

TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT* TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN LAJU KOROSI PADA PENGELASAN
SMAW SAMBUNGAN PELAT BAJA A36 DENGAN BAJA
*STRUCTURAL STEEL 400 (SS400)***

ATHA FAZADIMA
NRP 04311840000077

Dosen Pembimbing
Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D
NIP 19730415 200003 1 001
Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc
NIP 19690121 199303 1 002

Program Studi Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT* TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN LAJU KOROSI PADA PENGELASAN
SMAW SAMBUNGAN PELAT BAJA A36 DENGAN BAJA
*STRUCTURAL STEEL 400 (SS400)***

ATHA FAZADIMA
NRP 0431184000077

Dosen Pembimbing
Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
NIP 19730415 200003 1 001
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc
NIP 19690121 199303 1 002

Program Studi Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

FINAL PROJECT - M0184804

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HEAT INPUT VARIATION ON
MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE ON
SMAW WELDING OF A36 WITH STRUCTURAL STEEL 400
(SS400) STEEL PLATE**

ATHA FAZADIMA
NRP 04311840000077

Advisor
Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
NIP 19730415 200003 1 001
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc
NIP 19690121 199303 1 002

Study Program Ocean Engineering
Departement of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN LAJU KOROSI PADA PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN PELAT BAJA A36 DENGAN BAJA *STRUCTURAL STEEL 400 (SS400)*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik di
Program Studi Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ATHA FAZADIMA**

NRP. 0431184000077

Disetujui oleh Tim Penguji Proposal Tugas Akhir:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D..... (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc..... (Pembimbing II)
3. Ir. Handyanu, M.Sc, Ph.D..... (Penguji I)
4. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D..... (Penguji II)

SURABAYA

JULI, 2022

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE EFFECT OF HEAT INPUT VARIATION ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE ON SMAW WELDING OF A36 WITH *STRUCTURAL STEEL 400 (SS400)* STEEL PLATE

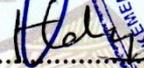
FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree in Ocean Engineering at
Undergraduate Study Program of Ocean Engineering
Department of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **ATHA FAZADIMA**

NRP. 0431184000077

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T, Ph.D.....  (Advisor I)
2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.....  (Advisor II)
3. Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D.....  (Examiner I)
4. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.....  (Examiner II)



SURABAYA

JULY, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Atha Fazadima / 04311840000077

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen pembimbing / NIP : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D / 19730415 200003 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ Analisis Pengaruh Variasi *Heat Input* Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi Pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 Dengan Baja *Structural Steel* 400 (SS400) “ adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



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

NIP. 19730415 200003 1 001

Mahasiswa,



Atha Fazadima

NRP. 04311840000077

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Atha Fazadima / 04311840000077

Department : Ocean Engineering

Advisor / NIP : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D / 19730415 200003 1 001

Hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis Of The Effect Of Heat Input Variation On Mechanical Properties And Corrosion Rate On SMAW Welding Of A36 With Structural Steel 400 (SS400) Steel Plate" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 2022

Acknowledged

Advisor



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

NIP. 19730415 200003 1 001

Student,



Atha Fazadima

NRP. 04311840000077

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *HEAT INPUT* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN LAJU KOROSI PADA PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN PELAT BAJA A36 DENGAN BAJA *STRUCTURAL*
*STEEL 400 (SS400)***

Nama / NRP : Atha Fazadima / 0431184000077
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

ABSTRAK

Pembangunan suatu kapal atau bangunan lepas pantai pasti memerlukan perencanaan dan pelaksanaan yang tepat dan akurat. Salah satu tahap konstruksi pembangunan pada kapal atau bangunan lepas pantai adalah proses pengelasan. Pengelasan merupakan metode penyambungan material yang sering digunakan pada kapal dan industri lepas pantai. Baja karbon rendah seperti baja A36 dan baja *structural steel 400 (SS400)* merupakan material yang sering digunakan dalam konstruksi kapal. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja *structural steel 400 (SS400)* terhadap uji laju korosi dan beberapa sifat mekanik seperti uji tarik, uji *impact* dan uji metalografi. Untuk variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *heat input* yaitu 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Pada hasil pengujian tarik didapatkan untuk nilai kekuatan tarik yang terbesar dan paling optimum yaitu pada variasi *heat input* 1,08 kJ/mm dengan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* sebesar 349,66 MPa dan 482,10 MPa. Dari pengujian *impact* didapatkan untuk nilai ketangguhan *impact energy* terbesar yaitu pada variasi *heat input* 1,44 kJ/mm sebesar 122 Joule. Pada pengujian makro metalografi, didapatkan hasil bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan maka akan memiliki ukuran *weld metal* yang semakin lebar. Selain itu pada pengujian mikro metalografi didapatkan bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan maka struktur mikro yang terbentuk akan semakin kasar. Sehingga akan menyebabkan kekuatan tarik menurun dan nilai ketangguhan meningkat. Sementara pada pengujian laju korosi, didapatkan bahwa nilai laju korosi tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 0,5386 mm/a.

Kata kunci : *Heat Input*, Baja A36, Baja SS400, Sifat Mekanik, Laju Korosi

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HEAT INPUT VARIATION ON
MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE ON SMAW
WELDING OF A36 WITH STRUCTURAL STEEL 400 (SS400) STEEL
PLATE**

Name / NRP : Atha Fazadima / 04311840000077
Department : Ocean Engineering
Advisor : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

ABSTRACT

The construction of a ship or offshore structure definitely requires proper and accurate planning and execution. One of the construction stages of building a ship or offshore building is the welding process. Welding is a method of joining materials that is often used in the ship and offshore industry. Low carbon steels such as A36 steel and 400 structural steel (SS400) are materials that are often used in ship construction. In this study, an analysis of the influence of heat input variations on SMAW welding of A36 steel plate joints with structural steel 400 (SS400) will be carried out on corrosion rate tests and several mechanical properties such as tensile tests, impact tests and metallographic tests. For the variation used in this study, the heat input is 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. The tensile test results obtained for the largest and most optimum tensile strength value, namely the heat input variation of 1,08 kJ/mm with yield strength and ultimate strength values of 349,66 MPa and 482,10 MPa. From the impact test, it was obtained that the impact energy toughness value was at the heat input variation of 1,44 kJ/mm of 122 Joules. In macro metallographic testing, it was found that the larger the heat input used, the wider the weld metal size. In addition, in the metallographic micro test, it was found that the greater the heat input used, the coarser the microstructure formed. It will cause the tensile strength to decrease and the toughness value to increase. Meanwhile, in the corrosion rate test, it was found that the highest corrosion rate value was found in the specimen with a heat input variation of 1,44 kJ/mm, which was 0,5386 mm/a.

Keyword : Heat Input, A36 Steel, SS400 Steel, Mechanical Properties, Corrosion Rate

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan ajaran serta ilmu pengetahuan kepada kita semua.

Laporan ini disusun untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Judul laporan tugas akhir ini adalah **Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Terhadap Sifat Mekanik Dan Laju Korosi Pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 Dengan Baja Structural Steel 400 (SS400)**.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, terutama kepada dua dosen pembimbing saya yang telah memberikan arahan serta nasehat yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharap adanya saran dan kritik yang membangun yang berguna dalam penyusunan laporan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2022

Atha Fazadima

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Pengelasan SMAW.....	7
2.2.2 Bentuk Kampuh.....	8
2.2.3 Posisi Pengelasan.....	9
2.2.4 Tipe Sambungan.....	10
2.2.5 Baja Karbon.....	11
2.2.6 Siklus Thermal Baja Karbon	13
2.2.7 Diagram <i>Continuous Cooling Transformation</i> (CCT)	14
2.2.8 Elektroda.....	15
2.2.9 Masukan Panas	16
2.2.10 Arus	16
2.2.11 <i>Non-Destructive Test</i>	17
2.2.12 <i>Destructive Test</i>	18
2.2.13 Laju Korosi	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27

