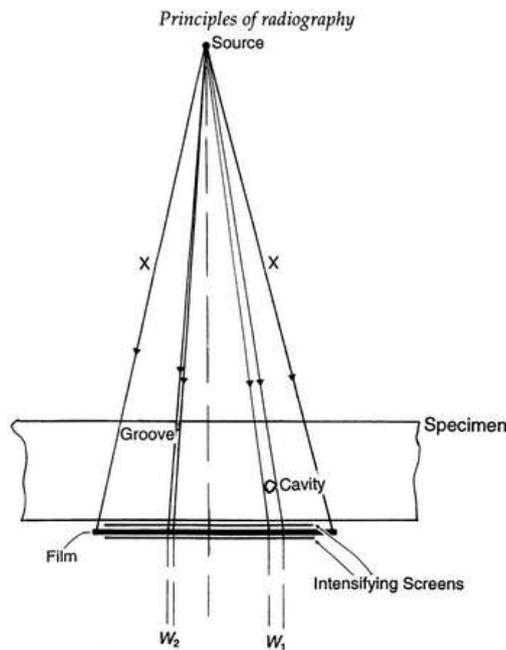
- Biaya pengujian yang lebih mahal.
- Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
- Waktu yang digunakan cukup banyak karena prosedur pengujiannya yang banyak, mulai dari menjepit benda kerja sampai tahap pengujian.

2.6 *Non-Destructive Test* (NDT)

Non destrructive testing (NDT) adalah Pengujian atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau *discontinuity* lain tanpa merusak benda yang kita tes atau inspeksi. Tujuan dari pengujian ini untuk menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui *damage tolerance*-nya. NDT dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, selama dan diakhir proses fabrikasi, untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap-tahap fabrikasi. NDT ini dijadikan sebagai bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu.

2.6.1 Pengujian Radiografi (*Radiography Test*)

Menggunakan penetrasi sinar *gamma* atau *X-Ray* pada benda uji untuk mencari cacat atau memeriksa fitur internal atau tersembunyi.



Gambar 2.6 Radiography Test

(Sumber : *Industrial Radiology: Theory and Practice 2nd Ed., 1995*)

Metode radiografi yang paling umum digunakan untuk sambungan las adalah radiografi langsung, yaitu gambar difoto radiografi secara langsung ke lembaran film sinar X. Dalam uji radiografi, karena setiap kerusakan difoto radiografi untuk divisualisasikan, maka jenis kerusakan dapat diidentifikasi dengan relatif mudah. Namun demikian, karena film sinar X harus diletakkan pada spesimen di bagian belakang daerah pengelasan, maka film itu sulit digunakan pada jenis-jenis sambungan las tertentu.

Film sinar X untuk industri yang tersedia secara komersial dapat digunakan untuk uji radiografi. Metode pemrosesan film setelah dilakukan radiografi hampir sama dengan proses fotografi biasa. Sinar X memiliki daya pancar yang tinggi. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kepekaan film, digunakanlah secara ketat kertas floresen yang sensitif atau kertas foil logam yang sensitif pada film selama proses radiografi. (Sunaryo, 2008).

Kelebihan dari Radiografi:

- Metode ini bisa digunakan untuk segala jenis objek atau material.
- Dapat diterapkan pada objek yang memiliki struktur yang berlapis dan rumit tanpa harus membongkar komponen dari material atau objek yang diuji.

- Cacat yang terdapat pada surface dan subsurface bisa terdeteksi dengan cepat.

Kekurangan dari Radiografi

- Membutuhkan keahlian khusus dalam untuk menjalankan metode ini
- Peralatan atau instrument yang dibutuhkan harganya cukup mahal
- Memerlukan dua sisi berlawanan pada objek yang diuji
- Resiko berbahaya jika tubuh terpapar radiasi

2.7 *Metallograpy Test*

Uji metalografi merupakan suatu metode untuk mengetahui struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu (PPNS, 2015).

2.7.1 Uji Mikro (*Micro Test*)

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Untuk melakukan pengujian mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan yang harus dilalui adalah mounting, grinding, polishing, dan etching. Dari keempat proses tersebut, proses grinding dan polishing merupakan proses yang penting. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat mempengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji. Proses *grinding* dan *polishing* merupakan proses yang sangat 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 (PPNS, 2015).

Agar permukaan logam dapat diamati secara metalografi, maka terlebih dahulu dilakukan persiapan sebagai berikut :

1. Pemotongan spesimen

Pada tahap ini, diharapkan spesimen dalam keadaan datar, sehingga memudahkan dalam pengamatan.

2. Mounting spesimen (bila diperlukan)

Tahap *mounting* ini, spesimen hanya dilakukan untuk material yang kecil atau tipis saja. Sedangkan untuk material yang tebal tidak memerlukan proses mounting.

3. Grinding dan polishing

Tahap *grinding* dan *polishing* ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. *Grinding* dilakukan dengan cara menggosok spesimen pada mesin *hand grinding* yang diberi kertas gosok dengan ukuran *grid* yang paling kasar (*grid* 80) sampai yang paling halus. Sedangkan *polishing* sendiri dilakukan dengan menggosokkan spesimen diatas mesin *polishing machine* yang dilengkapi dengan kain wol yang diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1-0,05 mikron. Panambahan serbuk alumina ini bertujuan untuk lebih menghaluskan permukaan spesimen sehingga akan lebih mudah melakukan metalografi.

4. Etsa (*etching*)

Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses *grinding* dan *polishing* menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada pelaksanaannya, proses etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri. Setelah permukaan specimen di etsa, maka spesimen tersebut siap untuk diamati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi. 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). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan spesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai

dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang/putih (PPNS, 2015).

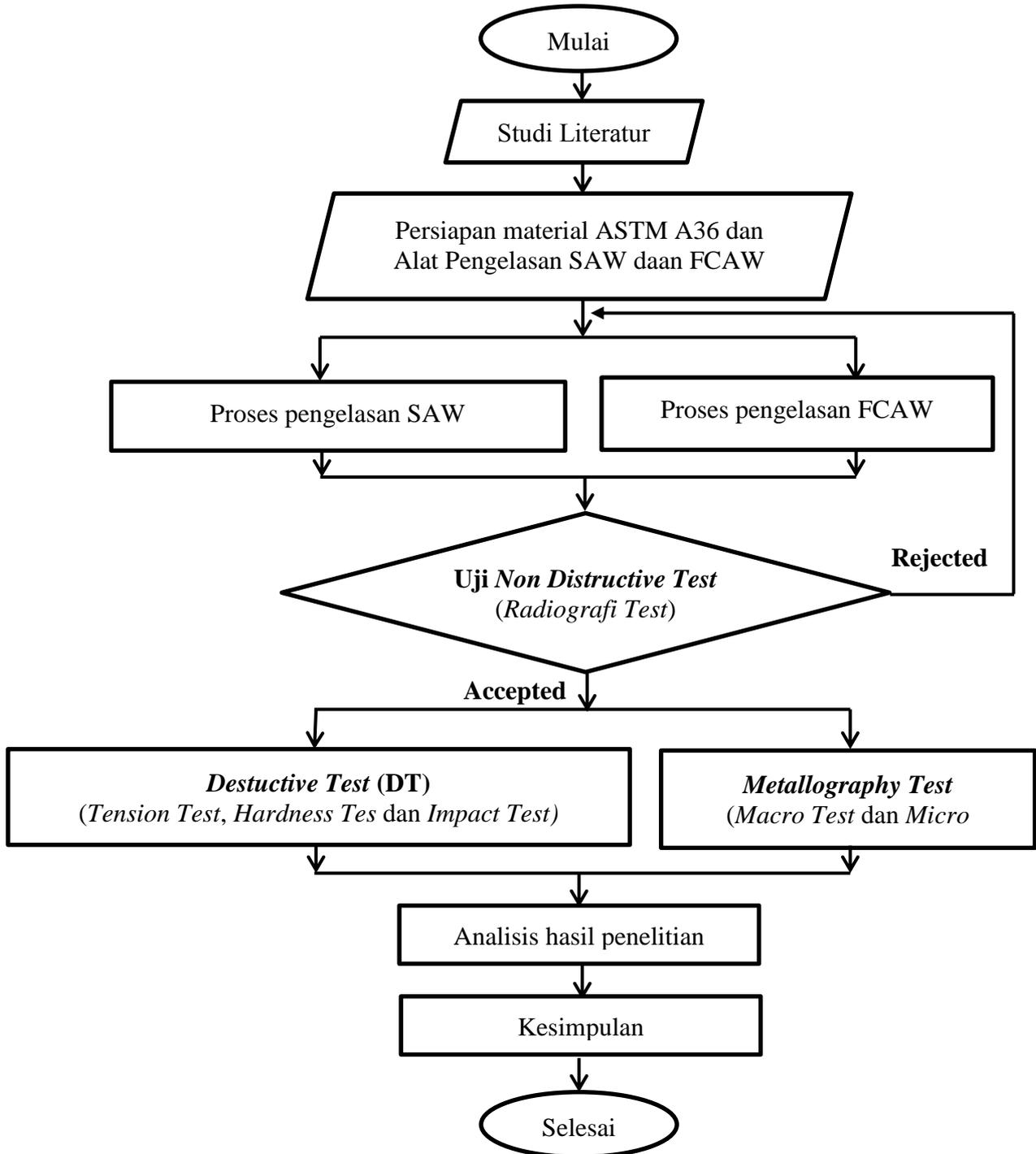
2.7.2 Uji Makro (*Macro Test*)

Uji makro adalah pengujian bahan dengan mata kita langsung atau memakai kaca pembesar dengan pembesaran rendah. Kegunaannya untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah-celah, lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa logam menurut bentuk dan strukturnya antara satu dengan yang lain menurut kebutuhannya. Angka pembesaran pemeriksaan makro antara 50 kali sampai 100 kali. Pemeriksaan secara makro biasanya untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar, seperti misal logam hasil coran atau tuangan, serta bahan-bahan yang termasuk non metal.

Pengujian *Macro test* bertujuan untuk melihat bentuk makro material pada daerah pengelasan yaitu *fusion line*, *Heat Affected Zone*, dan *Weld Metal* agar bentuk dari lasan dapat terlihat maka permukaan harus halus dengan dilakukan proses *machining*, *gerindin*, dan *polishing* kemudian pada daerah lasan di etsa dengan cairan kimia diantaranya *Acid nitrid*, Asam HCl dan air, agar bentuk dari lasan antara *weld metal*, HAZ, dan *fusion* terlihat jelas. Dari hasil test makro ini dapat diketahui visual kualitas lasan dan bentuk lasan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur penelitian yang digunakan tersusun dalam diagram yang ditunjukkan dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Metodologi Penelitian

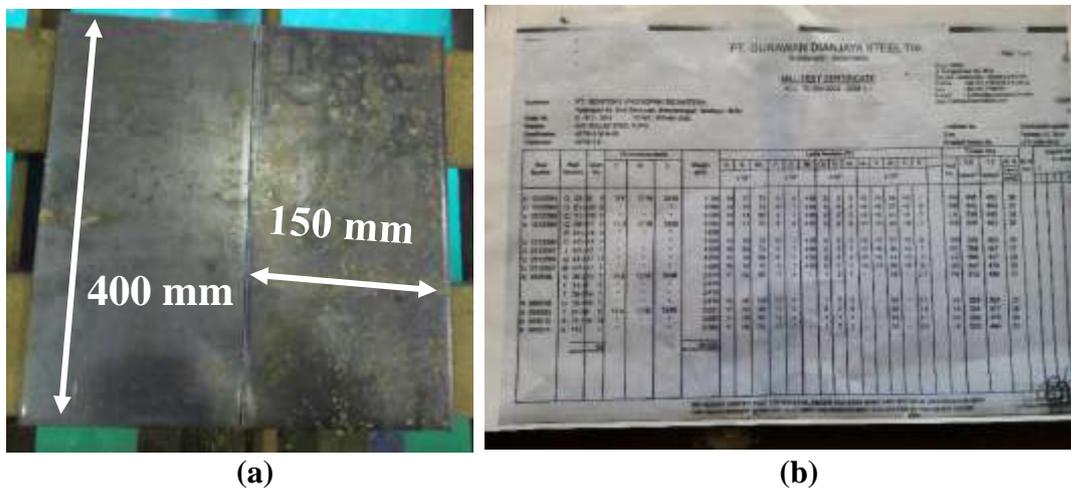
3.1 Studi Literatur

Untuk mempermudah saat proses penelitian harus memperbanyak literatur-literatur yang sesuai topik penelitian seperti tugas akhir sebelumnya, jurnal-jurnal, buku panduan dan codes yang akan dipakai dalam penelitian ini. Disamping itu mencari sumber informasi dari orang yang sudah berpengalaman seperti teknisi laboratorium sehingga proses yang dilakukan berjalan dengan semestinya.

3.2 Tahap Persiapan

3.2.1 Persiapan Material Las

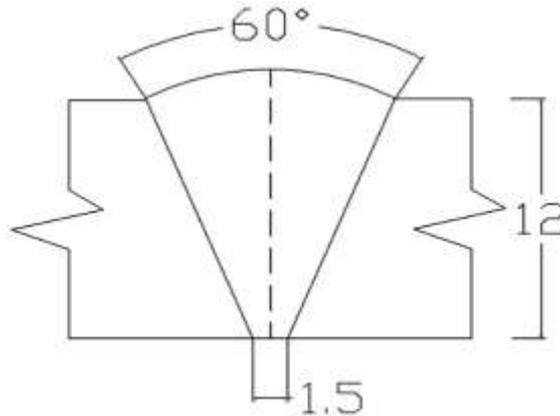
Tahap pertama dalam melakukan pengujian yaitu mempersiapkan material yang akan di las. Material yang akan digunakan adalah pelat baja tipe ASTM A36. Dimensi dari material ini sebagai berikut:



Gambar 3.2 Material ASTM A36 (a) Baja ASTM A36, (b) Sertifikat Material

- Tipe : ASTM A-36
- Panjang : 400 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 12 mm
- Jumlah Pelat : 4 buah
- Kampuh : *Single V-Groove*
- Desain sambungan : *Butt Joint*

Material las yang telah dibevel *single V-groove* dan *Butt Joint* yang mengacu pada AWS D1.1, 2002 untuk pengelasan SAW dan FCAW.



Gambar 3.3 *Single V-Groove* untuk SAW dan FCAW
(Sumber: AWS D1.1, 2000)

Pada proses pembuatan kampuh sudut harus pas lalu dipotong sesuai dengan acuan yang ditentukan yaitu 60° . Setelah itu dihaluskan dengan gerinda.



Gambar 3.4 Pembentukan sudut kampuh

3.2.2 Persiapan Pengelasan

Selain mempersiapkan material juga mempersiapkan alat dan bahan untuk melakukan pengelasan SAW dan FCAW.