3.1	Metode Penelitian	27
3.2	Prosedur Penelitian	28
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Analisa Data.....	37
4.1.1	<i>Welding Procedure Specification (WPS)</i>	37
4.1.2	Hasil Pengelasan dan Pengujian <i>Non-Destructive Test</i>	38
4.1.3	Hasil Uji Tarik.....	40
4.1.4	Hasil Uji <i>Impact</i>	42
4.1.5	Hasil Uji Makro Metalografi	44
4.1.6	Hasil Uji Mikro Metalografi.....	46
4.1.7	Hasil Uji Laju Korosi	51
4.2	Pembahasan.....	53
4.2.1	Pembahasan Hasil Uji Tarik	53
4.2.2	Pembahasan Hasil Uji <i>Impact</i>	55
4.2.3	Pembahasan Hasil Uji Makro Metalografi	56
4.2.4	Pembahasan Hasil Uji Mikro Metalografi.....	59
4.2.5	Pembahasan Hasil Uji Laju Korosi	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN		69
	Lampiran A <i>Welding Procedure Specification</i>	69
	Lampiran B <i>NDT Report</i>	71
	Lampiran C Form Uji Tarik, Uji <i>Impact</i> , Uji Makro Metalografi.....	73
	Lampiran D Sertifikat <i>Welder</i>	85
UCAPAN TERIMA KASIH		87
BIODATA PENULIS		89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW	7
Gambar 2.2 Jenis-jenis bentuk kampuh	9
Gambar 2.3 Posisi pengelasan	10
Gambar 2.4 Tipe sambungan pengelasan	11
Gambar 2.5 Diagram Fe-Fe ₃ C	13
Gambar 2.6 Diagram <i>continuous cooling transformation</i> (CCT).....	14
Gambar 2.7 Klasifikasi pengujian tidak merusak	17
Gambar 2.8 Contoh susunan uji radiografi	18
Gambar 2.9 Klasifikasi pengujian merusak	18
Gambar 2.10 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji tarik.....	19
Gambar 2.11 Bentuk spesimen pengujian tarik	20
Gambar 2.12 Skema uji <i>impact</i> metode <i>charpy</i>	21
Gambar 2.13 Konfigurasi spesimen uji <i>impact</i> metode <i>charpy</i>	22
Gambar 2.14 Ilustrasi gambar hasil pengamatan struktur mikro	23
Gambar 2.15 Ilustrasi gambar hasil pengamatan struktur makro	23
Gambar 2.16 Skema sel tiga elektroda.....	26
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	28
Gambar 3.2 Pelat Baja A36 dan SS400	29
Gambar 3.3 Mesin Las SMAW.....	29
Gambar 3.4 Elektroda E7018 diameter 3.2 mm.....	30
Gambar 3.5 Proses pembuatan kampuh las	31
Gambar 3.6 Proses pengelasan.....	31
Gambar 3.7 Proses pembuatan spesimen uji.....	32
Gambar 3.8 Spesimen uji tarik.....	33
Gambar 3.9 Contoh spesimen uji <i>impact</i>	33
Gambar 3.10 Spesimen uji metalografi.....	34
Gambar 3.11 Proses pengujian laju korosi.....	34
Gambar 4.1 Bentuk dan dimensi sambungan pengelasan Spesimen 1, 2 dan 3	38
Gambar 4.2 Hasil pengelasan Spesimen 1, Spesimen 2, Spesimen 3	38
Gambar 4.3 Hasil NDT radiografi Spesimen 1	39
Gambar 4.4 Hasil NDT radiografi Spesimen 2.....	39

Gambar 4.5 Hasil NDT radiografi Spesimen 3.....	40
Gambar 4.6 Spesimen hasil uji tarik Spesimen 1.....	41
Gambar 4.7 Spesimen hasil uji tarik Spesimen 2.....	41
Gambar 4.8 Spesimen hasil uji tarik Spesimen 3.....	42
Gambar 4.9 Hasil uji <i>impact</i> Spesimen 1.....	43
Gambar 4.10 Hasil uji <i>impact</i> Spesimen 2.....	43
Gambar 4.11 Hasil uji <i>impact</i> Spesimen 3.....	44
Gambar 4.12 Spesimen hasil uji makro Spesimen 1.....	45
Gambar 4.13 Spesimen hasil uji makro Spesimen 2.....	45
Gambar 4.14 Spesimen hasil uji makro Spesimen 3.....	46
Gambar 4.15 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada <i>base metal</i> A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x	47
Gambar 4.16 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada HAZ A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x	47
Gambar 4.17 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada <i>weld metal</i> untuk perbesaran 100x dan 500 x	47
Gambar 4.18 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada HAZ baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x	48
Gambar 4.19 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada <i>base metal</i> baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x	48
Gambar 4.20 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada <i>base metal</i> A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x	48
Gambar 4.21 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada HAZ A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x	49
Gambar 4.22 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada <i>weld metal</i> untuk perbesaran 100x dan 500 x	49
Gambar 4.23 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada HAZ baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x	49
Gambar 4.24 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada <i>base metal</i> baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x	49
Gambar 4.25 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada <i>base metal</i> A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x	50

Gambar 4.26 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada HAZ A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x	50
Gambar 4.27 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada <i>weld metal</i> untuk perbesaran 100x dan 500 x	50
Gambar 4.28 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada HAZ baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x	51
Gambar 4.29 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada <i>base metal</i> baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x	51
Gambar 4.30 Grafik tafel hasil pengujian laju korosi variasi <i>heat input</i> 1,08 kJ/mm	52
Gambar 4.31 Grafik tafel hasil pengujian laju korosi variasi <i>heat input</i> 1,26 kJ/mm	52
Gambar 4.32 Grafik tafel hasil pengujian laju korosi variasi <i>heat input</i> 1,44 kJ/mm	53
Gambar 4.33 Nilai <i>yield strength</i> dan <i>ultimate strength</i> pada uji tarik.....	54
Gambar 4.34 Nilai <i>impact energy</i>	55
Gambar 4.35 Ilustrasi <i>weld profile</i>	56
Gambar 4.36 Grafik hasil uji makro pada <i>excess weld metal</i>	56
Gambar 4.37 Grafik hasil uji makro pada <i>excess penetration</i>	57
Gambar 4.38 Grafik hasil uji makro pada <i>width of the weld (face)</i>	57
Gambar 4.39 Grafik hasil uji makro pada <i>width of the weld (root)</i>	58
Gambar 4.40 Hasil pengujian mikro metalografi pada untuk spesimen dengan variasi 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm.....	59
Gambar 4.41 Diagram <i>continuous cooling transformation</i> (CCT).....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja ASTM A36	12
Tabel 2.2 <i>Material properties</i> baja ASTM A36	12
Tabel 2.3 Komposisi kimia baja <i>structural steel</i> 400 (SS400)	13
Tabel 2.4 <i>Material properties</i> baja <i>structural steel</i> 400 (SS400)	13
Tabel 2.5 Klasifikasi Elektroda E7018	15
Tabel 2.6 <i>Material properties</i> Elektroda E-7018.....	15
Tabel 2.7 <i>Chemical composition</i> E-7018.....	16
Tabel 2.8 Hubungan ketebalan pelat dengan arus	16
Tabel 2.9 Dimensi pengujian tarik.....	20
Tabel 2.10 Dimensi pengujian <i>impact</i> metode <i>charpy</i>	22
Tabel 2.11 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi	25
Tabel 4.1 <i>Welding Procedure Specification</i> (WPS)	37
Tabel 4.2 Hasil uji tarik Spesimen 1	41
Tabel 4.3 Hasil uji tarik Spesimen 2.....	41
Tabel 4.4 Hasil uji tarik Spesimen 3.....	42
Tabel 4.5 <i>Impact energy</i> Spesimen 1	43
Tabel 4.6 <i>Impact energy</i> Spesimen 2.....	43
Tabel 4.7 <i>Impact energy</i> Spesimen 3.....	44
Tabel 4.8 Hasil uji makro terhadap <i>discontinuity type</i> pada Spesimen 1	45
Tabel 4.9 Hasil uji makro terhadap <i>discontinuity type</i> pada Spesimen 2	46
Tabel 4.10 Hasil uji makro terhadap <i>discontinuity type</i> pada Spesimen 3	46
Tabel 4.11 Hasil <i>weld profile</i> pada uji makro.....	58
Tabel 4.12 Hasil uji laju korosi.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman yang semakin berkembang ini, perkembangan industri infrastruktur maritim seperti bangunan lepas pantai juga terus mengalami hal yang sama. Dalam melakukan suatu perencanaan dan pelaksanaan proyek industri infrastruktur maritim, tentunya dibutuhkan suatu tahapan-tahapan kegiatan yang tepat dan akurat. Salah satu tahap yang harus diperhatikan adalah pada tahap konstruksi dan fabrikasi. Pada tahap tersebut, terdapat suatu proses yang cukup penting yaitu pengelasan. Pengelasan merupakan salah satu teknik yang paling sering digunakan untuk penyambungan logam. Proses pengelasan dilakukan dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi atau elektroda yang dapat menghasilkan sambungan yang berkelanjutan (Sonawan dan Suratman, 2003). Dari definisi tersebut, pengelasan juga dapat digambarkan sebagai teknik penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).

Dalam perkembangannya, pengelasan memiliki banyak jenis atau metode dengan komponen dan kegunaan yang berbeda-beda disetiap jenisnya. Pengelasan dapat dilakukan dengan beberapa metode : *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), *Submerged Arc Welding* (SAW) dan lain-lainnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). SMAW atau las elektroda terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus. Metode SMAW merupakan metode pengelasan serbaguna karena dapat menggabungkan material dalam berbagai bidang seperti bidang kelautan, pembangunan kapal, otomotif, konstruksi dan industri petrokimia (Alkahla dan Pervaiz, 2017).

Metode ini juga banyak digunakan karena biaya yang cukup murah, mudah untuk digunakan, dan keserbagunaannya serta dapat digunakan di dalam ruangan maupun luar ruangan (Weerasekralage *et al.*, 2019). Terutama dalam perbaikan dan pemeliharaan industri, serta sering digunakan pada konstruksi struktur baja dan industri fabrikasi. SMAW juga banyak digunakan pada pengelasan *stainless steel*, besi ulet, besi cor, baja karbon, baja paduan rendah dan baja paduan tinggi (Patel *et al.*, 2017). Riyadi (2020) pada penelitiannya membandingkan hasil pengealasan FCAW, GTAW, dan SMAW pada baja A36 terhadap uji tarik, uji kekerasan, dan struktur mikro. Didapatkan hasil bahwa metode pengelasan SMAW merupakan metode yang memiliki hasil pengelasan yang nilainya hampir sama dari metode lainnya namun dengan biaya yang paling murah.

Baja karbon rendah merupakan material yang sering digunakan dalam konstruksi kapal. Contoh baja karbon rendah yang biasa digunakan untuk konstruksi bangunan kapal adalah baja ASTM A36 dan baja SS400. Baja SS400 merupakan baja produksi dari Jepang yang sering digunakan untuk struktur baja, konstruksi kapal, jembatan dan lain sebagainya. Sedangkan untuk baja A36 merupakan bahan yang digunakan untuk pembuatan kapal, bangunan lepas pantai, dan industri minyak dan gas (Aragon-Verduzco *et al.*, 2019). Baja karbon rendah memiliki tingkat keuletan dan ketangguhan yang cukup tinggi. Baja karbon rendah memiliki kelebihan yang cukup banyak salah satunya yakni merupakan material baja yang mudah untuk dilas. Hal tersebut dikarenakan baja berkarbon rendah mengandung karbon yang rendah dan juga dapat dilas dengan semua cara pengelasan. Hasil pengelasan juga didapatkan dengan

maksimal jika persyaratan dan persiapan pengelasan dapat dilakukan dengan baik (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000). Selain itu, dengan membuat desain *welding procedure specification* dalam melakukan proses fabrikasi pengelasan, nantinya akan membantu dan memberikan dampak yang lebih pada kualitas produksi tanpa adanya pemborosan dan pengerjaan ulang pada material (Satish dan Jeergi, 2016). Julian *et al.* (2019) pada penelitiannya membahas tentang analisa perbandingan kekuatan tarik pada sambungan las baja SS400 pengelasan MAG dengan variasi arus pengelasan dan media pendingin sebagai material lambung kapal. Munandar (2016) meneliti mengenai analisis pengaruh kuat arus dan kecepatan terhadap distorsi baja SS400 menggunakan las *Tungsten Inert Gas* (TIG).

Kekuatan hasil pengelasan tergantung dari beberapa faktor yang memengaruhi. Salah satu faktor yang memengaruhi kualitas hasil pengelasan adalah terkait dengan besar kecilnya *heat input*. *Heat input* merupakan masukan panas yang terjadi pada material pada saat melakukan pengelasan. beberapa faktor yang memengaruhi terkait dengan kecilnya nilai *heat input* adalah terkait dengan arus listrik, tegangan, dan juga kecepatan pengelasan. Logam yang terdapat pada elektroda akan berpindah ketika elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang akan mengisi sudut logam dasar. Butir-butir tersebut dibawa oleh arus listrik yang mengalir melalui fluks. dan akan menjadi halus ketika *heat input* yang dialirkan cukup tinggi. *Heat input* pada pengelasan memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap hasil pengelasan. Termasuk juga dalam menilai suatu ketangguhan material dan juga sifat-sifat mekaniknya (Popović *et al.*, 2010).

Dalam dunia industri maritim, tentunya salah satu tantangan yang harus dihadapi adalah terkait dengan korosi. Korosi merupakan penurunan kualitas suatu material akibat terjadinya reaksi elektrokimia. Salah satu jenis korosi yang bisa terjadi adalah korosi galvanik. Dimana korosi galvanik yaitu korosi yang sering terjadi apabila ada dua material berbeda jenis dan memiliki perbedaan beda potensial saling kontak dalam suatu larutan elektrolit. Material yang memiliki beda potensial lebih kecil akan menjadi anoda dan akan mengalami korosi lebih cepat (Nejneru *et al.*, 2019). Sehingga pada penelitian ini akan menganalisis terkait dengan nilai laju korosi pada penyambungan dari kedua material yang berbeda yaitu baja A36 dengan baja SS400. Baja SS400 biasanya juga digunakan sebagai alternatif untuk digunakan sebagai pelat kapal jika terdapat permasalahan ketersediaan pelat baja A36. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan menganalisis pengaruh variasi *heat input* terhadap sifat mekanik dan laju korosi pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Pengujian yang dilakukan terhadap hasil pengelasan adalah pengujian sifat mekanik diantaranya adalah uji tarik, uji *impact*, uji metalografi serta uji laju korosi. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi terkait dengan analisis variasi *heat input* terhadap sifat mekanik dan laju korosi pada material yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi *heat input* pada sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400 terhadap nilai kekuatan tarik?
2. Bagaimana pengaruh variasi *heat input* pada sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400 terhadap nilai ketangguhan *impact*?
3. Bagaimana pengaruh variasi *heat input* pada sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400 terhadap uji metalografi?
4. Bagaimana pengaruh variasi *heat input* pada sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400 terhadap laju korosi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dengan variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400.
2. Untuk mendapatkan nilai ketangguhan *impact* dengan variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400.
3. Untuk mendapatkan hasil uji metalografi dengan variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400.
4. Untuk mendapatkan nilai laju korosi dengan variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja A36 dengan baja SS400.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan pengetahuan dan gambaran tentang hasil analisis pengaruh variasi *heat input* pada pengelasan SMAW sambungan pelat baja ASTM A36 dengan baja SS400 terhadap macam-macam pengujian sifat mekanik seperti uji tarik, uji *impact*, uji metalografi serta uji laju korosi. Sehingga diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui parameter yang tepat untuk pengelasan SMAW dengan variasi *heat input* sambungan pelat baja ASTM A36 dengan baja SS400 untuk proses pengelasan konstruksi kapal.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian tugas akhir ini lebih jelas dan terarah, maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Proses pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)
2. Material baja yang digunakan adalah pelat baja ASTM A36 dan baja SS400 dengan tebal 10 mm
3. Posisi pengelasan yang dilakukan yaitu 1G
4. Bentuk sudut kampuh yaitu *single V groove*
5. Elektroda adalah E-7018
6. Variasi *heat input* yaitu 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm
7. Tanpa perlakuan *preheating* dan *postheating*
8. Pengujian yang dilakukan adalah *Non-Destructive Test* (Tes Radiografi), uji tarik, uji *impact*, uji metalografi dan uji laju korosi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengelasan merupakan penyambungan dua pelat atau lebih dengan menggunakan energi panas sampai material yang akan disambung menjadi cair dan kemudian menyatu. Pengelasan sering digunakan dalam proses fabrikasi struktur baja seperti konstruksi teknik sipil, konstruksi pelat kapal, dan lain sebagainya (Kuye dan Faleti, 2010). Untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang diinginkan, terdapat beberapa komponen yang memengaruhi hal tersebut, diantaranya : jenis elektroda, jenis pengelasan, sudut *groove* material, arus listrik, temperatur pemanasan mula dan lain sebagainya.