1. Mesin SAW (*Submerged Arc Welding*)

➤ Spesifikasi Mesin SAW

- Merek : ESAB



Gambar 3.5 Mesin SAW

➤ Spesifikasi Filler SAW

- Jenis : EH12K
- Merek : ESAB
- Tipe : OK Autrod 12.32
- Diameter : 3,2 mm



Gambar 3.6 Filler Metal SAW

➤ Spesifikasi Flux SAW

- Jenis : F7A5
- Merek : ESAB
- Tipe : OK Flux 10.71
- Bentuk : Pasir



Gambar 3.7 Flux SAW

2. Mesin FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

➤ Spesifikasi Mesin FCAW

- Merek : EWM
- Gas Pelindung : CO₂



Gambar 3.8 Mesin FCAW dan Tabung Gas CO₂

➤ Spesifikasi Filler FCAW

Jenis : E71T-1C

Merek : ENKA

Tipe : FCW-71T

Diameter : 1,2 mm



Gambar 3.9 Filler Metal FCAW

3.3 Tahap Pengelasan

Pengelasan dilakukan di Laboratorium Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dalam melakukan proses pengelasan diperlukan rancangan prosedur agar hasil pengelasan sesuai dan baik. Sehingga rancangan ini disusun sesuai WPS (*Welding Procedure Specification*) dimana terdapat variabel yang bervariasi yang harus ditentukan sebagai berikut:

3.3.1 SAW (Submerged Arc Welding)

Spesifikasi Material	: ASTM A – 36
Proses Pengelasan	: SAW
Tipe Sambungan	: <i>Single – V</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: A5.17 – EH12K (OK Autrod 12.32)
<i>Flux</i>	: F7A5 – EH12K (OK Flux 10.71)
Arus Pengelasan	: DC SP
<i>Shielding Gas</i>	: –



Gambar 3.10 Proses Pengelasan SAW

Berikut langkah-langkah melakukan proses pengelasan SAW:

1. Persiapan material yang sudah dibevel.
2. Persiapan mesin las SAW, flux dan elektroda yang telah dipasang pada mesin SAW.
3. Persiapan pengelasan dengan mengatur control system seperti arus dan voltase yang mengacu pada WPS (*Welding Procedure Specification*).
4. Mesin las secara otomatis mengelas dan butiran flux juga menutupi pencairan di sepanjang spesimen.
5. Pengelasan dilakukan perlayer.
6. Ukur waktu yang ditempuh menggunakan stopwatch dan catat berapa arus, voltase dan travel speed nya.

3.3.2 FCAW (Flux Cored Arc Welding)

Spesifikasi Material	: ASTM A – 36
Proses Pengelasan	: FCAW
Tipe Sambungan	: <i>Single – V</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: A5.20 – E71T–1C
Arus Pengelasan	: DC SP
<i>Shielding Gas</i>	: CO ₂
<i>Backing</i>	: <i>Ceramic</i>



Gambar 3.11 Proses Pengelasan FCAW

Berikut langkah-langkah melakukan proses pengelasan SAW:

1. Persiapan material yang sudah dibevel.
2. Persiapan mesin las FCAW, Gas Pelindung CO₂, *Backing ceramic* dan elektroda yang telah dipasang pada mesin FCAW (gun).
3. Persiapan pengelasan dengan mengatur arus dan voltase yang mengacu pada wps.
4. Karena mesin semi otomatis, pengelasan dilakukan oleh welder menggunakan gun dimana filler metal diumpankan secara terus menerus.
5. Pengelasan dilakukan perlayer.
6. Ukur waktu yang ditempuh menggunakan stopwatch dan catat berapa arus, voltase dan travel speed nya.

3.4 Uji NDT (Radiography Test)

Pengujian radiografi dilakukan di Robutech. Dalam tahap ini dilakukan pengujian *Radiography test* yang merupakan salah satu dari uji NDT dimana pengujian dilakukan untuk mengetahui cacat di dalam permukaan las tanpa merusak material yang sudah di las. Pengujian ini dilakukan dengan menyinari hasil pengelasan material ASTM A36 dengan sinar X dan sinar γ (gamma) yang dapat menembus material. Sehingga cacat yang tidak terlihat dengan kasat mapun bisa terdeteksi. Adapun kriteria *accepted* atau *rejected* uji radiografi yang mengacu pada ASME IX.

3.5 Destructive Test

Tahap selanjutnya melakukan uji ketahanan dengan merusak material yang sudah *accepted* saat uji NDT. Yang artinya tidak ada cacat di dalam hasil las-lasnya. Pengujian ini terdiri dari uji tarik, uji kekerasan dan uji takik.

Tahap pertama dalam melakukan uji merusak yaitu persiapan spesimen. Dalam tahap ini material yang sudah dilakukan NDT akan dipotong menggunakan alat pemotong dengan ukuran sesuai acuan yang dipakai.



Gambar 3.12 Mesin Pemotong Hidrolik

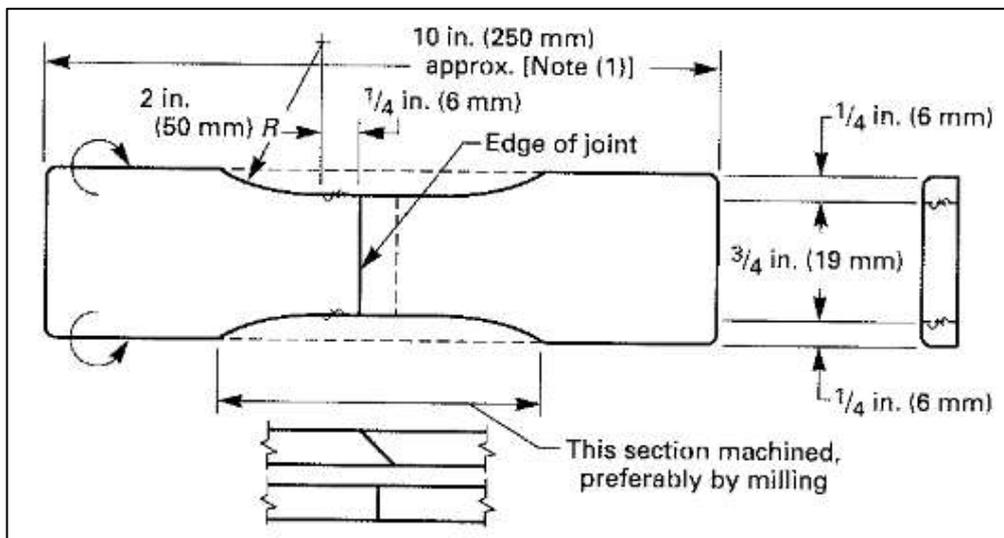
Langkah pertama dilakukan pemotongan material menggunakan mesin hidrolik. Dalam proses pemotongan material 2 cm ujung kanan dan kiri harus dibuang agar saat pembuatan spesimen uji mendapatkan bentuk yang bagus. Pemotongan spesimen uji terdiri dari 2 spesimen uji tarik, 2 spesimen uji takik, 1 spesimen uji kekerasan dan 1 spesimen uji metalografi. Ketika pembuatan spesimen

uji ada yang tidak memenuhi standar maka pembuatan spesimen uji dibentuk dari awal, untuk material ini sangat cukup untuk pembuatan spesimen dan jika membuat lagi masih cukup untuk membuat ulang spesimen. Untuk material yang terdapat porositas akan dipotong dibagian terdapat porositasnya agar spesimen saat diuji mendapatkan hasil yang maksimal.

3.5.1 Tahap Pembuatan Spesimen Uji

1. Pembuatan Spesimen Uji Tarik

Spesimen yang telah dipotong selanjutnya di bentuk sesuai acuan yang dipakai yaitu ASME Section IX 2013, dimana ukuran pembuatan spesimen ditandai terlebih sebelum dibentuk menggunakan gerinda.



Gambar 3.13 Dimensi Spesimen Uji Tarik
(Sumber: ASME Section IX 2013)

Setelah itu spesimen dibentuk menggunakan gerinda dengan hingga ukuran sama dengan acuan yang dipakai. Gunakan jangka sorong untuk mengetahui tebal dari spesimen uji tarik lebih akurat.



(a)



(b)

Gambar 3.14 Alat Pembentuk Spesimen (a) Gerinda, (b) Jangka sorong



Gambar 3.15 Spesimen uji tarik

2. Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan

Pada pembuatan spesimen uji kekerasan dipotong menjadi lebih kecil dan dihaluskan menggunakan amplas setidaknya sampai *grade* 600 agar permukaan rata dan bisa terbaca oleh alat. Spesimen uji kekerasan yang dihaluskan hanya satu sisi saja.

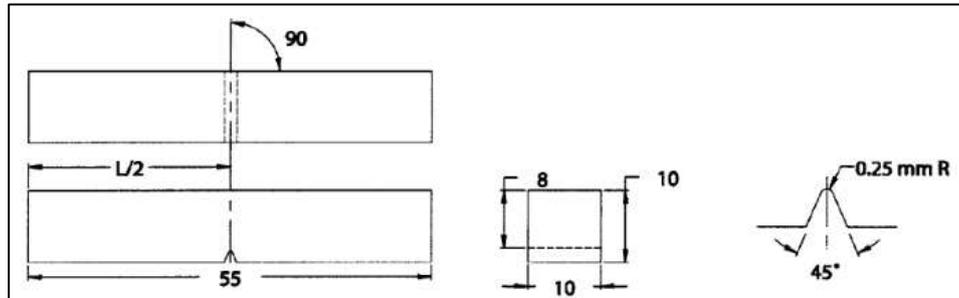


Gambar 3.16 Pembuatan spesimen uji kekerasan (a) polishing, (b) spesimen uji kekerasan

Setelah dipoles spesimen di etsa menggunakan alkohol 95%+5% yang kemudian dialiri air setelah itu dibersihkan kembali dengan alkohol dan dikeringkan menggunakan alat pengering. Hal ini dilakukan agar daerah weld metal dan HAZ terlihat saat pengujian.

3. Pembuatan Spesimen Uji Takik

Spesimen dipotong menjadi kecil kira-kira 8 cm lalu dibentuk lagi sesuai standar yang dipakai yaitu ASTM E23 menggunakan mesin sekra hingga permukaan rata dan halus.



Gambar 3. 17 Dimensi spesimen uji takik (ASTM E23)

Pembentukan spesimen ini mengacu pada ASTM dimana panjang dari spesimen uji harus 55 mm dengan tebal dan lebar yaitu 10 mm. Untuk pembuatan takiknya di bentuk sesuai dengan ukuran kira-kira kedalaman 2 mm dengan sudut 45°. Daerah pengelasan yang ditinjau ada 2 yaitu weld metal dan HAZ. Metode yang digunakan adalah Charpy dengan takik berbentuk V.



(a)



(b)

Gambar 3.18 Pembentukan spesimen uji takik **(a)** proses sekrap, **(b)** hasil pembentukan spesimen uji takik

3.5.2 Tahap Pengujian Spesimen

1. Uji Tarik

Spesimen yang sudah siap di uji di pasang pada mesin tarik dengan menjepit dengan pengekrum pada ujung-ujung spesimen. Saat mesin dinyalakan mesin akan menarik spesimen secara perlahan sampai spesimen putus. Saat proses berlangsung akan tercatat gaya tarik yang bekerja dalam bentuk grafik. Selain itu catat daerah putusnya spesimen pada daerah *weld metal*, *fusion line*, HAZ atau di *base metal*. Proses terakhir menghitung kekuatan tarik spesimen untuk dianalisis.



(a)



(b)

Gambar 3.19 Proses uji tarik (a) mesin uji tarik, (b) hasil spesimen setelah diuji tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar kekuatan akibat beban tarik yang diterima oleh material tersebut. Dalam pengelasan pengujian ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari hasil lasan tersebut.

2. Uji Kekerasan

Uji kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa keras daerah *weld metal*, *fusion line* dan HAZ. Metode yang digunakan dalam uji kekerasan ini yaitu metode Vickers dimana spesimen uji diberikan beban indentor intan dengan cara ditekan dibagian yang akan diuji dimana hasilnya akan memberikan bekas berupa diagonal akibat indentor intan tersebut. Acuan untuk pengujian ini menggunakan ASTM E92 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Untuk menghitung angka dari kekerasan vickers dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \times P}{d^2}$$

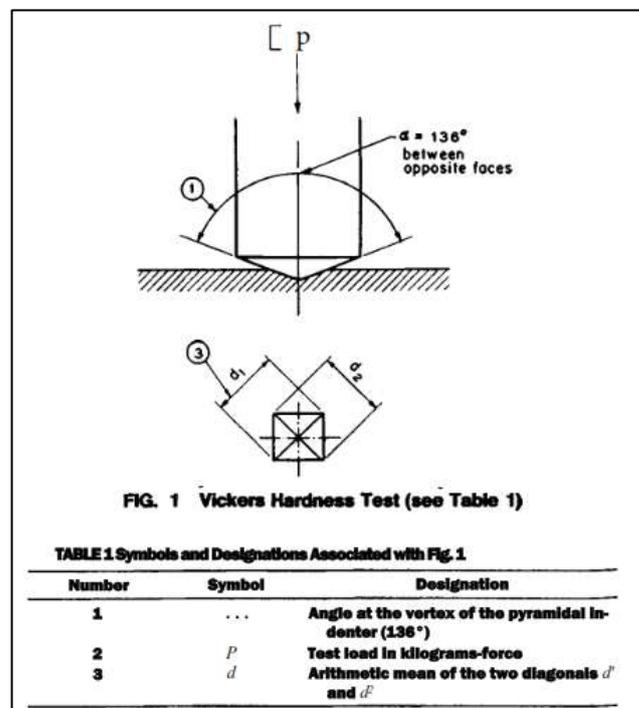
Dimana :

VHN = Angka kekerasan Vickers (Kgf/mm²)

P = Beban yang digunakan (Kgf)

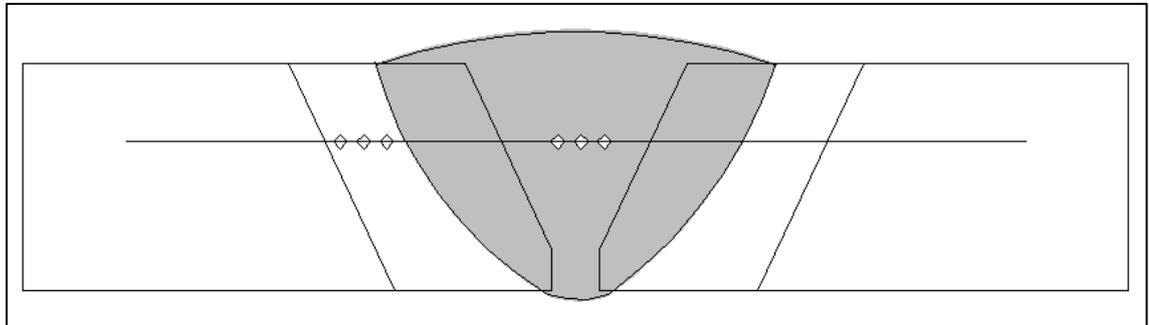
d = Panjang diagonal rata- rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

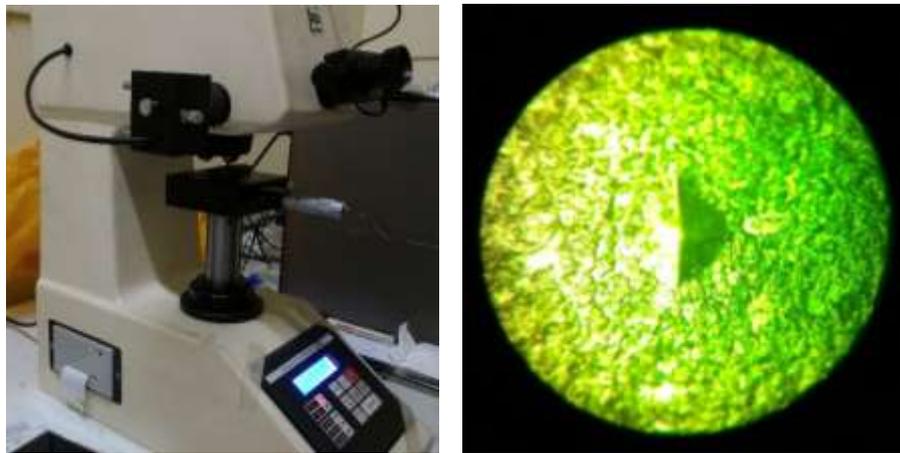


Gambar 3. 20 Penampang Identitor Uji Kekerasan Vickers (ASTM E92)

Pada pengujian vickers akan dilakukan pengamatan di 2 daerah yaitu *weld metal*, dan HAZ. Setiap daerah dilakukan pengujian sebanyak 3 kali kurang lebih seperti gambar 3.20.