Penelitian berikut merupakan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang memiliki keterkaitan topik dengan penelitian tugas akhir ini. Riyadi (2020) pada penelitiannya membandingkan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW pada baja A36 terhadap uji tarik, uji kekerasan, dan struktur mikro. Dengan metode perbandingan eksponensial, didapatkan hasil bahwa SMAW memiliki selisih hasil uji mekanik yang tidak berbeda jauh dengan metode lainnya, namun memiliki selisih biaya yang jauh lebih murah dari lainnya. Hakim (2019) melakukan penelitian studi eksperimen pengaruh variasi kombinasi elektroda dan sudut *groove* pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 terhadap uji metalografi, uji tekuk, dan uji *impact*. Variasi yang digunakan adalah Elektroda E-7016 dan E-7018 dan untuk variasi *groove* yang digunakan adalah 65° dan 55°. Didapatkan hasil yaitu untuk pengujian uji tekuk semua spesimen tidak mengalami *open defect* maupun *crack*, sehingga semua spesimen mempunyai sifat ulet. Sedangkan untuk pengujian *impact*, didapatkan nilai ketangguhan terbesar yaitu pada spesimen dengan variasi Elektroda E7018 dengan sudut *groove* 65°. Dan dari pengujian sifat mekanik didapatkan untuk nilai kekuatan tekuk, kekuatan *impact*, panjang HAZ yang terbentuk sebanding.

Yuniarto (2019) melakukan penelitian mengenai pengaruh *heat input* dan debit gas pelindung pada pengelasan FCAW baja BKI *grade* A. Adapun variasi *heat input* yang digunakan adalah 1,19 kJ/mm, 1,32 kJ/mm, dan 1,46 kJ/mm. sedangkan untuk variasi debit gas pelindungnya yaitu 18 l/min, 20 l/min, dan 22 l/min. Untuk hasil pengujian tarik tertinggi yaitu terdapat pada variasi *heat input* 1,46 kJ/mm dan gas pelindung 22 l/min. Pada variasi tersebut juga memiliki lebar HAZ yang terbesar dibanding dengan variasi yang lain. Munandar (2016) menganalisa tentang analisis kuat arus dan kecepatan pengelasan terhadap distorsi baja SS400 menggunakan las *Tungsten Inert Gas* (TIG). Pada penelitian ini digunakan variasi yaitu 60, 70, dan 80 ampere dan kecepatan pengelasan 1,2 ; 1,4 ; 1,8 mm/s. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan hasil nilai distorsi *angular transversal* adalah 1,36 mm dan nilai *angular longitudinal* adalah 1,52 mm pada variasi arus 80 ampere dan dan kecepatan pengelasan 1,2 mm/s. serta didapatkan tegangan sisa adalah yang terbesar yaitu 5524 MPa.

Julian *et al* (2019) menganalisis mengenai perbandingan kekuatan tarik pada sambungan las baja SS400 pengelasan MAG dengan variasi arus pengelasan dan media pendingin sebagai material lambung kapal. Variasi yang digunakan adalah kuat arus sebesar 90 A dan 100 A serta variasi media pendingin *collent*, air, udara terhadap ketahanan terhadap uji tarik. Didapatkan hasil yaitu tegangan tarik tertinggi bernilai 409 MPa terjadi pada variasi pendingin air laut dengan kuat arus yaitu 90 A dan 100 A. Ziva (2017) pada penelitiannya menganalisis mengenai analisis perbandingan variasi elektroda pada pengelasan darat dan bawah air laut pada penyambungan pelat baja ASTM A36. Untuk variasi yang digunakan yaitu Elektroda E6013

dan E6010. Untuk hasil pengelasan bawah air, didapatkan bahwa spesimen tersebut memiliki sifat yang lebih getas dan keras dibandingkan dengan pengelasan didarat. Untuk hasil uji *impact* pada pengelasan bawah air menunjukkan Elektroda E6013 yaitu bernilai sebesar 0,947 J/mm² dan pada Elektroda E6010 yaitu sebesar 0,832 J/mm². Sedangkan untuk pengelasan darat, hasil uji *impact* menunjukkan untuk Elektroda E6013 yaitu bernilai sebesar 1,213 J/mm² dan pada Elektroda E6010 yaitu sebesar 1,383 J/mm².

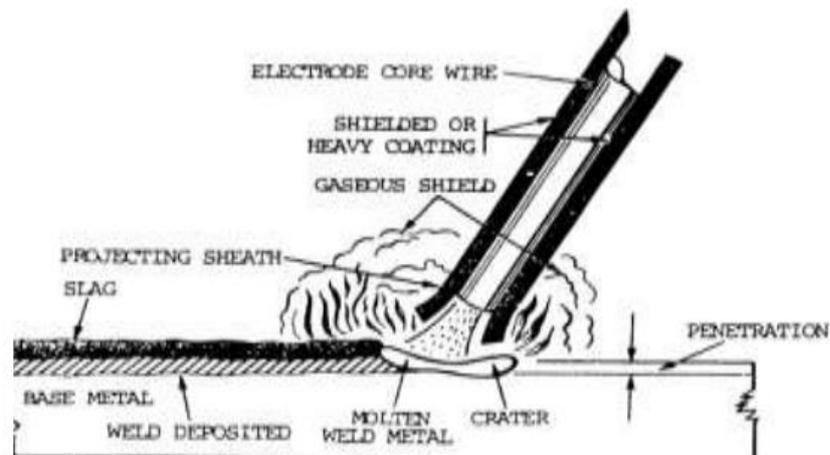
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan SMAW

Pengelasan adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinyu. Berdasarkan *Deitche Industrie Normen* (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).

Pengertian *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya aliran listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan adalah selaput fluks yang terdapat pada elektroda. Pengelasan SMAW merupakan pengelasan yang menggunakan elektroda logam yang dilapisi dengan fluks yang dapat menghantarkan listrik. Fluks berfungsi untuk melindungi logam dan akan mengeluarkan sejenis uap sebagai gas pelindung selama proses pengelasan untuk menghindari adanya kontaminasi dari udara luar (Kamra *et al.*, 2015).

SMAW atau las elektroda terbungkus merupakan suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus. Metode ini banyak digunakan karena biaya yang murah, keserbagunaannya, dan dapat digunakan di dalam ruangan maupun luar ruangan (Weerasekralage *et al.*, 2019). Berikut merupakan Gambar 2.1 mengenai proses pengelasan SMAW.



Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW (Parmar dan Dubey, 2017)

Pada pengelasan SMAW, jika menggunakan arus listrik yang cukup besar maka butiran logam akan lebih mudah mencair dibandingkan dengan arus yang rendah. Tentunya ini sangat memengaruhi dari kualitas pengelasan. Selama proses pengelasan, fluks yang melapisi elektroda yang digunakan untuk pengelasan akan mencair dan mengisi kampuh las dengan logam cair yang berasal dari elektroda induk, kemudian membentuk kawah cair dan membeku. Maka terjadilah logam lasan (*weldment*) dan terak (*slag*).