Gambar 3. 21 Titik Daerah Uji Kekerasan



(a)

(b)

Gambar 3.22 Proses Uji Vickers **(a)** mesin uji kekerasan vickers, **(b)** hasil spesimen setelah diuji kekerasan tampak dilensa

3. Uji Takik

Uji takik untuk mengetahui kegetasan atau keuletan material terhadap beban kejut dimana menggunakan beban sentakan tiba-tiba. Pengujian ini mendapatkan nilai ketangguhan suatu material. Metode yang digunakan adalah Charpy-V *nocth*. Metode ini sering dilakukan juga menghasilkan tegangan yang seragam disepanjang penampang sebab spesimen dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan.

Cara mengoperasikan alat ini tergolong mudah dipahami. Pertama siapkan mesin takik Charpy serta spesimen uji yang sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Selanjutnya lebar dan tebal aktual guna mengetahui luas

penamapang dibawah takikan. Selanjutnya benda uji diletakkan pada anvil dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan pendulum. Selanjutnya naikan pendulum kemudian kunci. Putar jarum ke angka 0 dan lepaskan kunci agar pendulum berayun menghentak benda uji. Lihat dan catat nilai tenaga patah yang ditunjukkan oleh jarum.



Gambar 3.23 Mesin Uji Takik V-Charpy

3.6 Uji Metalografi

Selain uji kekerasan dan uji takik, dilakukan uji metalografi yang terdiri dari uji makro struktur untuk mengetahui hasil penetrasi pengelasan dengan pembesaran rendah menggunakan mikroskop sehingga bisa melihat dengan kasat mata dan uji mikro struktur untuk mengetahui struktur mikro suatu material dengan menggunakan pembesaran tinggi sehingga bisa melihat perubahan struktur mikro dari meterial uji. Berikut tahap pengujian tes metalografi (ASTM E3).

3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji Metalografi

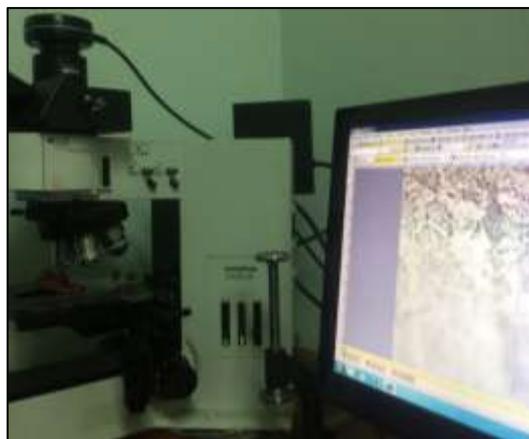
Pembuatan spesimen metalografi kurang lebih sama dengan pembuatan spesimen uji kekerasan. Untuk polishing menggunakan amplas grade 80, 100, 120, 150, 240, 350, 400, 600, 800, 900, 1000, 1500, 2000. Apabila spesimen sudah diampelas sampai mengkilat selanjutnya spesimen dipoles dengan menggunakan alumina dengan *grade* 0.1 mikron sampai permukaan halus dan bersih dari goresan. Setelah itu spesimen di etsa menggunakan larutan natal 2% terdiri dari 2 ml HNO_3 + 98 ml alkohol 96% kemudian dicuci dengan air mengalir lalu dibersihkan kembali menggunakan alkohol dan langkah terakhir yaitu spesimen dikeringkan menggunakan alat pengering.



Gambar 3. 24 Pembentukan spesimen uji metalografi (a) proses *polesing*, (b) hasil pembentukan spesimen uji metalografi

3.6.2 Uji Metalografi

Pengamatan metalografi dilakukan di 3 daerah yaitu weld metal, HAZ dan fusion line. Untuk pengamatan struktur makro dilakukan pembesaran foto 100 kali dan untuk pengamatan struktur mikro dengan pembesaran foto 500 kali sehingga fase yang terjadi bisa terlihat pada daerah yang diamati.



Gambar 3.25 Uji Metalografi Foto Mikro

3.7 Analisis hasil penelitian

Hasil dari penelitian akan dianalisis. Sehingga bisa mendapatkan perbandingan dari hasil kedua proses pengelasan setelah uji mekanik serta metalografi. Data yang didapatkan dari hasil pengujian diolah yang mengacu pada standar atau referensi yang berkaitan dalam penelitian ini sehingga hasil dapat membahas permasalahan yang telah dirumuskan di awal proposal.

3.8 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan akan dibuat kesimpulan dari hasil penelitian yang menyangkut perumusan masalah di awal serta memberikan saran yang berguna dalam penelitian selanjutnya untuk menyempurnakan penelitian ini.

BAB IV
ANALISIS 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 400mmx150mmx12mm dengan parameter pengelasan dan WPS (*Welding Procedure Specification*) sebagai berikut:

4.1.1 Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding)

Spesifikasi Material	: ASTM A – 36
Dimensi	: 400 mm x 150 mm x 12 mm
Proses Pengelasan	: SAW
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: A5.17 – EH12K (OK Autrod 12.32); Ø 3.2 mm
<i>Flux</i>	: F7A5 – EH12K (OK Flux 10.71)
Arus Pengelasan	: DC SP
<i>Shielding Gas</i>	: –
<i>Welder</i>	: Rachmad (<i>Welder PPNS</i>)

Tabel 4.1 Parameter Pengelasan SAW

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)
		Class	Dia. (mm)	Polarity	Ampere		
1	SAW	EH12K	3,2	DCSP	300	26-30	3.81
2	SAW	EH12K	3,2	DCSP	350	28-32	3.48
3	SAW	EH12K	3,2	DCSP	350	28-32	3.48

Data *Welding Procedure Specification* (WPS) masing-masing layer pengelasan SAW dijelaskan sebagai berikut.

1. Layer 1

Pada layer pertama juga sering disebut *root weld* atau pengelasan dasar pada material. Elektrode yang digunakan yaitu berupa *filler metal* dengan tipe EH12K dengan diameter 3.2 milimeter dan menggunakan *flux* berupa pasir dengan tipe F7A5. Arus yang digunakan dalam root weld sebesar 300 Ampere dan rentang tegangan sebesar 26-30 Volt. Waktu yang ditempuh dalam pengelasan 1 pass sebesar 105 detik sehingga kecepatan las sebesar 3.81 mm/detik.

2. Layer 2

Pada layer kedua merupakan daerah isian elektroda atau *fill*. Pada tahap ini elektrode yang digunakan yaitu berupa *filler metal* dengan tipe EH12K dengan diameter 3.2 milimeter dan menggunakan flux berupa pasir dengan tipe F7A5. Arus yang digunakan dalam root weld sebesar 350 Ampere dan rentang tegangan sebesar 28-32 Volt. Waktu yang ditempuh dalam pengelasan 1 pass sebesar 115 detik sehingga kecepatan las sebesar 3.48 mm/detik.

3. Layer 3

Pada layer ketiga merupakan daerah atas lasan atau *capping*. Pada tahap ini elektrode yang digunakan yaitu berupa *filler metal* dengan tipe EH12K dengan diameter 3.2 milimeter dan menggunakan flux berupa pasir dengan tipe F7A5. Arus yang digunakan dalam root weld sebesar 350 Ampere dan rentang tegangan sebesar 28-32 Volt. Waktu yang ditempuh dalam pengelasan 1 pass sebesar 115 detik sehingga kecepatan las sebesar 3.48 mm/detik.



Gambar 4.1 Hasil Pengelasan SAW

4.1.2 Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding)

Spesifikasi Material	: ASTM A – 36
Dimensi	: 400 mm x 150 mm x 12 mm
Proses Pengelasan	: FCAW <i>Semi Automatic</i>
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: A5.20 – E71T–1C, Ø 1.2 mm
Arus Pengelasan	: DC SP
<i>Shielding Gas</i>	: CO ₂
<i>Backing</i>	: <i>Ceramic</i>
<i>Welder</i>	: Rachmad (<i>Welder PPNS</i>)

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan FCAW

Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere		
1	FCAW	E71T–1C	1,2	DCSP	120	22-27	2.22
2	FCAW	E71T–1C	1,2	DCSP	120	22-27	2.45
3	FCAW	E71T–1C	1,2	DCSP	120	22-27	2.35

Data *Welding Procedure Specification* (WPS) masing-masing layer pengelasan FCAW dijelaskan sebagai berikut.

1. Layer 1

Pada layer pertama juga sering disebut *root weld* atau pengelasan dasar pada material. Elektrode yang digunakan yaitu berupa *filler metal* dengan tipe E71T-1C dengan diameter 1.2 milimeter dan menggunakan gas pelindung CO₂. Arus yang digunakan dalam root weld sebesar 120 Ampere dan rentang tegangan sebesar 22-27 Volt. Waktu yang ditempuh dalam pengelasan 1 pass sebesar 180 detik sehingga kecepatan las sebesar 2.22 mm/detik.

2. Layer 2

Pada layer kedua merupakan daerah isian elektroda atau *fill*. Pada tahap ini elektrode yang digunakan yaitu berupa *filler metal* dengan tipe E71T-1C dengan

diameter 1.2 milimeter dan menggunakan gas pelindung CO₂. Arus yang digunakan dalam root weld sebesar 120 Ampere dan rentang tegangan sebesar 22-27 Volt. Waktu yang ditempuh dalam pengelasan 1 pass sebesar 163 detik sehingga kecepatan las sebesar 2.45 mm/detik.

3. Layer 3

Pada layer ketiga merupakan daerah atas lasan atau *capping*. Pada tahap ini elektrode yang digunakan yaitu berupa *filler metal* dengan tipe E71T-1C dengan diameter 1.2 milimeter dan menggunakan gas pelindung CO₂. Arus yang digunakan dalam root weld sebesar 120 Ampere dan rentang tegangan sebesar 22-27 Volt. Waktu yang ditempuh dalam pengelasan 1 pass sebesar 170 detik sehingga kecepatan las sebesar 2.35 mm/detik.



Gambar 4.2 Hasil Pengelasan FCAW

4.2 Masukan Panas (*Heat Input*)

Masukan panas merupakan salah satu parameter yang menentukan keberhasilan proses pengelasan. Masukan panas ditentukan beberapa parameter seperti tegangan, arus dan kecepatan las seperti rumus berikut ini :

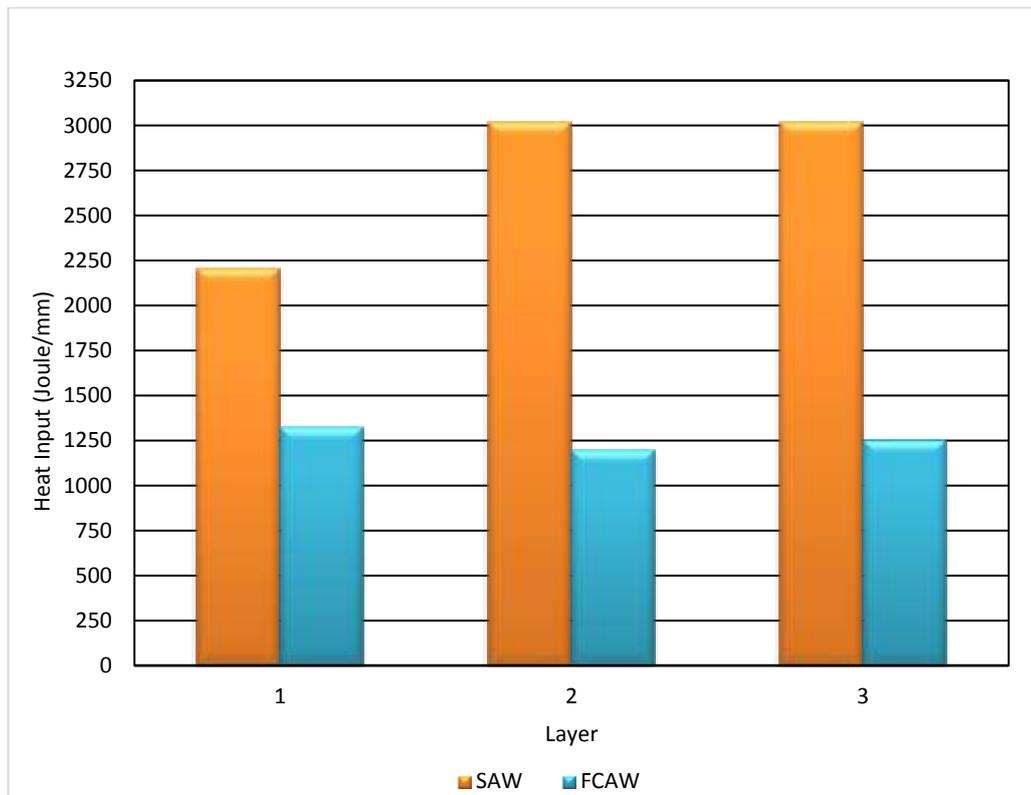
$$Heat\ input\ (J/mm) = \frac{Arus\ (I) \times\ Tegangan\ (V)}{Travel\ Speed\ (TS)} \quad (ASME\ IX,\ 2013)$$

Tabel 4.3 Besar *Heat Input* SAW

Layer	Ampere (A)	Volt Range (V)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (Joule/mm)
1	300	26-30	3.81	2205
2	350	28-32	3.48	3019
3	350	28-32	3.48	3019
Rata-rata				2613

Tabel 4.4 Besar *Heat Input* FCAW

Layer	Ampere (A)	Volt Range (V)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (Joule/mm)
1	120	22-27	2.22	1323
2	120	22-27	2.45	1198
3	120	22-27	2.35	1250
Rata-rata				1284



Grafik 4.1 Perbandingan *Heat Input* Pengelasan SAW dan FCAW

Data yang telah diperoleh dapat dianalisis bahwa masukan panas pengelasan SAW lebih besar dengan rata-rata 2613 J/mm dibandingkan besar masukan panas FCAW dengan rata-rata 1284 J/mm. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan. Dimana kecepatan pengelasan SAW lebih lambat dibandingkan pengelasan FCAW. Sehingga masukan panas yang dihasilkan oleh pengelasan SAW lebih besar dibandingkan pengelasan FCAW.

Dilihat dari grafik yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa *heat input* pada pengelasan SAW mengalami peningkatan dan pengelasan FCAW relatif stabil.

Pada penelitian sebelumnya pun nilai *heat input* yang dihasilkan SAW semakin besar dan nilai *heat input* pengelasan FCAW relatif stabil (Hadi, 2009).

Secara teoritis masukan panas akan mempengaruhi kualitas dan struktur hasil pengelasan. Semakin besar masukan panas maka semakin besar pula daerah HAZ yang dihasilkan. Perubahan yang terjadi akan menyebabkan penurunan kekuatan dan ketahanan korosi atau terkadang daerah pengelasan akan menjadi getas. Jadi semakin besar masukan panas maka semakin besar penurunan kekuatan dan ketahannya.

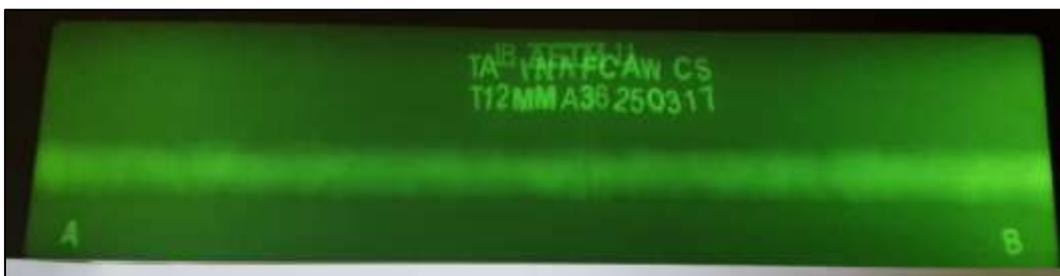
4.3 Uji Radiografi

Uji radiografi dilakukan bertujuan untuk mengetahui cacat atau tidaknya suatu spesimen yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata. Dimana spesimen ini di beri sinar radiasi untuk mendeteksi adanya cacat atau tidak. Pengujian ini dilakukan di Robutech.