2.2.2 Bentuk Kampuh

Kampuh las merupakan salah satu hal yang terpenting dalam proses pengelasan. Kampuh las akan membentuk bentuk tertentu yang nantinya akan digunakan untuk proses pencairan logam pengisi las atau elektroda. Bentuk dan ukuran sudut kampuh memiliki banyak jenis. Hal tersebut dikarenakan akan disesuaikan dengan kebutuhan dan prosedur pengelasan yang digunakan. Oleh karena itu, terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan ketika menentukan ukuran atau bentuk dari sudut kampuh tersebut, diantaranya adalah :

- a. Tipe sambungan
- b. Posisi pengelasan
- c. Ketebalan material
- d. Kekuatan hasil pengelasan yang diinginkan

Terdapat beberapa contoh mengenai bentuk kampuh las diantaranya adalah bentuk kampuh V, kampuh U, kampuh X dan lain sebagainya. Untuk lebih jelasnya akan dipaparkan pada Gambar 2.2.

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

Gambar 2.2 Jenis-jenis bentuk kampuh (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

2.2.3 Posisi Pengelasan

Dalam proses pengelasan, terdapat beberapa jenis posisi pengelasan yang berbeda-beda. Tentunya hal ini menyesuaikan dengan kebutuhan yang berada dilapangan. Posisi pengelasan dapat diatur dan disesuaikan dengan letak dan sambungan material benda kerja. Berdasarkan *American Welding Specification (AWS)* terdapat beberapa posisi pengelasan diantaranya adalah :

1. Posisi datar (1G)

Posisi ini merupakan posisi yang mudah dan cukup sering digunakan. Posisi ini dilakukan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las menghadap ke atas. Posisi ini juga biasa disebut posisi bawah tangan (*downhand position*).

2. Posisi horizontal (2G)

Posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal namun muka las tidak menghadap ke atas. Posisi benda kerja biasanya berposisi horizontal atau agak

sedikit miring sedikit dari arah elektroda las. Posisi ini sering digunakan untuk pengelasan benda-benda seperti pengelasan badan kapal arah horizontal.

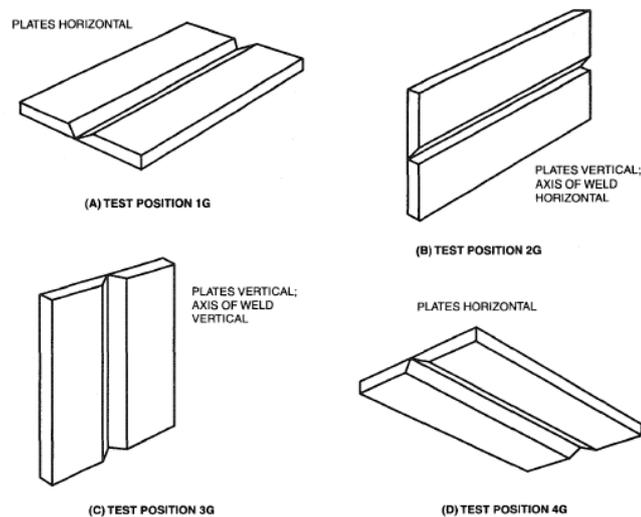
3. Posisi vertikal (3G)

Posisi pengelasan dengan arah pengelasan tegak (ke atas atau ke bawah). Posisi ini hampir sama dengan posisi horizontal, namun material berada pada posisi tegak vertikal.

4. Posisi di atas kepala (4G)

Posisi pengelasan berada pada bidang horizontal tetapi muka las menghadap ke bawah dan letak benda kerja berada di kepala *welder*. Posisi memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi dibanding dengan posisi-posisi pengelasan yang lain. Posisi ini juga sering disebut *overhead position*.

Berikut merupakan Gambar 2.3 mengenai posisi pengelasan :



Gambar 2.3 Posisi pengelasan (AWS D1.1, 2000)

2.2.4 Tipe Sambungan

Pengelasan merupakan penyambungan dua pelat logam atau lebih melalui energi panas. Dalam proses penyambungannya, terdapat beberapa jenis tipe sambungan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Berikut merupakan contoh tipe sambungan :

1. Sambungan temu (*butt joint*)

Jenis sambungan ini biasanya digunakan untuk penyambungan pelat-pelat datar yang memiliki ketebalan yang sama atau hampir sama. Pada sambungan ini pada ujung-ujung pelat yang akan disambung biasanya dibentuk kampuh seperti kampuh V, kampuh U dan lain sebagainya agar memudahkan saat pengelasan.

2. Sambungan T (*T-joint*)

Sambungan *T-joint* merupakan sambungan yang salah satu material benda kerjanya berposisi tegak dan material yang lain berposisi tegak lurus dengannya sehingga akan membentuk huruf T.

3. Sambungan sudut (*corner joint*)

Sambungan sudut merupakan jenis sambungan yang membentuk sudut siku-siku antara dua bagian logam dan membentuk huruf L. Sambungan ini biasa digunakan pada konstruksi yang berbentuk kotak, dan rangka kotak.

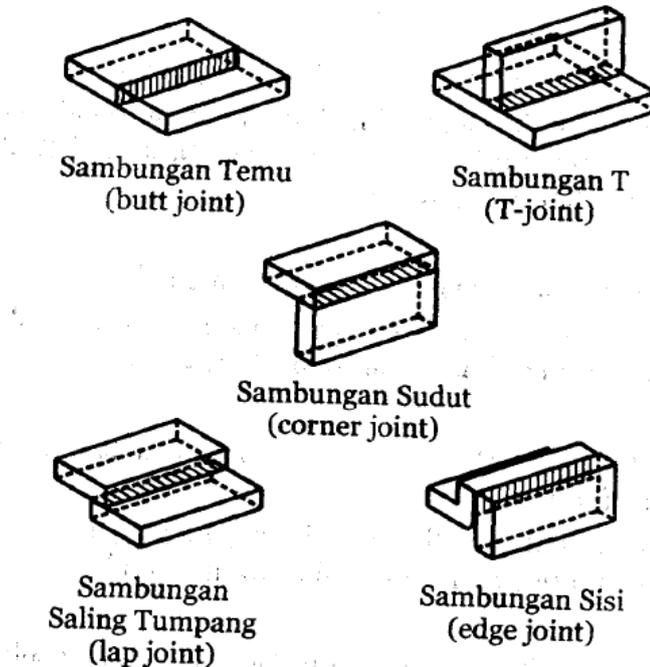
4. Sambungan saling tumpang (*lap joint*)

Sambungan saling tumpang bisa digunakan untuk menyatukan dua bagian pelat yang biasanya memiliki ketebalan berbeda. Posisi benda kerja saling tumpang satu dengan yang lainnya.

5. Sambungan sisi (*edge joint*)

Sambungan ini dilakukan dimana benda kerja memiliki posisi yang sejajar satu sama lain dan salah satu ujung dari kedua benda kerja tersebut berada pada tingkat yang sama.

Berikut merupakan Gambar 2.4 mengenai tipe-tipe sambungan pengelasan :



Gambar 2.4 Tipe sambungan pengelasan (Sonawan dan Suratman, 2003)

2.2.5 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan logam berbasis besi yang mengandung unsur karbon kurang dari 2%. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan adalah mangan, fosfor dan lain-lain. Namun dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa elemen tambahan utama pada logam yang berbasis besi ini adalah karbon. Karbon merupakan unsur yang dapat menambah kekuatan dalam baja. Sehingga akan terjadi perbedaan pada kekuatan, kekerasan, dan keuletannya ketika mengandung unsur karbon (Gandy, 2007). Baja karbon juga merupakan salah satu material yang paling sering digunakan dalam suatu konstruksi bangunan laut. Hal tersebut dikarenakan baja karbon memiliki tingkat keuletan dan kakuatan yang cukup baik. Selain itu, baja karbon rendah memiliki tingkat *weldability* atau tingkat kemampuan pengelasan yang sangat baik (*excellent*) dibandingkan dengan logam-logam lainnya.

2.2.5.1 Jenis Baja Karbon

Baja karbon memiliki kandungan karbon yang cukup bervariasi. Berikut merupakan jenis-jenis baja karbon berdasarkan tingkat kandungan karbon dalam baja tersebut yaitu :

- Baja karbon rendah

Pada jenis baja karbon rendah ini, kandungan karbon berkisar antara 0,1% - 0,3%. Dengan sifat baja karbon yang ulet dan cukup lunak, maka baja ini cukup mudah untuk pengelasan. Struktur dari baja karbon rendah ini memiliki lebih banyak *ferrite* dan sedikit *pearlite*.

- Baja karbon sedang

Merupakan jenis baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,3% - 0,6%. Dengan meningkatnya jumlah karbon pada baja ini, membuat baja ini lebih responsif terhadap berbagai proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Beberapa contoh penggunaan baja berkarbon sedang ini adalah bisa digunakan untuk komponen mesin.

- Baja karbon tinggi

Kandungan baja karbon tinggi adalah berkisar lebih dari 0,8%. Tingkat kekerasan dan kekuatannya lebih tinggi dari jenis baja karbon rendah dan baja karbon sedang. Sehingga tingkat keuletan pada baja ini juga semakin menurun. Baja karbon tinggi biasanya digunakan untuk baja perkakas dan alat potong yang dapat dikeraskan.

2.2.5.2 Baja ASTM A36

Material baja ASTM A36 merupakan baja dengan kandungan karbon rendah. Sehingga memiliki kemampuan mudah dilas dan cukup banyak di aplikasikan dalam sebuah konstruksi, seperti untuk pelat kapal, bangunan lepas pantai, dan sejenisnya. Berikut merupakan Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 untuk komposisi dan *material properties* dari baja ASTM A36 :

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja ASTM A36 (ASTM A36, 2008)

<i>Composition</i>	<i>ASTM A36, max. %</i>
<i>Carbon, (C)</i>	<i>Max 0,25%</i>
<i>Silica (Si)</i>	<i>Max 0,4 %</i>
<i>Manganese (Mn)</i>	-
<i>Phosphorus (P)</i>	<i>Max 0,04%</i>
<i>Sulfur (S)</i>	<i>Max 0,05%</i>
<i>Copper (Cu)</i>	<i>Max 0,2 %</i>

Tabel 2.2 *Material properties* baja ASTM A36 (ASTM A36, 2008)

<i>Properties</i>	Nilai
<i>Tensile Strength, min, psi (MPa)</i>	58000 (400)
<i>Yield Strength, min, psi (MPa)</i>	36000 (250)

2.2.5.3 Baja *Structural Steel 400 (SS400)*

Baja *structural steel 400 (SS400)* merupakan salah satu jenis baja karbon rendah yang diproduksi oleh Jepang dan memiliki kandungan baja karbon di bawah 0,3 %. Baja karbon ini sering digunakan untuk konstruksi baja, jembatan, konstruksi kapal dan sejenisnya. Untuk komposisi kimia dan *material properties* dari baja *structural steel SS400* dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Komposisi kimia baja *structural steel 400 (SS400)* (JIS G3101, 2015)

<i>Composition</i>	SS400 (max, %)
<i>Carbon</i>	0,3 %
<i>Manganese</i>	-
<i>Phosporus</i>	0.05 %
<i>Sulfur</i>	0.05 %

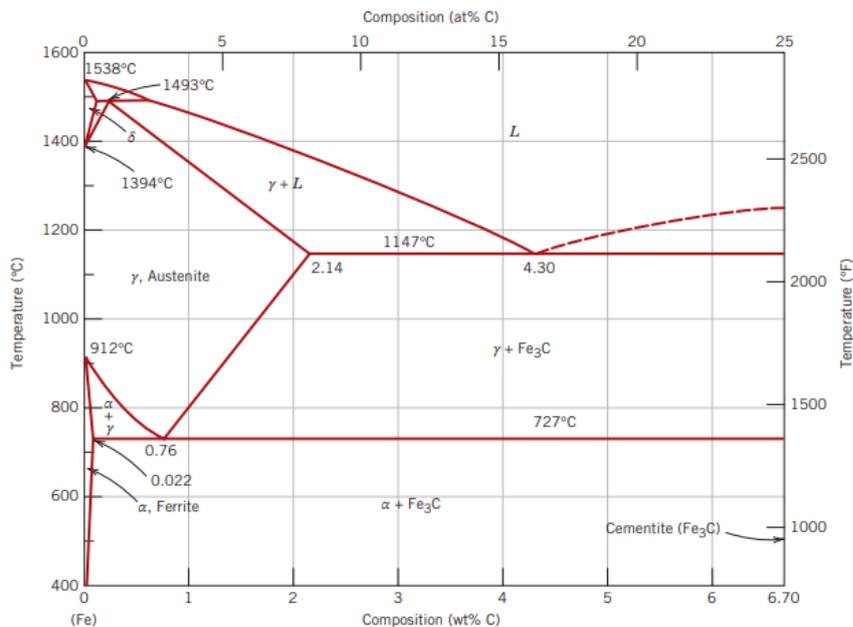
Tabel 2.4 *Material properties* baja *structural steel 400 (SS400)* (JIS G3101, 2015)

<i>Properties</i>	SS400 (MPa)
<i>Tensile Strength, min, (MPa)</i>	400
<i>Yield Strength, min, (MPa)</i>	235-245

Dari nilai kekuatan *yield strength* dan *tensile strength* di atas, baja antara baja ASTM A36 dengan baja JIS G3101 SS400 memiliki nilai yang hampir sama, sehingga perusahaan galangan kapal biasanya menggunakan material tersebut untuk menggantikan material yang lain ketika terjadi permasalahan ketersediaan pelat atau alasan tertentu lainnya.

2.2.6 Siklus Thermal Baja Karbon

Siklus thermal pada baja karbon merupakan proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi ketika melakukan proses pengelasan pada material. Untuk mengetahui proses siklus thermal pada baja karbon, dapat dilihat pada Gambar 2.5 mengenai diagram Fe-Fe₃C.

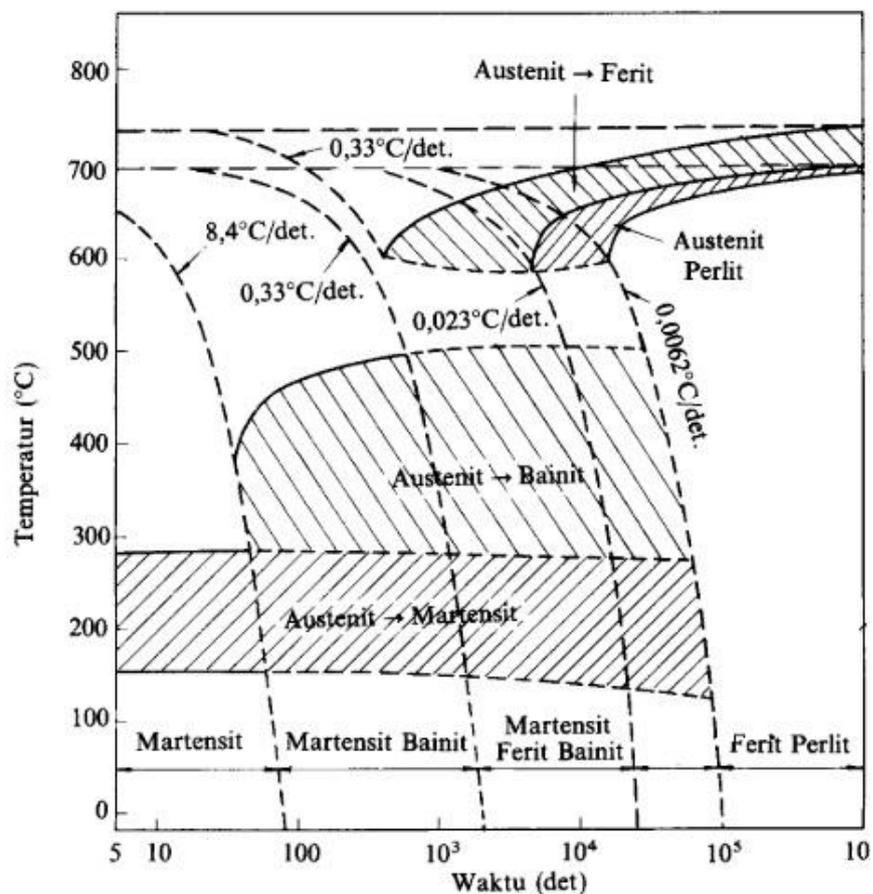


Gambar 2.5 Diagram Fe-Fe₃C (Callister Jr dan Rethwisch, 2018)

Baja karbon merupakan baja paduan antara besi (Fe) sebagai unsur utama dan karbon (C) sebagai unsur tambahan. Dari diagram tersebut akan didapatkan hubungan antara kandungan karbon, suhu yang terjadi saat pengelasan, dan juga fase-fase yang terjadi. Dari diagram Fe-Fe₃C dapat diperoleh beberapa fase yang terjadi, yaitu *austenite*, *ferrite* dan *pearlite*. Setelah dilakukan proses pengelasan, maka fase yang terjadi adalah sepenuhnya fasa *austenite*. Kemudian pada suhu yang lebih rendah, akan tumbuh butir-butir *ferrite* pada batas butir *austenite*. Sehingga akan terdapat dua fasa yaitu fasa *ferrite* dan *austenite*. Kemudian pada suhu tertentu, fasa *austenite* akan berubah menjadi fasa *pearlite*. Fasa *pearlite* terdiri dari dua fasa yaitu *ferrite* dan juga *cementite* (Fe₃C) yang memiliki sifat yang lebih keras.