Gambar 4.3 Hasil Uji Radiografi Pengelasan SAW

Hasil uji radiografi pada pengelasan SAW dinyatakan *Accept* yang artinya tidak ada cacat disepanjang hasil pengelasan. Pada pengelasan SAW sangat jarang terjadi cacat sebab mesin SAW memiliki kelebihan seperti daerah pengelasan yang memiliki kualitas yang baik dikarenakan cairan tertutup oleh flux dimana kemungkinan terjadinya porositas sangat kecil. Porositas merupakan salah satu cacat las yang terdapat gelembung gas yang terjebak di dalam lasan.



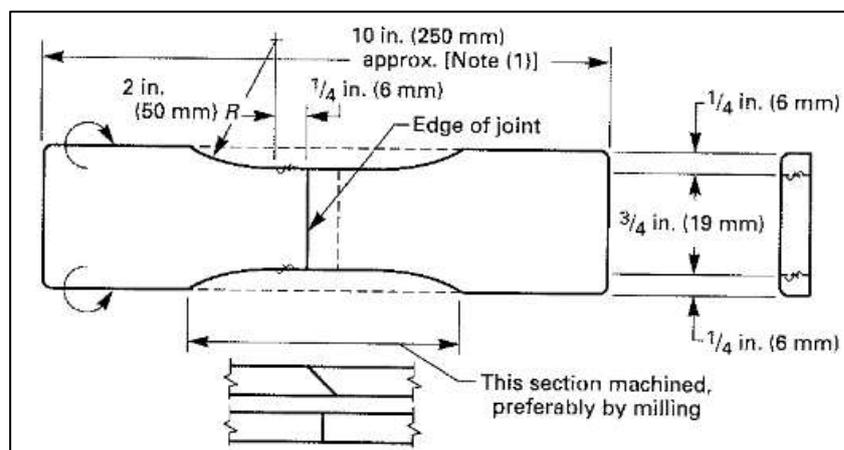
Gambar 4.4 Hasil Uji Radiografi Pengelasan FCAW

Hasil uji radiografi pada pengelasan FCAW dinyatakan *Rejected* yang artinya terdapat cacat pada hasil pengelasan. Cacat yang terdapat pada hasil pengelasan FCAW adalah *Worm Hole* atau lubang cacing. *Worm hole* merupakan cacat las dimana terdapat lubang berbentuk cacing atau seperti tulang ikan. Cacat ini termasuk porositas. Hal ini disebabkan oleh gas pelindung terperangkap dalam lasan sehingga gas tersebut tidak bisa keluar dan menjadi gelembung-gelembung gas. Cacat terdapat dibagian B dengan panjang kurang lebih 10 cm. Hal ini disebabkan oleh gas dari luar masuk kedalam lasan dan terperangkap disana. Selain itu porositas diakibatkan oleh benda kerja yang kotor.

Menurut ASME IX, hasil dinyatakan *Accepted* apabila hasil radiografi tidak ada cacat disepanjang pengelasan. Sedangkan hasil dinyatakan *rejected* apabila panjang porositas melebihi 20% dari tebal plat. Karena hasil menunjukkan lubang cacing tersebut lebih dari 20% tebal plat maka dinyatakan *rejected*. Walaupun hasil menyatakan *reject*, spesimen ini masih digunakan sebab material yang digunakan panjang dan daerah yang terdapat cacat bisa dibuang. Karena cacat las tidak lebih 50% dari panjang material.

4.4 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan di Laboratorium Konstruksi Dan Kekuatan Departemen Perkapalan FTK-ITS. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan ketahanan material ASTM A36 terhadap gaya tarik yang diberikan oleh beban secara perlahan hingga material putus. Pengujian ini merupakan pengujian dasar dalam pengelasan untuk mengetahui seberapa kuat hasil lasan yang dihasilkan.



Gambar 4.5 Spesimen Uji Tarik
(Sumber: ASME IX, 2013)



(a)



(b)

Gambar 4.6 Hasil Uji Tarik Material ASTM A36 (a) Sebelum pengujian, (b) Sesudah pengujian

Berikut kriteria pengujian tarik dapat diterima (*acceptable*) menurut ASME Section IX 2013 :

1. Kuat tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar, atau
2. Kuat tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar yang terlemah, apabila dasar logam terdiri dua logam dasar logam yang berlainan kuat tarik minimumnya.
3. Kuat tarik minimum dari logam lasan, bila standar yang digunakan menentukan penggunaan logam lasan dengan kuat tarik yang lebih rendah daripada logam dasar pada suhu ruang.

4. Bila spesimen putus pada logam dasar diluar lasan atau diluar garis fusi las, tes dinyatakan lulus dengan syarat minimum 5% lebih rendah dari kuat tarik minimum yang ditetapkan untuk logam dasar.

Dari hasil uji tarik yang telah dilakukan, didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Uji Tarik Pengelasan SAW

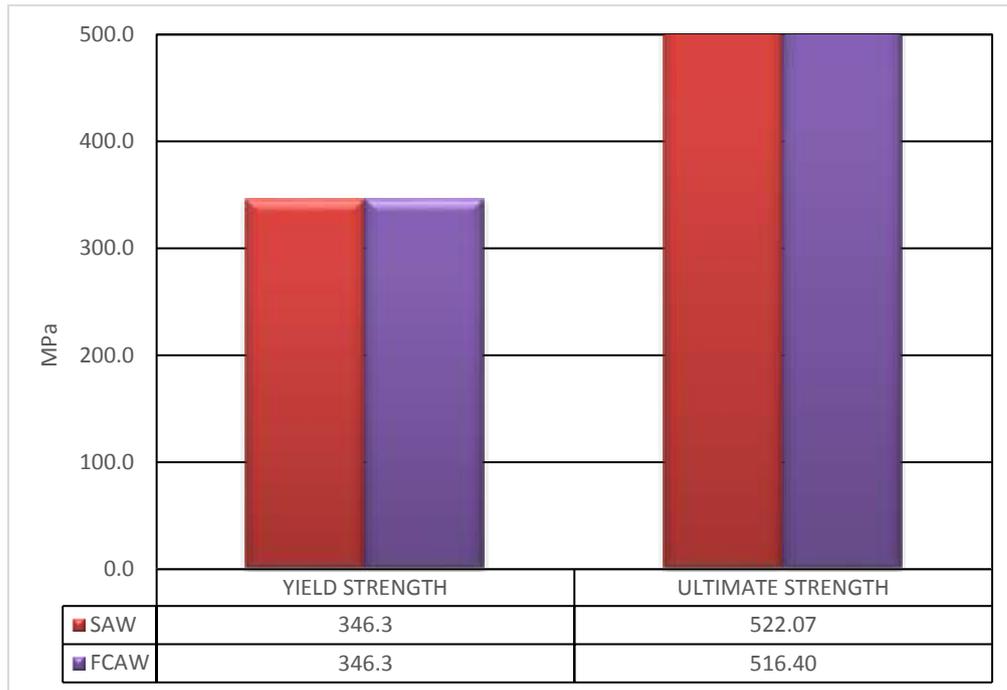
CODE	SPESIFICATION SAMPLE			F. Y	F. U	TENSILE TEST RESULTS		
	WIDTH	THICK	CSA			YIELD STRENGTH	ULTIMATE STRENGTH	BREAKING
	(mm)	(mm)	(mm ²)			(MPa)	(Mpa)	
SAW-T1	18.89	12.67	239.34	80000	126800	334.3	529.80	Base Metal
SAW-T2	18.93	12.53	237.19	85000	122000	358.3	514.35	Base Metal
Average				82500	124400	346.3	522.07	-

Pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai rata-rata gaya pada titik luluh pengelasan SAW sebesar 82500 N sedangkan nilai rata-rata untuk gaya pada titik ultimate sebesar 124400 N. Nilai rata-rata untuk kekuatan luluh pada pengelasan SAW yaitu 346.3 MPa. Sedangkan besar nilai rata-rata kekuatan ultimatnya sebesar 522.07 MPa. Hasil kedua spesimen tarik putus pada daerah logam induk.

Tabel 4.6 Hasil Uji Tarik Pengelasan FCAW

CODE	SPESIFICATION SAMPLE			F. Y	F. U	TENSILE TEST RESULTS		
	WIDTH	THICK K	CSA			YIELD STRENGTH	ULTIMATE STRENGTH	BREAKING
	(mm)	(mm)	(mm ²)			(MPa)	(Mpa)	
FCAW-T1	18.79	12.09	225.17	79000	119000	347.8	523.83	Base Metal
FCAW-T2	18.98	12.07	229.09	79000	116600	344.8	508.97	Base Metal
Average				79000	117800	346.3	516.40	-

Hasil dari uji tarik pengelasan FCAW pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa untuk besar nilai rata-rata gaya pada titik luluh yaitu 79000 N sedangkan besar nilai rata-rata gaya pada titik ultimate yaitu 117800 N. selain itu, besar nilai rata-rata kekuatan luluh yaitu 346.3 MPa dan besar nilai rata-rata kekuatan ultimatnya adalah 516.4 MPa. Hasil kedua spesimen uji tarik pada pengelasan FCAW pada daerah logam induk.



Grafik 4.2 Perbandingan *Yield Strength* dan *Ultimate Strength*

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa kekuatan luluh dan kekuatan tarik antara pengelasan SAW dan FCAW relatif sama. Akan tetapi nilai kekuatan ultimate pada pengelasan SAW lebih besar yaitu 522.07 MPa sedangkan kekuatan ultimate pengelasan FCAW yaitu 516.4 MPa. Hal ini seperti penelitian sebelumnya Hadi (2009), bahwa hasil kekuatan tarik antara pengelasan SAW dan FCAW menunjukkan hasil yang sama karena tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan tersebut berkisar 1%.

Tabel 4.7 *Summary* Kekuatan Tarik

Code	Tensile Strength (Mpa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking
Baja ASTM A36	335	452	Logam Induk
SAW	346.3	522.07	Logam Induk
FCAW	346.3	516.4	Logam Induk

Kekuatan tarik kedua pengelasan tersebut dapat dinyatakan lulus sesuai dengan standar ASME Section IX 2013. Dimana nilai kekuatan lasan kedua pengelasan melebihi nilai kekuatan tarik logam induk. Nilai kekuatan luluh lasan logam induk sebesar 335 Mpa dan kekuatan tarik ultimate sebesar 452 MPa. Selain itu hasil uji tarik pada kedua pengelasan tersebut patah atau putus di daerah luaran atau batasan lah. Jadi hasil uji tarik pada pengelasan SAW dan FCAW sama-sama kuat dibandingkan logam induknya yaitu baja ASTM A36.

4.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu material. Dengan pengujian ini diketahui jenis material *ductile* atau *brittle*. Kekerasan berhubungan dengan beberapa sifat bahan baja. Semakin keras material, maka semakin tinggi kekuatan tariknya (*tensile strength*), semakin tinggi pula tingkat kegetasnya dan semakin rendah keuletannya, sebaliknya semakin lunak suatu material maka semakin rendah pula *tensile strength*-nya, semakin rendah kegetasannya dan semakin naik keuletannya. Dimana kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan dan Kegetasan serta berbanding terbalik dengan keuletannya (Marinda, 2017).

Pengujian kekerasan dilakukan di 6 titik dan setiap daerah 3 titik pengujian. Daerah yang diuji yaitu weld metal dan HAZ. Pengujian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Teknik Perkapalan-ITS. Berikut hasil data kekerasan yang diperoleh saat pengujian:

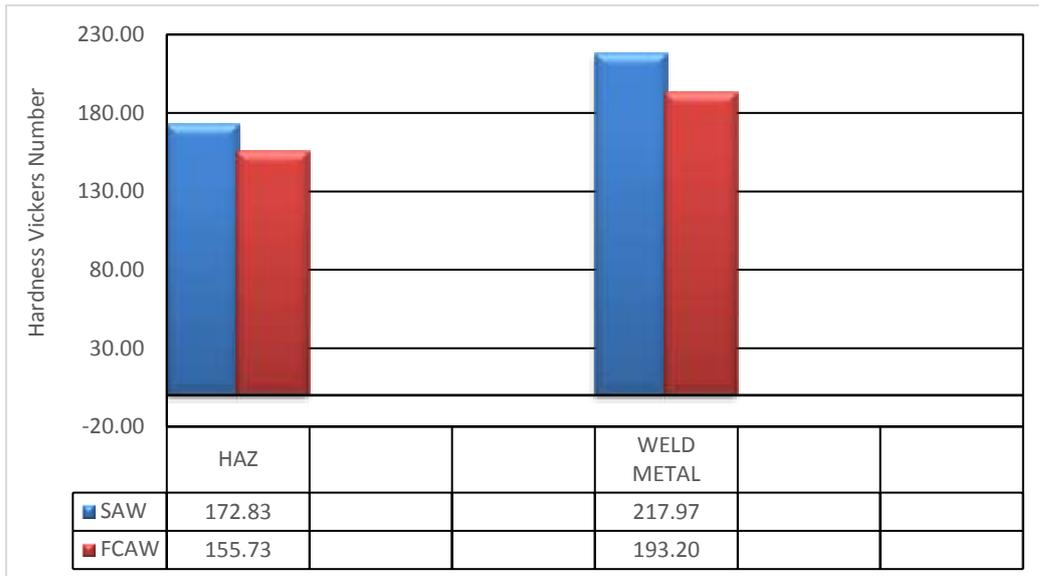
Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Pengelasan SAW

LOCATION	VICKERS HARDNESS NUMBER (HV. 1)					
	HAZ			WELD METAL		
SAW	162.2	180	176.3	207.7	228	218.2
AVERAGE	172.83			217.97		

Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Pengelasan FCAW

LOCATION	VICKERS HARDNESS NUMBER (HV. 1)					
	HAZ			WELD METAL		
FCAW	156.5	153.1	157.6	198.4	191.7	189.5
AVERAGE	155.73			193.20		

Dari data diatas perbandingan pengelasan dapat ditransformasikan ke dalam bentuk grafik seperti pada gambar dibawah ini:



Grafik 4.3 Perbandingan Kekerasan Pada Pengelasan SAW dan FCAW

Dari grafik hasil uji kekerasan diatas dapat dilihat nilai kekerasan tertinggi didominasi pengelasan SAW dimana disetiap daerah nilai kekerasan lebih besar dibanding FCAW. Untuk nilai kekerasan pada daerah HAZ tertinggi yaitu sebesar 172,83 HVN dan nilai kekerasn pada daerah Weld Metal sebesar 217,97 HVN. Dimana nilai kekerasan berikut merupakan nilai kekerasan pengelasan SAW. Dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan pengelasan SAW lebih tinggi dibandingkan nilai kekerasan pengelasan FCAW. Hal ini dipengaruhi oleh masukan panas SAW lebih besar dibandingkan FCAW. Dapat dilihat pada WPS, rata-rata masukan panas pengelasan SAW yaitu sebesar 2613 J/mm. Sehingga menyebabkan melebarnya daerah HAZ yang semakin besar hal ini membuat nilai kekerasan bertambah besar. Hal ini sesuai dengan analisis uji kekerasan Marinda (2017), bahwa semakin besar masukan panas yang diterima oleh material maka nilai kekerasan yang dihasilkan juga semakin besar, kekuatan tarik semakin kuat dan sifat material semakin getas. Sebaliknya, semakin kecil masukan panas yang dihasilkan maka nilai kekerasan semakin kecil, kekuatan tarik semakin kecil dan sifat material semakin ulet.