2.2.7 Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT)

Diagram *continuous cooling transformation* (CCT) merupakan diagram yang menampilkan hubungan laju pendinginan yang berkelanjutan dengan fasa atau stuktur mikro yang terbentuk setelah terjadi perubahan atau transformasi fasa. Dengan menggunakan diagram tersebut, maka akan membantu dalam melaksanakan perencanaan panas suatu baja atau material yang lain. Selain itu, dari diagram tersebut dapat bisa digunakan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang diharapkan. Dengan adanya perbedaan laju pendinginan dari material maka tentunya akan didapatkan fasa-fasa yang berbeda. Contoh beberapa fasa yang terjadi adalah *pearlite*, *martensite*, *ferrite* dan *bainit*. Dari fasa-fasa tersebut, setiap fasa tentunya memiliki sifat yang berbeda-beda. Gambar 2.6 merupakan gambar dari diagram CCT.



Gambar 2.6 Diagram *continuous cooling transformation* (CCT) (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

2.2.8 Elektroda

Elektroda merupakan suatu material yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik yang berfungsi sebagai pengalir listrik dari sumber listrik untuk mencairkan logam induk (*base metal*). Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian berselaput (fluks) dan tidak berselaput. Fungsi dari fluks merupakan untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, serta menstabilkan busur. Pada Elektroda E-7018 jenis fluks yang digunakan adalah hidrogen rendah. Jenis fluks ini akan menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan retak sangat rendah dan untuk ketangguhannya juga cukup baik. Standarisasi elektroda dalam *American Welding Society* (AWS) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan, dan kekuatan tarik yang dinyatakan dengan tanda E-X₁X₂X₃X₄, yang dapat dilihat pada Tabel 2.5, Tabel 2.6, dan Tabel 2.7.

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- X₁X₂ : Dua angka setelah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X₃ : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, dimana :
 - a. Angka 1 untuk posisi pengelasan *flat, vertical, horizontal, dan overhead*
 - b. Angka 2 untuk posisi pengelasan *flat dan horizontal*
 - c. Angka 4 untuk posisi pengelasan *flat, vertical-down, horizontal, dan overhead*
- X₄ : Angka keempat menyatakan jenis kandungan fluks yang digunakan untuk pengelasan.

Tabel 2.5 Klasifikasi Elektroda E-7018 (AWS A5.1, 2012)

<i>AWS Classification</i>	<i>Type of Covering</i>	<i>Welding Position</i>	<i>Type of Current</i>
E7018	<i>Low hydrogen potassium, iron powder</i>	<i>Flat Horizontal Vertical Overhead</i>	<i>ac or dcep</i>

Tabel 2.6 *Material properties* Elektroda E-7018 (AWS A5.1, 2012)

<i>AWS Classification</i>	<i>Type of Covering</i>	<i>Tensile Strength</i>		<i>Yield Strength</i>		<i>Elongation</i>
		<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>	<i>Mpa</i>	
E7018	<i>Low hydrogen potassium, iron powder</i>	70	490	58	400	22

Tabel 2.7 Chemical Composition E-7018 (AWS A5.1, 2012)

AWS Classification	Weight Percent (%)									
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Combined Limit for Mn+Ni+ Cr+Mo+V
E7018	0.15	1.6	0.75	0.035	0.035	0.3	0.2	0.3	0.08	1.75

2.2.9 Masukan Panas

Masukan panas atau yang biasa disebut *heat input* adalah energi panas yang dimasukkan ke dalam logam melalui elektroda. *Heat input* terdiri dari tiga parameter yaitu arus pengelasan, tegangan pengelasan, dan kecepatan pengelasan. Perhitungan masukan panas pada pengelasan dapat dituliskan menggunakan persamaan berikut (ASME Section IX, 2019) :

$$Heat\ Input = \frac{Voltage \times Amperage \times 60}{Travel\ Speed} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- Heat Input* : Masukan panas (J/mm)
- Voltage* : Tegangan pengelasan (V)
- Amperage* : Arus pengelasan (A)
- Travel Speed* : Kecepatan pengelasan (mm/min)

2.2.10 Arus

Arus listrik pada pengelasan merupakan besarnya aliran listrik yang keluar dari mesin pengelasan. Arus pada pengelasan biasanya disebutkan dengan simbol A dan memiliki satuan *amperage*. Arus memiliki pengaruh yang cukup besar pada kekuatan hasil pengelasan. Jumlah masukan panas yang diberikan selama pengelasan tergantung pada arus dan ukuran dari elektroda yang digunakan (Rohit Jha, 2014). Besar dan kecilnya suatu arus pengelasan juga memiliki keterkaitan dengan ketebalan pelat yang akan dilas. Berikut merupakan Tabel 2.8 mengenai klasifikasi hubungan antara tebal pelat dan rekomendasi arus yang digunakan pada pengelasan SMAW.

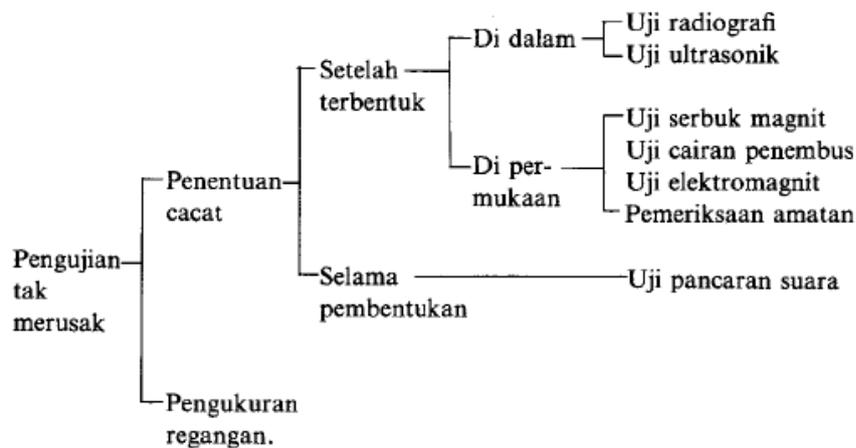
Tabel 2.8 Hubungan ketebalan pelat dengan arus (Soy et al., 2011)

Work piece thickness (S)	Welding current (I : Ampere)	State of welding
S ≤ 3	0 < I < 90	<i>Electrode will stick to material</i>
	60 < I < 90	<i>Ideal welding</i>
	90 < I < 250	<i>Melting and distortion will gradually occur in material</i>
3 < S ≤ 8	0 < I ≤ 60	<i>Electrode will stick to material</i>
	60 < I ≤ 80	<i>Insufficient penetration</i>
	80 < I ≤ 110	<i>Ideal welding</i>
	110 < I < 350	<i>Melting and distortion will gradually occur in material</i>

8 < S ≤ 20	0 < I ≤ 60	<i>Electrode will stick to material</i>
	60 < I ≤ 90	<i>Insufficient penetration</i>
	90 < I ≤ 130	<i>Ideal welding</i>
	130 < I < 350	<i>Melting and distortion will gradually occur in material</i>
S > 20	0 < I ≤ 80	<i>Electrode will stick to material</i>
	80 < I ≤ 120	<i>Insufficient penetration</i>
	120 < I ≤ 150	<i>Ideal welding</i>
	150 < I < 350	<i>Melting and distortion will gradually occur in material</i>