4.6 Uji Takik

Hasil dari pengujian takik ini berupa energi dalam satuan joule (J) dan diolah menjadi nilai ketangguhan takik dalam satuan Joule/mm². Hasil data yang diperoleh pada uji takik dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.10 Hasil Uji Takik Pengelasan SAW

Kode	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Energi (J)	Ketangguhan (J/mm ²)	Total (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
SAW-WM1	7.5	9.57	71.78	70.3	0.979	1.956	0.978
SAW-WM2	7.54	9.78	73.74	72	0.976		
SAW-HAZ1	7.51	9.84	73.90	132	1.786	3.652	1.826
SAW-HAZ2	7.52	9.37	70.46	131.5	1.866		

Tabel 4.11 Hasil Uji Takik Pengelasan FCAW

Kode	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Energi (J)	Ketangguhan (J/mm ²)	Total (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
FCAW-WM1	7.52	9.87	74.22	132.5	1.785	3.557	1.779
FCAW-WM2	7.55	9.85	74.37	131.8	1.772		
FCAW-HAZ1	7.54	9.64	72.69	132	1.816	3.652	1.826
FCAW-HAZ2	7.55	9.55	72.10	132.4	1.836		

Dari tabel diatas menerangkan bahwa terdapat 2 daerah yang ditinjau disetiap spesimen uji takik. Yaitu daerah lasan (Weld Metal), dan HAZ. Untuk pengelasan SAW nilai rata-rata takik pada daerah HAZ sebesar 1,826 J/mm² sedangkan nilai rata-rata pada daerah lasan yaitu 0.978 J/mm². Nilai rata-rata pengelasan FCAW pada daerah HAZ yaitu 1.826 J/mm² dan nilai rata-rata pada daerah lasan yaitu 1.779 J/mm².



Grafik 4.4 Perbandingan Hasil Uji Takik

Dilihat dari grafik perbandingan nilai uji takik pengelasan SAW pada daerah weld metal jauh lebih kecil daripada pengelasan FCAW. Secara keseluruhan hasil uji takik pada pengelasan FCAW relatif konstan disetiap daerah yang ditinjau dibandingkan hasil uji takit pada pengelasan SAW yang memiliki nilai terendah pada daerah Weld Metal dibandingkan daerah fusion line dan HAZ. Dari perbedaan diatas karena pengaruh dari parameter proses pengelasan seperti masukan panas yang secara teoritis sangat berpengaruh pada hasil uji mekanik suatu material.

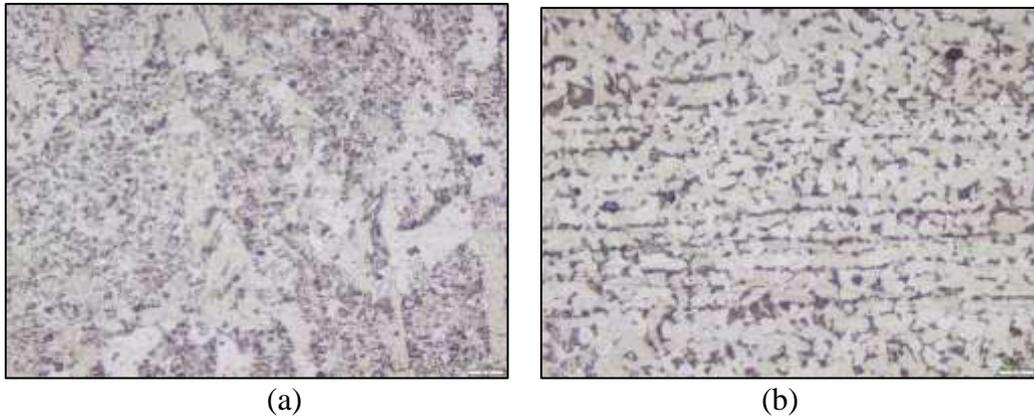
Jika ditinjau lagi pada tabel 4.3. dan 4.4 bahwa nilai rata-rata masukan panas pengelasan SAW lebih besar dibandingkan masukan panas pengelasan FCAW. Hal ini disebabkan oleh arus dan kecepatan las pengelasan yang besar membuat masukan panas semakin besar sedang kan masukan panas pada pengelasan FCAW relatif konstan sebab arus dan kecepatan juga relatif konstan. Hal ini yang membuat hasil pengelasan baik dan tidak akan menurunkan kualitas kekuatan maupun ketahanan material tersebut. Sedangkan masukan panas yang semakin besar akan membuat hasil daerah HAZ semakin membesar akibat masukan panas yang semakin besar. Hal ini akan menyebabkan penurunan kualitas, kekuatan maupun ketangguhan pada material tersebut.

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai masukan panas yang dihasilkan maka ketangguhannya semakin kecil. Sedangkan nilai masukan panas yang dihasilkan konstan selain menghasilkan lasan yang baik juga nilai ketangguhan semakin baik pula. Sehingga nilai takik yang dihasil pada pengelasan FCAW lebih baik dibandingkan pengelasan SAW karena pengelasan FCAW memiliki masukan panas yang relatif konstan yang tidak akan merusak kualitas dan ketangguhan material tersebut. Seperti penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hadi (2009), bahwa metode pengelasan FCAW mempunyai nilai keuletan lebih baik hal ini dimungkinkan oleh adanya masukan panas yang lebih stabil. Masukan panas yang meningkat akan merubah struktur mikro HAZ dan menghasilkan spesimen cenderung keras dan getas sehingga akan menghasilkan nilai ketangguhan yang rendah. Sebaliknya apabila masukan panas cenderung konstan maka spesimen akan mempertahankan struktur mikronya sehingga menghasilkan nilai ketangguhan yang tinggi.

4.7 Uji Metalografi

4.7.1 Struktur Mikro Spesimen Pengelasan SAW dan FCAW

Hasil foto mikro pengelasan SAW dilakukan pembesaran 500x pada daerah logam las (*weld metal*) dan pengaruh panas (HAZ).

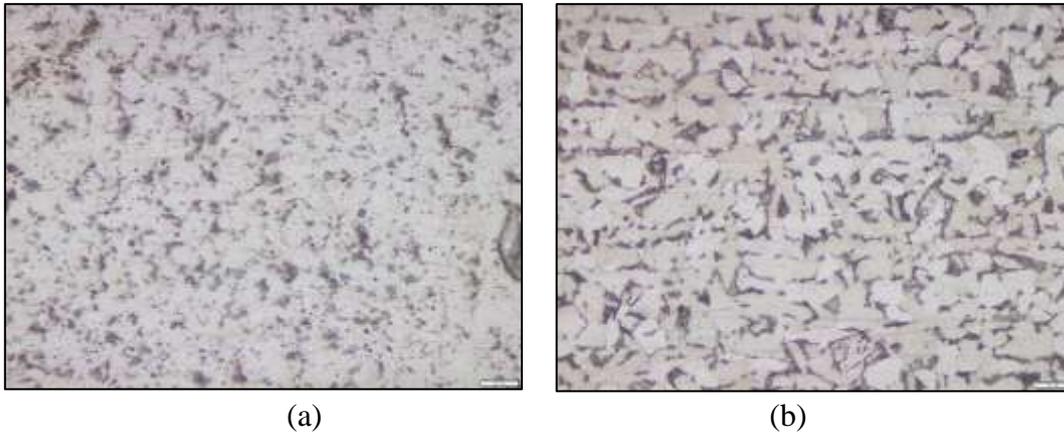


Gambar 4.7 Hasil Stuktur Mikro Pengelasan SAW (a) *Weld Metal*, (b) HAZ

Hasil foto struktur mikro diatas dapat dilihat bahwa fase yang terbentuk pada pengelasan SAW yaitu fase ferit dan perlit dimana yang berwarna terang menunjukkan fase ferit dan yang berwarna gelap menunjukkan fase perlit. Untuk mengetahui persentase ferit dan perlit menggunakan metode perhitungan *point counting*. Semakin besar persentase perlit spesimen tersebut cenderung keras sebaliknya semakin besar persentase ferit spesimen lebih lunak atau ulet.

Pada gambar (a), struktur mikro pada daerah logam lasan di dominasi ferit yang berwarna terang dengan persentase struktur mikro ferit adalah 53.2% sedangkan fase perlit yang berwarna gelap lebih sedikit dengan persentase struktur mikro perlit adalah 46.8%.

Pada gambar (b), Struktur mikro pada daerah HAZ atau pengaruh las terbentuk butiran ferit yang lebih halus dan lebih tersebar merata dimana persentase struktur mikro ferit sebesar 77.2% dan persentase struktur perlit adalah 22.8%.



Gambar 4.8 Hasil Stuktur Mikro Pengelasan FCAW (a) *Weld Metal*, (b) HAZ

Fase yang terjadi pada pengelasan FCAW pun terdiri dari fase ferit dan perlit dimana gambar (a) struktur mikro pada daerah lasan terlihat butiran ferit lebih banyak dan menyebar dibandingkan butiran perlit yang terbentuk. Persentase yang dihasilkan oleh daerah lasan adalah 77.85% butiran ferit dan 22.15% butiran perlit. Sedangkan persentase pada daerah HAZ adalah 83.2% butir ferit dan 16.8% butir perlit.

Struktur mikro pengelasan FCAW maupun SAW memiliki fase ferit terbesar pada daerah HAZ hal ini disebabkan masukan panas yang dihasilkan. Masukan panas pada pengelasan FCAW relatif konstan sehingga daerah HAZ tidak menjadi semakin lebar dengan memiliki fase ferit tertinggi sebesar 83.2%. Sedangkan masukan panas yang dihasilkan oleh pengelasan SAW relatif meningkat sehingga daerah HAZ menjadi semakin melebar. Hal ini dapat menurunkan sifat mekanik dari material. Semakin tinggi masukan panas yang dihasilkan maka persentase fase ferit yang terbentuk pada daerah HAZ menjadi rendah yaitu 77.2%. Apabila struktur ferit lebih rapat, maka akan menahan rambatan retak yang terjadi. Hal ini sesuai dengan analisis uji mikro oleh Riskiyah (2016), bahwa semakin besar persentase ferit yang dihasilkan sehingga semakin rapat butir ferit maka nilai ketangguhan yang dihasilkan akan semakin tinggi karena spesimen tersebut ulet. Sebaliknya semakin kecil persentase butir ferit dan semakin banyak persentase butir perlit maka nilai ketangguhan yang akan dihasil akan semakin menurun dan

spesimen cenderung keras dan getas. Hal ini juga akan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi.

4.7.2 Struktur Makro Spesimen Pengelasan FCAW

Pengujian makro di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daerah-daerah hasil pengelasan seperti HAZ (Heat Affected Zone), Batas las (Fusion Line) dan daerah lasan (Weld Metal). Hasil uji makro ini dapat melihat area-area yang terbentuk akibat proses pengelasan yaitu lebar HAZ dan Luasan dari logam las. Proses pembentukan spesimen dilakukan bisa digabung dengan spesimen uji mikro. Spesimen uji makro dipoles pada satu sisi menggunakan kertas amplas dari grid 80-2000. Apabila permukaan spesimen sudah mengkilat maka selanjutnya di etsa menggunakan larutan HNO₃ dan alkohol. Setelah itu spesimen di uji makro dengan mengamati daerah hasil pengelasan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.9 Foto Makro Hasil Pengelasan SAW



Gambar 4.10 Foto Makro Hasil Pengelasan FCAW

Pada hasil foto makro dapat dilihat bahwa daerah proses pengelasan seperti HAZ, batas las dan daerah lasan. Semakin besar arus dan kecepatan las semakin lama maka daerah penyambungan logam semakin besar pula sehingga hasil kekuatan tarik spesimen uji semakin besar. Hal ini akan menyebabkan nilai masukan panas semakin meningkat dan daerah HAZ semakin melebar yang mengakibatkan turunnya kualitas hasil lasan. Dari foto makro HAZ terkecil pada spesimen pengelasan FCAW yaitu 2.41 mm sedangkan lebar HAZ yang terbesar terjadi pada spesimen pengelasan SAW yaitu 3.75 mm.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka akan ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik pada pengelasan SAW maupun pengelasan tidak memiliki perbedaan yang signifikan kurang lebih 1%. Kekuatan tarik pada pengelasan SAW sebesar 522.07 MPa dan kekuatan tarik pengelasan FCAW yaitu 516.40 MPa. Kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan SAW. Nilai kekerasan pada daerah lasan (*Weld Metal*) yaitu 217.97 HVN dan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yaitu 172.83. Nilai ketangguhan tertinggi terdapat pada pengelasan FCAW dengan nilai ketangguhan pada daerah lasan (*Weld Metal*) sebesar 1.779 J/mm² sedangkan pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) sebesar 1.848 J/mm². Pengelasan FCAW memiliki nilai ketangguhan yang lebih baik dibandingkan pengelasan SAW. Hal ini disebabkan oleh adanya masukan panas yang relatif stabil. Semakin tinggi nilai ketangguhan maka nilai kuat tarik dan kekerasan semakin kecil sebaliknya apabila nilai ketangguhan kecil maka nilai kuat tarik dan kekerasan semakin besar yang artinya material tersebut kuat dan getas.
2. Dari hasil metalografi dapat diketahui bahwa semakin besar masukan panas yang dihasilkan maka akan meningkat fasa perlit pada daerah pengelasan dan daerah pengaruh panas. Pada pengelasan FCAW memiliki persentase mikro ferit terbesar pada daerah HAZ yaitu 83.2% dan fase perlit 16.8% sedangkan pada daerah lasan persentase ferit yaitu 77.85%. Semakin banyak fase ferit maka spesimen tersebut semakin ulet dan memiliki nilai ketangguhan yang tinggi. Sebaliknya apabila persentase perlit semakin banyak maka spesimen tersebut bersifat getas dan keras sehingga memiliki nilai kuat tarik dan kekerasan yang besar.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan kepada peneliti yang akan datang agar penelitian lebih baik dari penelitian sebelumnya sebagai berikut:

1. Alangkah baiknya proses pengelasan dilakukan *Pre heat* dan *Post heat* agar hasil pengelasan yang diperoleh lebih optimal.
2. Penelitian selanjutnya bisa membuat variasi sudut kampuh atau sambungan lasan.
3. Penelitian selanjutnya bisa ditambahkan dengan menghitung laju korosi yang terjadi pada kedua lasan tersebut. Sehingga tahu pengelasan yang mana yang mudah terkorosi atau tidak.
4. Penambahan uji tekuk agar mengetahui sifat kelenturan suatu material .

DAFTAR PUSTAKA

- ASME section IX 2013, *Qualification Standard for Welding, Brazing and Fusing Procedures: Welders, Brazer, and Welding, Brazing, and Fusing Operator*, The American Society of Mechanical Engineers, New York.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2003. *Standard Specification for Carbon Structural Steel, A36/A36M-04*. Amerika: ASTM International.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1995. *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens, E3-95*. Amerika: ASTM International.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2007. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, E23-07a*. Amerika: ASTM International.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1997. *Standard Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials, E92*. Amerika: ASTM International.
- AWS D1.1. 2000. *Structural Welding Code Steel*. Miami Florida
- AWS (American Welding Society). 1989. *Filler Metal Comparison Chart.*, Miami Florida.
- AWS (American Welding Society) A5.17. 2007. *Standard Specification for Standard Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding*. Miami Florida.
- AWS (American Welding Society) A5.20. 2005. *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*. Miami Florida.
- BSI (British Standards Institution). 1983. *Filler Rods and Wires for Gas-Shield Arc Welding*, London.
- Chandler, Harry. 1999. *Hardness Test 2nd Edition*. ASM Internasional, US.
- Hadi, Eko Sasmiko. 2009. *Jurnal: Analisis Pengelasan Mild Steel (ST. 42) dengan Proses SMAW, FCAW dan SAW Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Nilai Ekonomis*. Teknik Perkapalan: Universitas Diponegoro.
- Halmshaw, R. 1995. *Industrial Radiology: Theory and Practice 2nd Edition*. India: Pure Tech India Ltd.

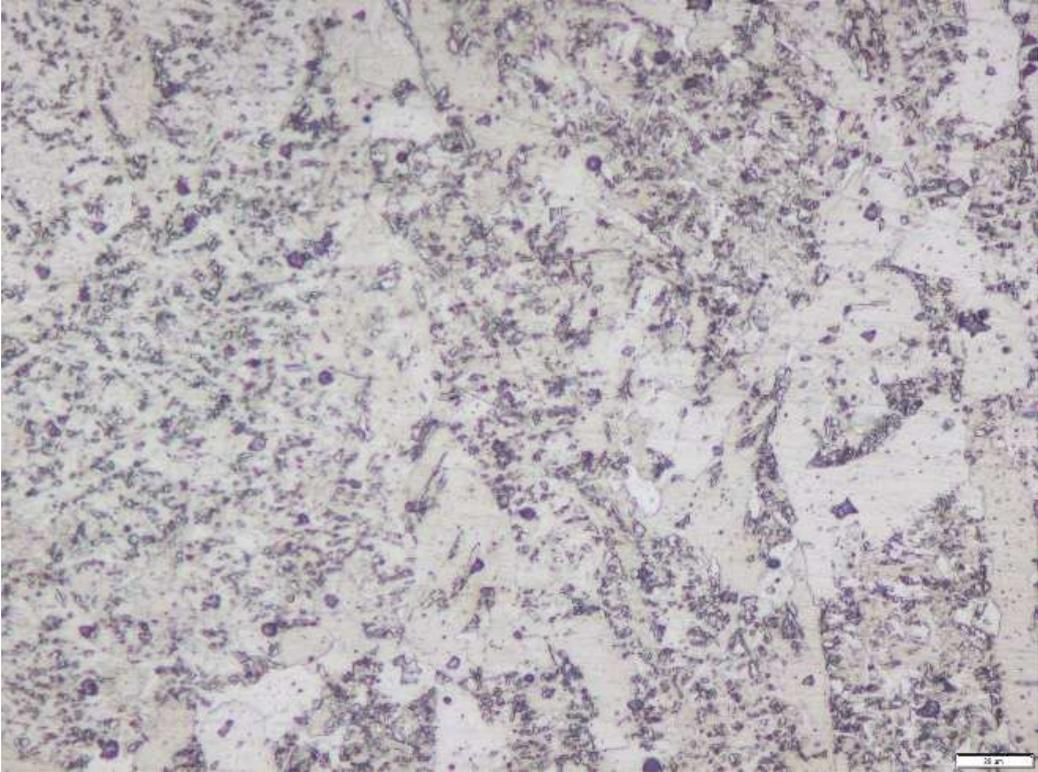
- Jeffur, Larry. 2012. *Welding: Principles and Applications 7th Edition*. Delmar: Cengage Learning.
- Leman, Arianton, dan Suharto. 2005. *Jurnal: Pengaruh Kecepatan Pengelasan Pada Submerge Arc Welding Baja SM 490 Terhadap Ketangguhan Beban Impak*. Teknik Mesin: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lestari, Famessa Fitria, dan Putu Suwarta. 2014. *Jurnal: Pengaruh Perubahan Arus dan Kecepatan Serta Kelembapan Fluks Terhadap Hasil Impact dan Kekerasan Serta Macrostructure Fillet Weld Hasil Pengelasan Submerged Arc Welding (SAW)*. Teknik Mesin: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Manalu, R. 2014. *Uji Takik*. http://www.academia.edu/13089397/Uji_Takik (diakses tanggal 5 Februari 2017 pukul 21.44 WIB).
- Marinda, Girang Setyo. 2017. *Tugas Akhir: Pengaruh Sudut Groove Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi Pada Baja ASTM A36 di Lingkungan Laut*. Teknik Kelautan: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Okomura, T. Dan Harsono W. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Perdana, Doni, dan Bazy Syarif. 2015. *Jurnal: Analisis Pengaruh Jenis Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Sifat Mekanis Baja ASTM A36 Pada Konstruksi Landside Upper Leg*. Teknik Mesin: Universitas Maarif Hasyim Sidoarjo.
- PPNS. 2015. *Materi Kuliah Keteknikan*. <http://hima-tl.ppns.ac.id/?cat=5> (diakses tanggal 6 Februari 2017 pukul 09.13 WIB)
- Ramadhani, Rizkiyah, Herman Pratikno, dan Moch Zaed Yuliadi. 2016. *Jurnal: Analisis Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan FCAW dan SMAW Terhadap Kekuatan Impact Butt Joint Pada Spesimen Pipa 51 Grade X42*. Teknik Kelautan: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Sunaryo, Heri. 2008. *Teknik Pengelasan Kapal*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

LAMPIRAN A
DATA

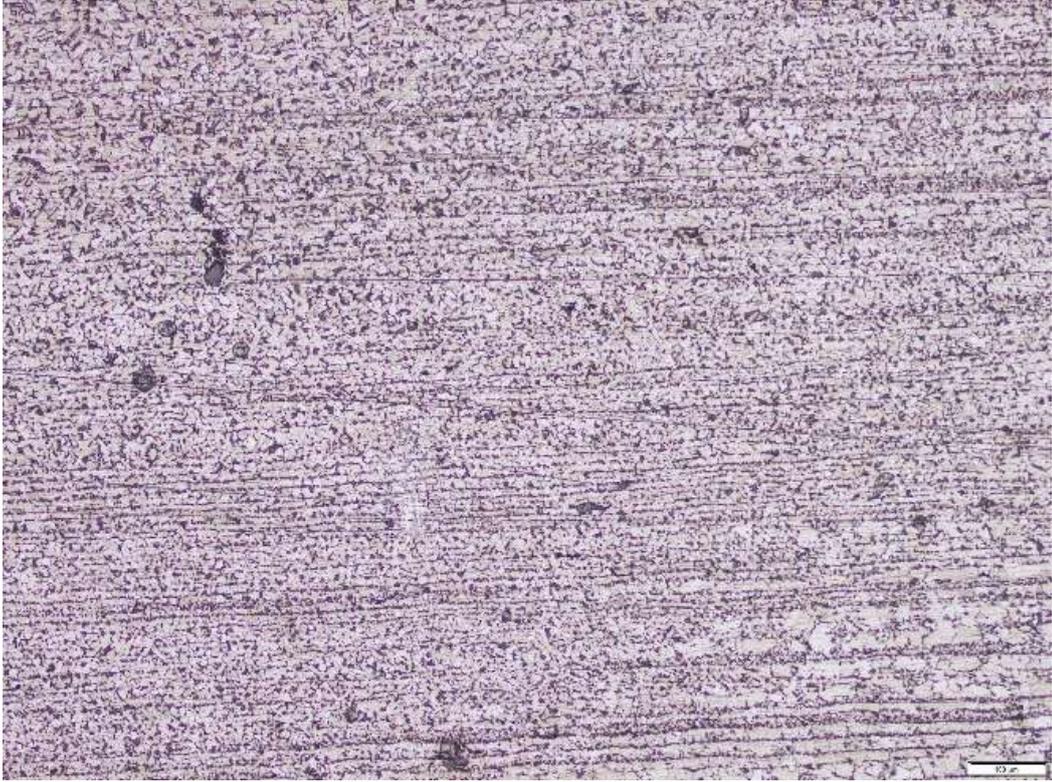
I. Struktur Mikro



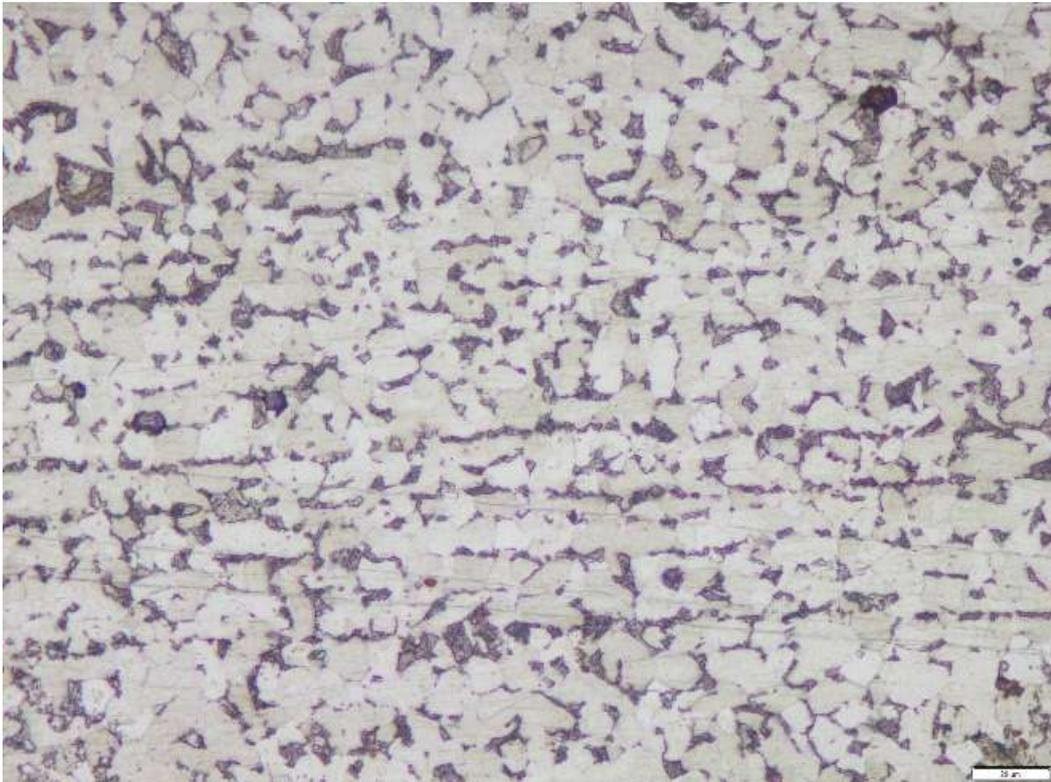
Kode SAW WM 100x



Kode SAW WM 500x



Kode SAW HAZ 100x

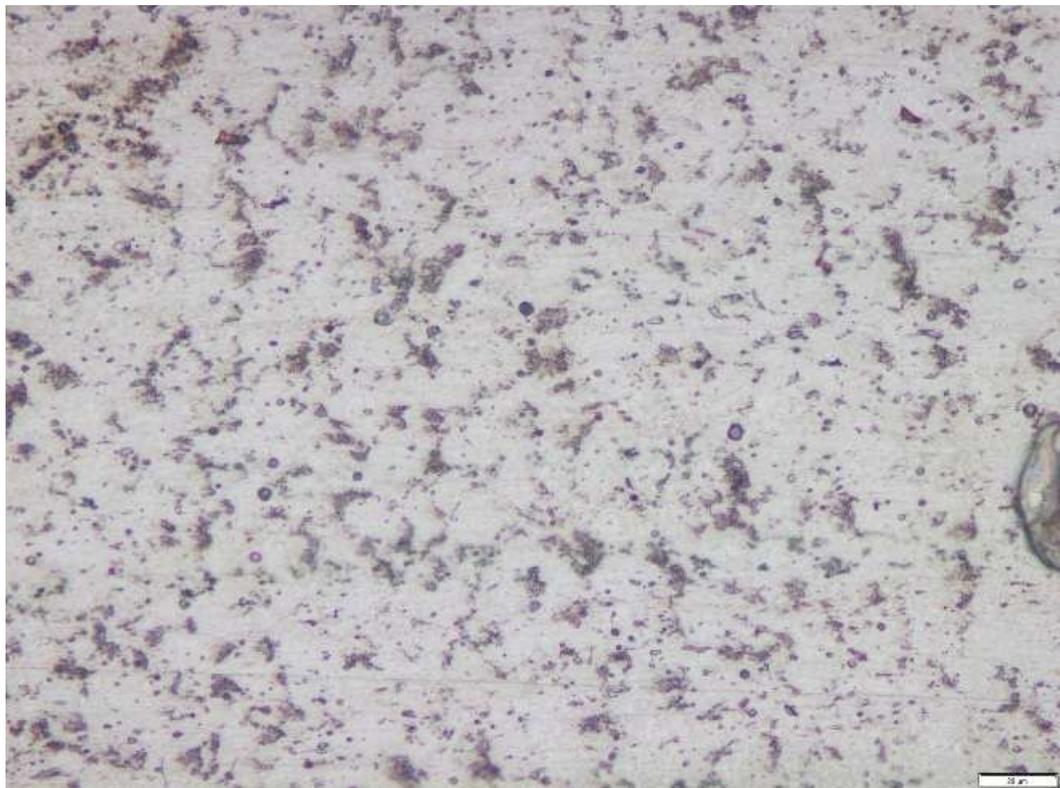


Kode SAW HAZ 500x

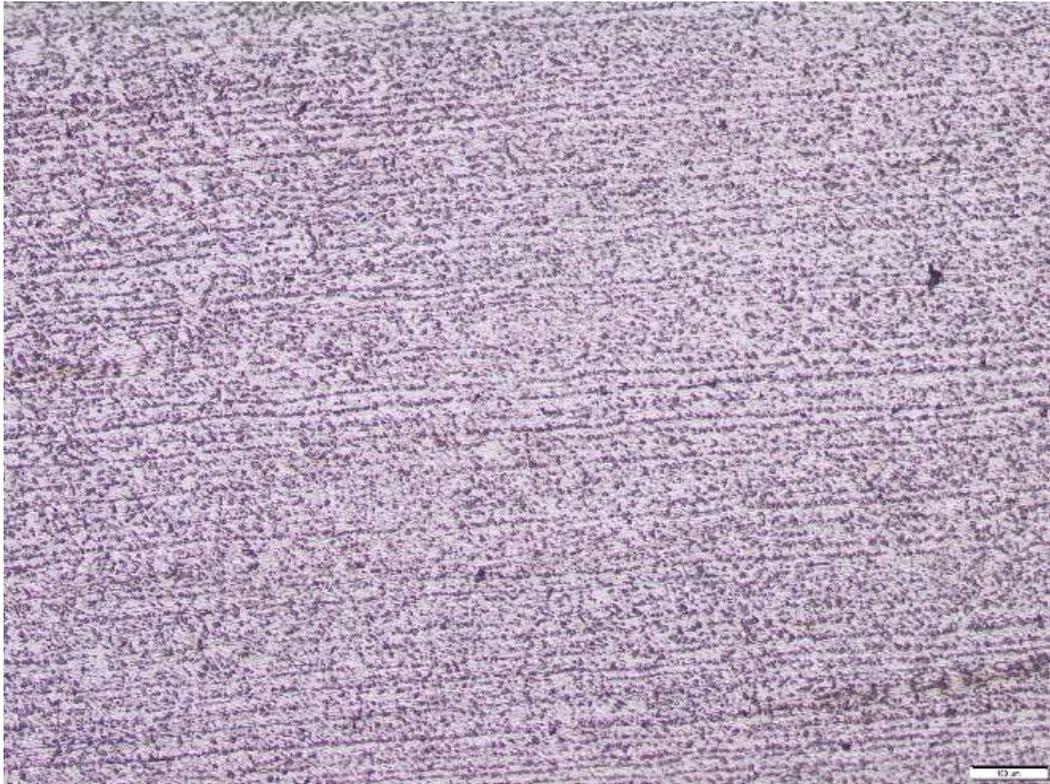
Gambar A.1. Struktur Mikro Spesimen Pengelasan SAW



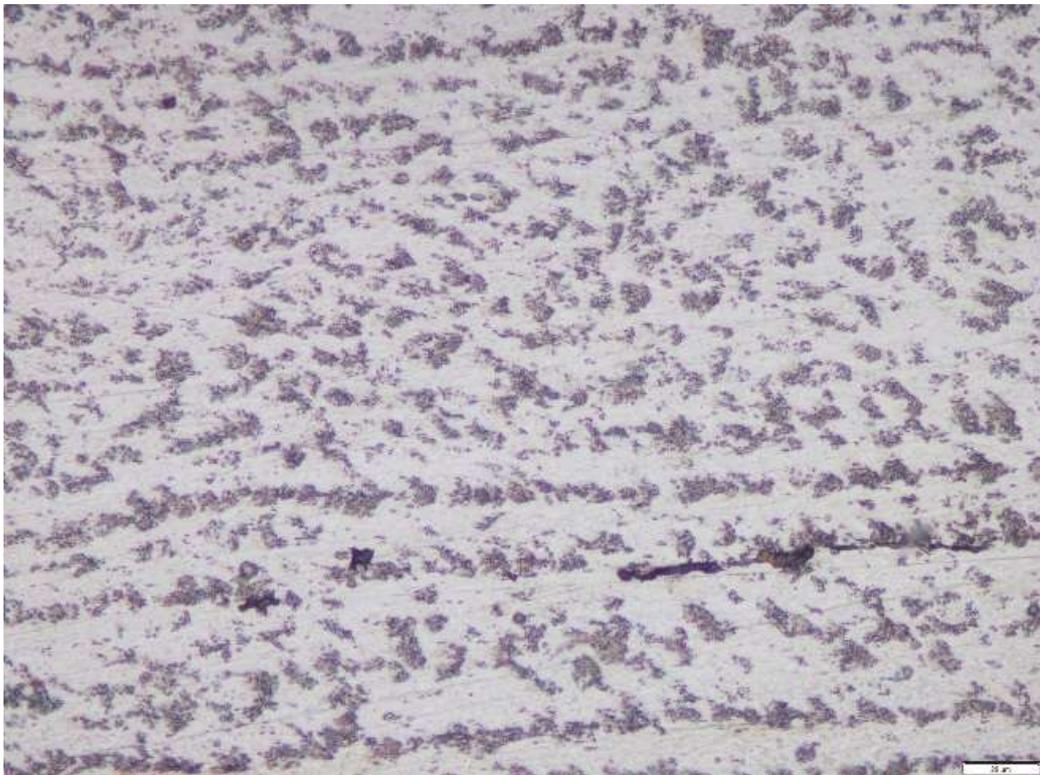
Kode FCAW WM 100x



Kode FCAW WM 500x



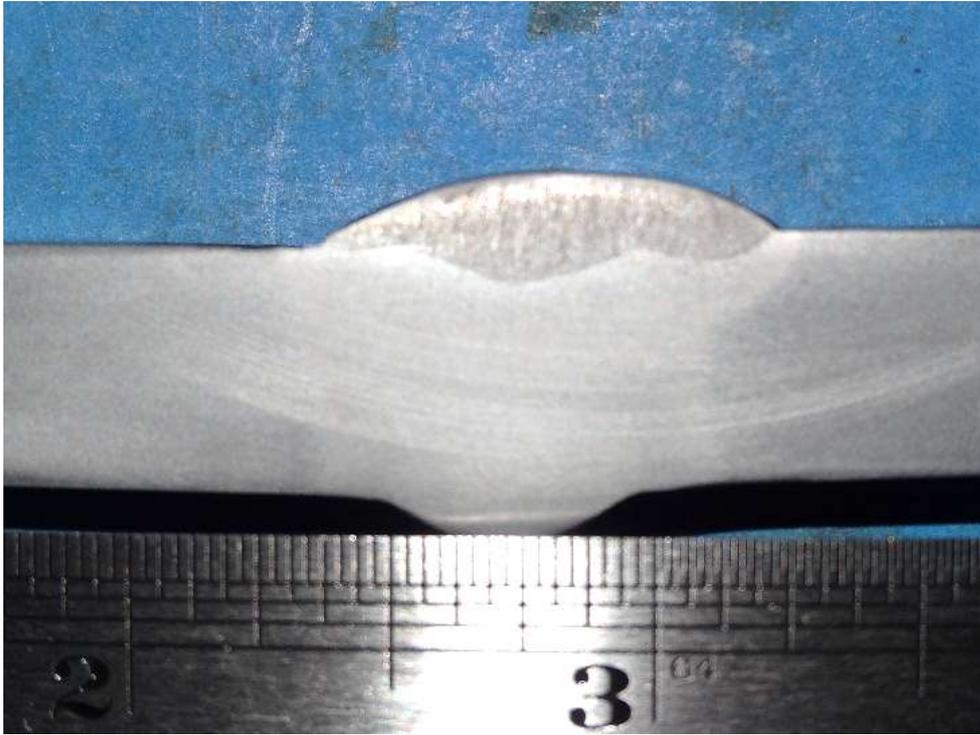
Kode FCAW HAZ 100x



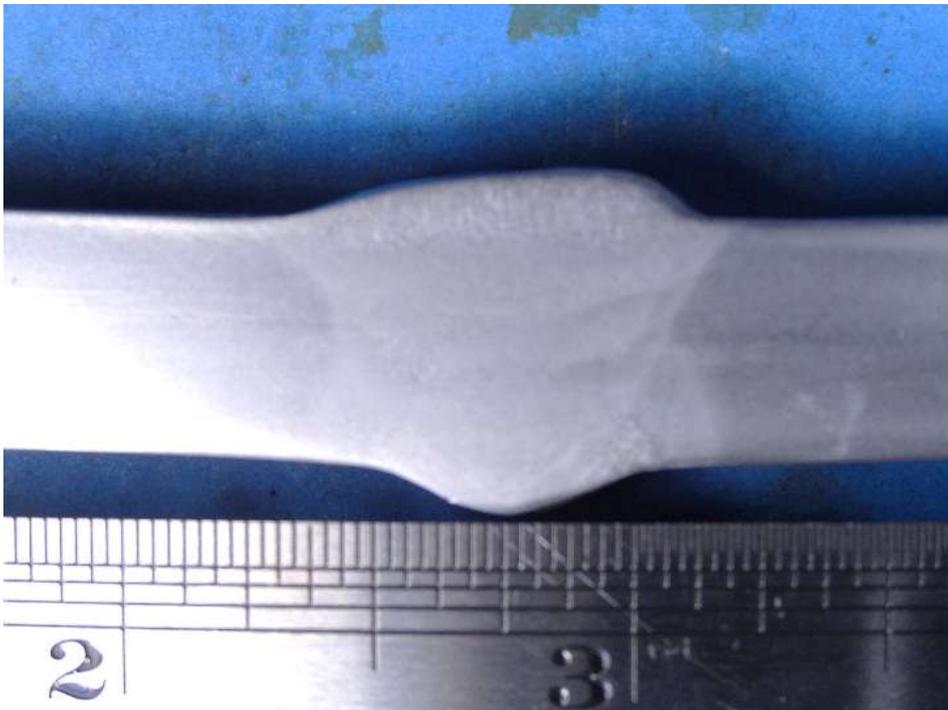
Kode FCAW HAZ 500x

Gambar A.2. Struktur Mikro Spesimen Pengelasan FCAW

Kode Makro SAW



Kode Makro FCAW



Gambar A.3. Struktur Makro Spesimen Pengelasan SAW dan FCAW

LAMPIRAN B
DOKUMENTASI PENELITIAN



B1. Material ASTM A36

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.
Surabaya - Indonesia

Page: 1 of 1

MILL TEST CERTIFICATE
ACC TO EN10204 : 2004 3.1

Buyer: PT. BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA
Tanjungrejo No. 44-B Simanunglo, Sukramananggal Surabaya - 60181

Order No.: D - 012 - 2014 PO NO : P01401-1025
Material: HOT ROLLED STEEL PLATE
Specification: ASTM A 36 N-08
Tolerances: ASTM A 6

Head Office: J. Mangrove No. 20 A
Gresik - Asemrowo - Surabaya 60183
Phone: (02-31) 740004 (Pusat)
Fax: (02-31) 740001
E-mail: gdm@gunawansteel.com
http://www.gunawansteel.com

Certificate No.: GDS/QC20140908
Date: February 12, 2014
Dispatch Advice No.: LDO-1402-0143

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions (mm)			Weight (MT)	Ladle Analysis (%)														Tensile Test				Impact Test in Joule			
			T	W	L		C	Si	Mn	P	S	Nb	Ca	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	N	Tens. No.	Y.S. N/mm ²	T.S. N/mm ²	El. %	Charpy Test	I	II	III
			x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²		x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²															
U 1312584	Q 25-28 5	9.8	1219	2438	1.145	16	17	75	9	8	<10	3	2	3	<5	<5	34	<5	7	R4	335	452	28					
U 1312864	O 21-220 20				4.580	14	15	72	10	7	<10	4	3	3	<5	<5	37	<5	6	R6	343	453	25					
U 2312586	Q 11-110 10				2.256	14	14	66	9	7	<10	2	2	2	<5	<5	41	<5	7	L4	326	446	26					
U 1312584	Q 48-417 12	11.8	1219	2438	3.350	16	17	75	9	8	<10	3	2	3	<5	<5	34	<5	7	R4	335	452	28					
U 1312864	R 411-216 6				1.690																							
U 1312864	O 411-417 7				1.923	14	15	78	10	7	<10	4	3	3	<5	<5	37	<5	6	R8	343	453	25					
U 2312557	J 411-417 7				1.925	16	20	74	8	7	<10	3	2	2	<5	<5	36	<5	7	R1	289	447	27					
U 2312586	Q 41-417 13				4.675	14	14	66	9	7	<10	2	2	2	<5	<5	41	<5	7	L3	300	437	26					
U 2312587	M 411-417 7				1.925	16	19	76	10	7	<10	3	1	3	<5	<5	40	<5	10	G5	347	479	25					
K 393506	K 38-314 7	14.8	1219	2438	2.415	17	20	90	11	4		1	2	1			28		2.7	F4	313	468	31					
	T 11-07 7				2.415																							
	T 28-214 7				2.415																							
K 393526	U 18-114 7				2.415	15	25	109	12	6		1	2	2			34		3.1	G3	324	501	23					
K 393505	T 31-36 9	15.8	1219	2438	3.321	17	20	98	10	3		2	2	4			28		2.8	H1	334	477	26					
K 393513	R 11-110 10				3.680	17	19	98	12	4		1	1	1			32		3.1	H3	323	475	30					
K 393514	U 142 1				0.368	17	18	98	13	3		1	2	2			30		3.4	L4	323	464	32					
					40.455																							

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER.

B2. Sertifikat Material ASTM A36



B2. Pembentukan Bevel

Gambar B.1. Proses Persiapan Material



B3. Filler Meter SAW



B4. Flux SAW



B4. Mesin Las SAW



B2. Proses Las SAW

Gambar B.1. Proses Pengelasan SAW



Filler Metal FCAW



Backing Ceramic



Mesin FCAW



Gas CO₂



Alat Pengontrol Arus dan Tegangan FCAW



Proses Pengelasan FCAW

Gambar B.3. Proses Pengelasan FCAW



Hasil Pengelasan SAW



Hasil Pengelasan FCAW

Gambar B.4. Hasil Proses Pengelasan SAW dan FCAW



Mesin Pemotong Hidrolik



Jangka Sorong



Gerinda



Mesin Sekrap



Mesin Polisher



Proses Etsa

Spesimen Uji Tarik

Spesimen Uji Takik



Spesimen Uji kekerasan



Spesimen Uji Metalografi

Gambar B.5. Tahap Pembuatan Spesimen





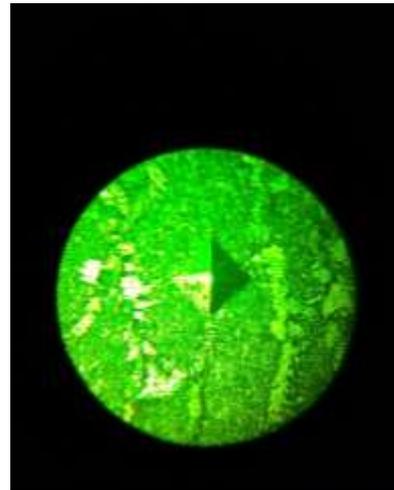
Uji Tarik



Hasil Uji Tarik



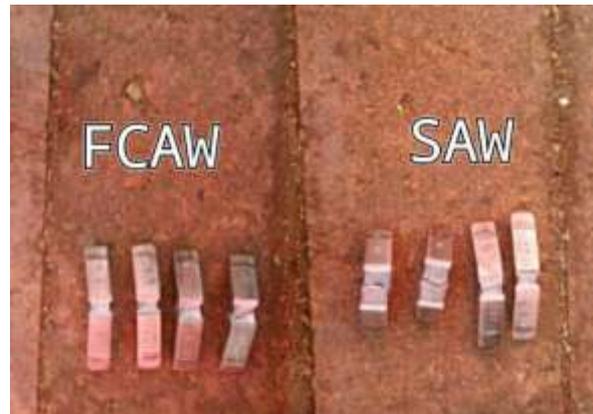
Uji Kekerasan



Hasil Uji Kekeras Pada Lensa



Uji Takik



Hasil Uji Takik



Uji Mikro



Hasil Uji Mikro

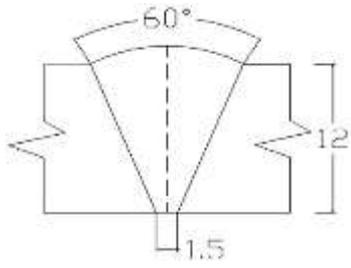
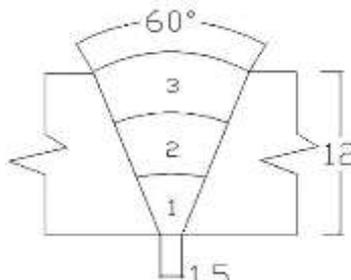
Gambar B.6. Tahap Proses Pengujian

LAMPIRAN C
HASIL DATA PENGUJIAN

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

Name	: Inayatul Lailiyah		
Material	: ASTM A-36	Length	: 400 mm
Position	: 1G	Width	: 150 mm
		Thickness	: 12 mm

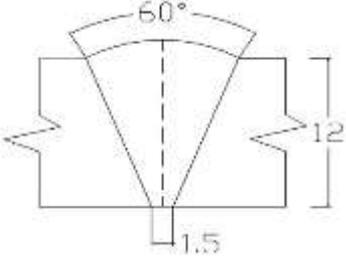
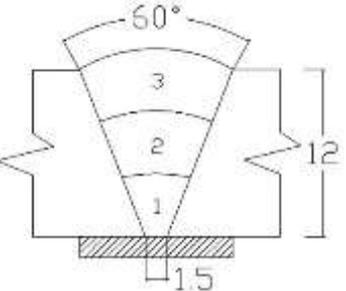
Welding Process	SAW	SAW	SAW
Layer	ROOT	FILL	CAPP
Filler	EH12K-F7A5	EH12K-F7A5	EH12K-F7A5
Polarity	DC	DC	DC
Shielding Gas	N/A	N/A	N/A
Purge Gas	N/A	N/A	N/A

Layer	Dia. (mm)	Ampere	Volt	Speed (mm/det)	Heat input (J/mm)	Weld Preparation
1	3.2	300	26-30	3.81	2205	
2	3.2	350	28-32	3.48	3019	
3	3.2	350	28-32	3.48	3019	
<p>Note :</p> <p>1. Preheat and Postheat : -</p>						<p>Pass Location</p> 

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

Name	: Inayatul Lailiyah		
Material	: ASTM A-36	Length	: 400 mm
Position	: 1G	Width	: 150 mm
		Thickness	: 12 mm

Welding Process	FCAW	FCAW	FCAW
Layer	ROOT	FILL	CAPP
Filler	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C
Polarity	DC	DC	DC
Shielding Gas	CO ₂	CO ₂	CO ₂
Purge Gas	N/A	N/A	N/A

Layer	Dia. (mm)	Ampere	Volt	Speed (mm/det)	Heat input (J/mm)	Weld Preparation
1	1.2	120	22-27	2.22	1323	
2	1.2	120	22-27	2.45	1198	
3	1.2	120	22-27	2.35	1250	
<p>Note :</p> <p>2. Preheat and Postheat : -</p>						<p style="text-align: center;">Pass Location</p> 

DATE : 29/05/2017
 ORDER FROM : Tugas Akhir Ina
 TEST STANDARD : ASME Section IX 2013
 PQRNO. :
 JOINT DESIGN : Butt Joint
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36
 THICKNESS : 12 mm
 WELDING PROCESS : SAW
 TEST POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rachmat

I. TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK	CSA	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm ²)	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
SAW-1	Good	18.89	12.67	239.34	80	126.8	334.26	529.80	Base Metal
SAW-2	Good	18.93	12.53	237.19	85	122	358.36	514.35	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
SW-1	55.28	9.57	7.50	28	70.3	
SW-2	55.37	9.78	7.54	28	72	
SH-1	55.16	9.84	7.51	28	132	
SH-2	55.24	9.37	7.52	28	131.5	

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 : 29/05/2017
 ORDER FROM : Tugas Akhir Ina
 TEST STANDARD : ASME Section IX 2013
 PQRNO. :
 JOINT DESIGN : Butt Joint
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36
 THICKNESS : 12 mm
 WELDING PROCESS : FCAW
 TEST POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rachmat

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 ²)	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
FCAW-1	Good	18.79	12.09	227.17	79	119	347.76	523.83	Base Metal
FCAW-2	Good	18.98	12.07	229.09	79	116.6	344.84	508.97	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
FW-1	55.21	9.87	7.52	28	132.5	
FW-2	55.15	9.85	7.55	28	131.8	
FH-1	55.24	9.64	7.54	28	132	
FH-2	55.07	9.55	7.55	28	132.4	

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,

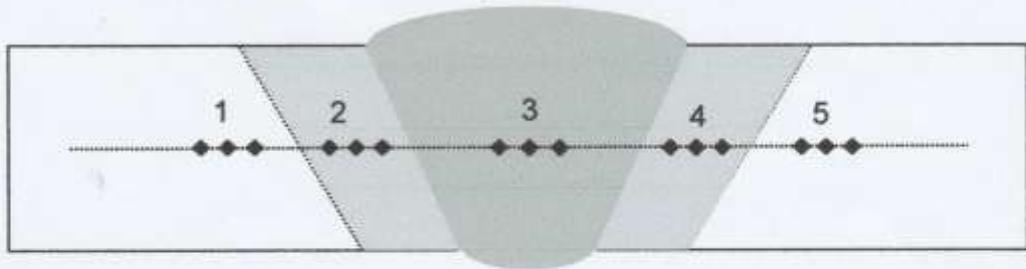
Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

DATE : 8/6/2017
 ORDER FROM : Tugas Akhir Ina
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Butt Joint
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36
 DIAMETER :
 THICKNESS : 12 mm
 WELDING PROCESS : SAW
 FILLER METAL : EH12K
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rachmat
 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	
SAW			162.2	180	176.3	207.7	228	218.2				
Average			172.83			217.97						

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,

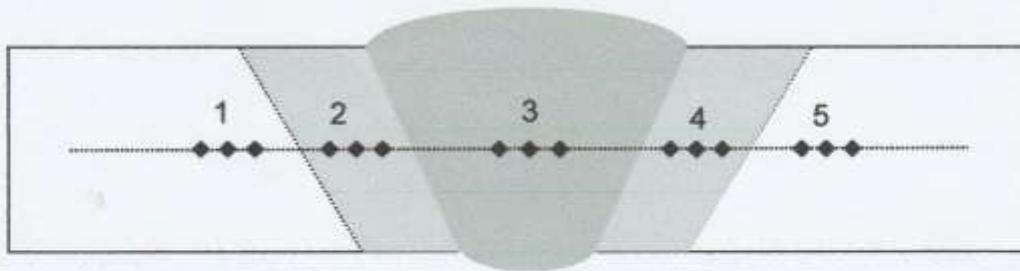
Tester Laboratory
 Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto
 NIP. 19620115 198103 1 001

DATE : 8/6/2017
 ORDER FROM : Tugas Akhir Ina
 TEST STANDARD : ASTM E92
 WPS NUMBER :
 PQR NUMBER :
 JOINT DESIGN : Butt Joint
 MATERIAL SPEC. : ASTM A36
 DIAMETER :
 THICKNESS : 12 mm
 WELDING PROCESS : FCAW
 FILLER METAL : E71T-1C
 WELDING POSITION : 1G
 WELDER NAME : Rachmat
 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	
FCAW			156.5	153.1	157.6	198.4	191.7	189.5				
Average			155.73			193.20						

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

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN HASIL PENGUJIAN

1. Lampiran Perhitungan Masukan Panas

Layer	Ampere (A)	Volt Range(V)	Travel Speed (sec)	Travel Speed (mm/sec)	HI (Joule/mm)
1	300	28	105	3.81	2205
2	350	30	115	3.48	3019
3	350	30	115	3.48	3019
				Average	2748

$$\text{Heat input (J/mm)} = \frac{\text{Arus (A)} \times \text{Tegangan (V)}}{\text{Travel Speed (mm/sec)}} \quad (\text{ASME IX, 2013})$$

$$\text{Travel Speed (mm/sec)}$$

- Nilai Masukan Panas pada pengelasan SAW

➤ Layer 1

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{300 \times 28}{3.81} \\ &= 2205 \text{ J/mm} \end{aligned}$$

➤ Layer 2

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{350 \times 30}{3.48} \\ &= 3019 \text{ J/mm} \end{aligned}$$

➤ Layer 3

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{350 \times 30}{3.48} \\ &= 3019 \text{ J/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata HI} &= \frac{2205 + 3019 + 3019}{3} \\ &= 2748 \text{ J/mm} \end{aligned}$$

Layer	Ampere (A)	Volt Range(V)	Travel Speed (sec)	Travel Speed (mm/sec)	HI (Joule/mm)
1	120	24.5	180	2.22	1323
2	120	24.5	163	2.45	1198
3	120	24.5	170	2.35	1250
				Average	1256.85

- Nilai Masukan Panas pada pengelasan FCAW

➤ Layer 1

$$HI = \frac{120 \times 24.5}{2.22}$$

$$= 1323 \text{ J/mm}$$

➤ Layer 2

$$HI = \frac{120 \times 24.5}{2.45}$$

$$= 1198 \text{ J/mm}$$

➤ Layer 3

$$HI = \frac{120 \times 24.5}{2.35}$$

$$= 1250 \text{ J/mm}$$

$$\text{Rata-rata HI} = \frac{1323 + 1198 + 1250}{3}$$

$$= 1257 \text{ J/mm}$$

2. Lampiran Perhitungan Kekuatan Tarik

CODE MATERIAL	SPESIFICATION SAMPLE			F. Y	F. U	TENSILE TEST RESULTS	
	WIDTH	THICK	CSA			YIELD STRENGTH	ULTIMATE STRENGTH
	(mm)	(mm)	(mm ²)			(MPa)	(Mpa)
SAW-T1	18.89	12.67	239.34	80000	126800	334.26	529.80
SAW-T2	18.93	12.53	237.19	85000	122000	358.36	514.35
			Average	82500	124400	346.3	522.07

- Pengelasan SAW

Cross Section Area (CSA) = W x T

$$CSA-T1 = 18.89 \times 12.67 = 239.34 \text{ mm}^2$$

$$CSA-T2 = 18.93 \times 12.53 = 237.19 \text{ mm}^2$$

F. Yield-T1 (grafik) = 80000 Newton

F. Yield-T2 (grafik) = 85000 Newton

$$\text{Rata-rata F. Y} = \frac{80000+85000}{2} = 82500 \text{ Newton}$$

F. Ultimate-T1 (grafik) = 126800 Newton

F. Ultimate-T2 (grafik) = 122000 Newton

$$\text{Rata-rata F. U} = \frac{126800+122000}{2} = 124400 \text{ Newton}$$

$$\text{Yield Strength-T1} = \frac{F. Yield}{CSA} = \frac{80000}{239.34} = 334.26 \text{ MPa}$$

$$\text{Yield Strength-T2} = \frac{F. Yield}{CSA} = \frac{85000}{237.19} = 358.36 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-rata Yield Strength} = \frac{334.26+358.36}{2} = 346.3 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength-T1} = \frac{F. Ultimate}{CSA} = \frac{126800}{239.34} = 529.80 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength-T2} = \frac{F. Ultimate}{CSA} = \frac{122000}{237.19} = 514.35 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-rata Yield Strength} = \frac{529.80+514.35}{2} = 522.07 \text{ MPa}$$

CODE MATERIAL	SPESIFICATION SAMPLE			F. Y (Newton)	F. U (Newton)	TENSILE TEST RESULTS	
	WIDTH	THICK	CSA			YIELD STRENGTH (MPa)	ULTIMATE STRENGTH (Mpa)
	(mm)	(mm)	(mm ²)				
FCAW-T1	18.79	12.09	227.17	79000	119000	347.76	523.83
FCAW-T2	18.98	12.07	229.09	79000	116600	344.84	508.97
			Average	79000	117800	346.3	516.40

- Pengelasan FCAW

Cross Section Area (CSA) = W x T

$$CSA-T1 = 18.79 \times 12.09 = 227.17 \text{ mm}^2$$

$$CSA-T2 = 18.98 \times 12.07 = 229.09 \text{ mm}^2$$

F. Yield-T1 (grafik) = 79000 Newton

F. Yield-T1 (grafik) = 79000 Newton

$$\text{Rata-rata F. Y} = \frac{79000 + 79000}{2} = 79000 \text{ Newton}$$

F. Ultimate-T1 (grafik) = 119000 Newton

F. Ultimate-T2 (grafik) = 116600 Newton

$$\text{Rata-rata F. U} = \frac{119000 + 116600}{2} = 117800 \text{ Newton}$$

$$\text{Yield Strength-T1} = \frac{F. Yield}{CSA} = \frac{79000}{227.17} = 347.76 \text{ MPa}$$

$$\text{Yield Strength-T2} = \frac{F. Yield}{CSA} = \frac{79000}{229.09} = 344.84 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-rata Yield Strength} = \frac{347.76 + 344.84}{2} = 346.3 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength-T1} = \frac{F. Ultimate}{CSA} = \frac{119000}{227.17} = 523.83 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength-T2} = \frac{F. Ultimate}{CSA} = \frac{116600}{229.09} = 508.97 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata-rata Yield Strength} = \frac{523.83 + 508.97}{2} = 516.40 \text{ MPa}$$

3. Lampiran Perhitungan Ketangguhan

$$K = \frac{E}{A}$$

Keterangan :

K = Nilai Ketangguhan (Joule/mm²)

A = Luas spesimen penampang setelah ada takikan (mm²)

E = Tenaga patah (Joule)

$$A = T \times W$$

Keterangan:

T = Thick / Tinggi dibawah takikan (mm)

W = Lebar spesimen takik (mm)

- Pengelasan SAW

Kode	L (mm)	T (mm)	W (mm)	A (mm ²)	Energi (Joule)	Nilai Ketangguhan (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
SAW-WM1	55.28	7.50	9.57	71.78	70.3	0.979	0.978
SAW-WM2	55.37	7.54	9.78	73.74	72	0.976	
SAW-HAZ1	55.16	7.51	9.84	73.90	132	1.786	1.826
SAW-HAZ2	55.24	7.52	9.37	70.46	131.5	1.866	

$$A\text{-WM1} = 7.50 \times 9.57 = 71.78 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-WM1} = \frac{70.3}{71.78} = 0.979 \text{ J/mm}^2$$

$$A\text{-WM2} = 7.54 \times 9.78 = 73.74 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-WM2} = \frac{72}{73.74} = 0.976 \text{ J/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata K-WM} = \frac{0.979 + 0.976}{2} = 0.978 \text{ J/mm}^2$$

$$A\text{-HAZ1} = 7.51 \times 9.37 = 73.90 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-HAZ1} = \frac{132}{73.90} = 1.786 \text{ J/mm}^2$$

$$A\text{-HAZ2} = 7.52 \times 9.37 = 70.46 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-HAZ2} = \frac{131.5}{70.46} = 1.866 \text{ J/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata K-WM} = \frac{1.786 + 1.866}{2} = 1.826 \text{ J/mm}^2$$

- Pengelasan FCAW

Kode	L (mm)	T (mm)	W (mm)	A (mm ²)	Energi (Joule)	Nilai Ketangguhan (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
FCAW-WM1	55.21	7.52	9.87	74.22	132.5	1.785	1.779
FCAW-WM2	55.15	7.55	9.85	74.37	131.8	1.772	
FCAW-HAZ1	55.24	7.54	9.64	72.69	133.6	1.838	1.848
FCAW-HAZ2	55.07	7.55	9.55	72.10	134	1.858	

$$A\text{-WM1} = 7.52 \times 9.87 = 74.22 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-WM1} = \frac{132.5}{74.22} = 1.785 \text{ J/mm}^2$$

$$A\text{-WM2} = 7.55 \times 9.85 = 74.37 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-WM2} = \frac{131.8}{74.37} = 1.772 \text{ J/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata K-WM} = \frac{1.785 + 1.772}{2} = 1.779 \text{ J/mm}^2$$

$$A\text{-HAZ1} = 7.54 \times 9.64 = 72.69 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-HAZ1} = \frac{133.6}{72.69} = 1.838 \text{ J/mm}^2$$

$$A\text{-HAZ2} = 7.55 \times 9.55 = 72.10 \text{ mm}^2$$

$$K\text{-HAZ2} = \frac{134}{72.10} = 1.858 \text{ J/mm}^2$$

$$\text{Rata-rata K-WM} = \frac{1.838 + 1.858}{2} = 1.848 \text{ J/mm}^2$$

4. Lampiran Hasil Mikro Metode *Point Counting*

No	SAW				FCAW			
	WM		HAZ		WM		HAZ	
	Ferit(%)	Perlit(%)	Ferit(%)	Perlit(%)	Ferit(%)	Perlit(%)	Ferit(%)	Perlit(%)
1	5.06	4.94	7.6	2.4	8.1	1.9	8.7	1.3
2	4.42	5.58	8	2	7.9	2.1	8.4	1.6
3	5.81	4.19	7.2	2.8	7.7	2.3	8.4	1.6
4	5.8	4.2	8	2	8.3	1.7	7.9	2.1
5	5.88	4.12	8.1	1.9	7.75	2.25	8.1	1.9
6	6.05	3.95	7.4	2.6	8.3	1.7	8.2	1.8
7	3.73	6.27	7.3	2.7	7.6	2.4	8.4	1.6
8	6.03	3.97	7.9	2.1	8	2	8.5	1.5
9	5.14	4.86	7.8	2.2	8	2	7.9	2.1
10	5.28	4.72	7.9	2.1	6.2	3.8	8.7	1.3
Jml	53.2	46.8	77.2	22.8	77.85	22.15	83.2	16.8

BIODATA PENULIS



Inayatul Lailiyah, lahir di Situbondo, 22 April 1995 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dari Pendidikan Dasar di SDN 1 Asembagus pada tahun 2001-2006, pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Asembagus pada tahun 2007-2009, pendidikan menengah atas di SMAN 1 Situbondo pada tahun 2010-2013. Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN dengan NRP 4313100066 dan mendapatkan beasiswa BIDIK MISI. Penulis aktif dalam organisasi selama masa perkuliahan. Penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Sekretaris Departemen Riset dan Teknologi BEM FTK-ITS periode 2014-2015 dan juga tetap diberikan amanah untuk menjabat sebagai Ketua Departemen Badan Usaha Milik Fakultas (BUMF) BEM FTK-ITS periode 2015-2016. Penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di Laboratorium Balai Pantai-Buleleng, Bali selama 2 bulan. Pada bulan Januari 2017, penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan judul *Analisis Perbandingan Proses Pengelasan SAW dan FCAW Pada Material ASTM A 36 Terhadap Uji Takik* dan ditempuh dalam waktu satu semester.

Kontak penulis: inayatullailiyah95@gmail.com