2.2.11 Non-Destructive Test

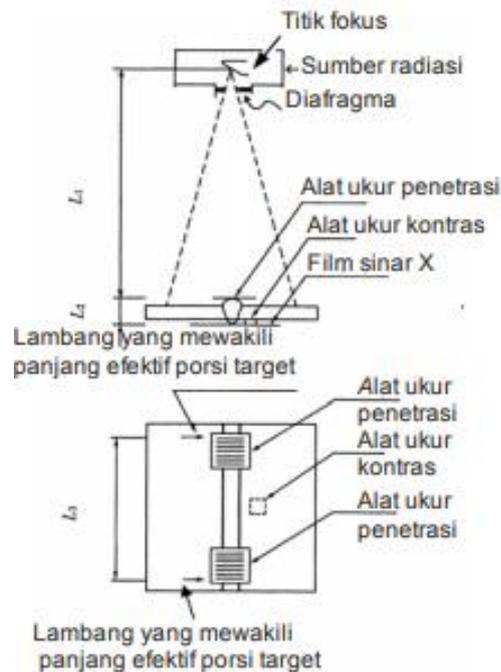
Pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test/NDT*) merupakan suatu teknik pengujian material tanpa merusak untuk benda yang diuji. Pengujian ini dilakukan untuk menjaga material yang sedang digunakan masih aman untuk digunakan dan tidak mengalami kerusakan. Tujuan dari pengujian NDT ini adalah untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat las baik cacat dalam maupun cacat luar dari hasil pengelasan pada material yang diuji. Beberapa contoh klasifikasi mengenai pengujian tidak merusak dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Klasifikasi pengujian tidak merusak (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

2.2.11.1 Uji Radiografi

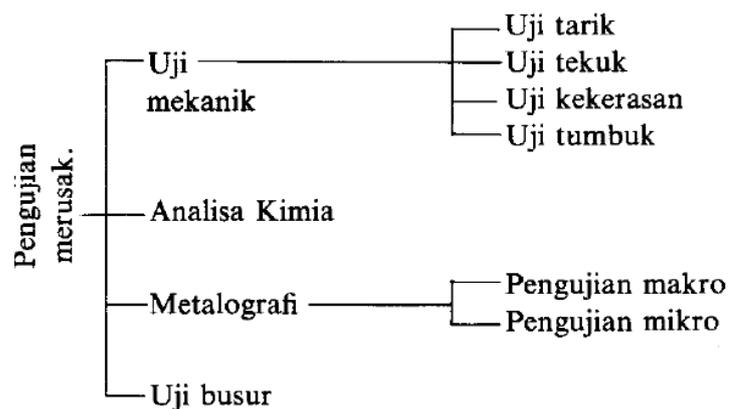
Pengujian radiografi merupakan salah satu jenis dari *Non Destructive Test* (NDT). Radiografi adalah salah satu uji tak merusak yang menggunakan sinar x yang mampu menembus hampir semua logam sehingga dapat digunakan untuk mengungkap cacat atau ketidaksesuaian di balik dinding metal atau di dalam bahan itu sendiri. Radiografi menggunakan kemampuan radiasi sinar x untuk menembus langsung pada material. Hasil penyinaran dan penembusan sinar dapat diukur dengan penatrameter. Metode uji radiografi secara langsung merupakan metode yang paling mudah dan sering digunakan. Metode dilakukan dengan cara gambar akan difoto radiografi secara langsung ke lembaran film sinar X yang berfungsi sebagai media cetak untuk hasil uji radiografi (Hery dan Sunaryo, 2013). Untuk susunan uji radiografi terdapat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Contoh susunan uji radiografi (Hery dan Sunaryo, 2013)

2.2.12 Destructive Test

Pengujian merusak (*Destructive Test*) merupakan jenis pengujian material yang dilakukan pada sambungan las dengan cara merusak spesimen tersebut. Tujuan dari pengujian merusak ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material yang diuji. Sifat mekanik yaitu kemampuan suatu material dalam menahan beban mekanik. Gambar 2.9 merupakan klasifikasi dari pengujian merusak.

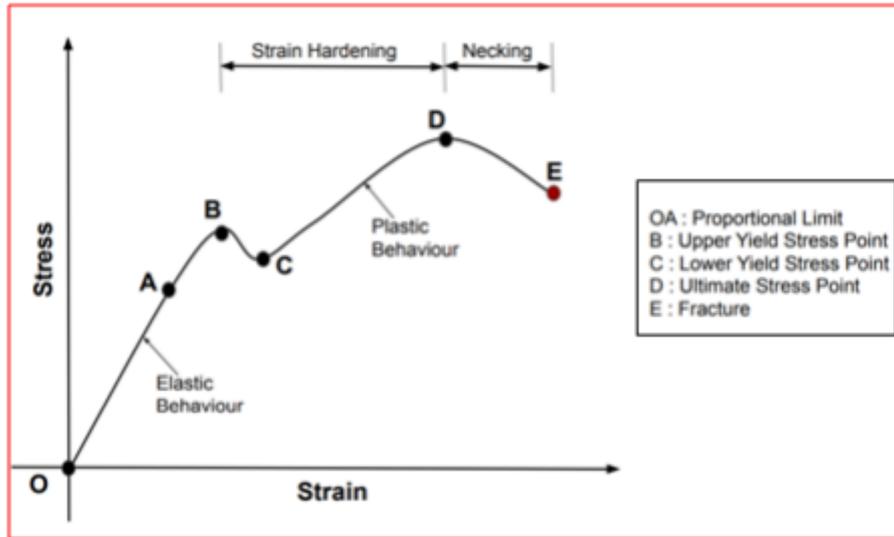


Gambar 2.9 Klasifikasi pengujian merusak (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

2.2.12.1 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian merusak yang digunakan untuk menguji kualitas sambungan hasil pengelasan. Pengujian dilakukan dengan cara menjepit ujung-ujung spesimen menggunakan alat penguji, kemudian ditarik dengan menggunakan beban tarik secara perlahan-lahan hingga spesimen tersebut mengalami patah atau *fracture*. Pengujian tarik bertujuan untuk memperoleh kurva hubungan tegangan dan regangan dari material tersebut selama pengujian

uji tarik. Kurva tersebut akan menggambarkan kekuatan material tersebut (Murugan, 2020). Gambar 2.10 merupakan contoh grafik hasil pengujian tarik.



Gambar 2.10 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji tarik (Murugan, 2020)

Nilai regangan dan tegangan dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Hery dan Sunaryo, 2013) :

- Persamaan tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right) (MPa) \dots \dots \dots (2.2)$$

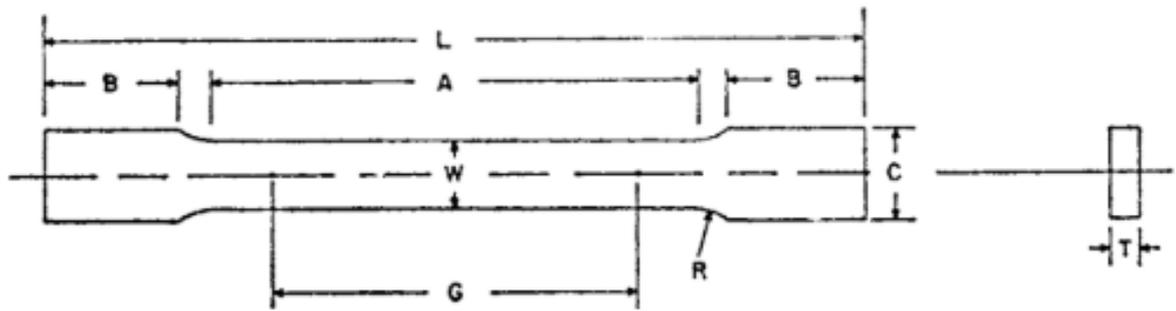
- Persamaan regangan

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

- σ : Tegangan (N/mm²) (MPa)
- P : Beban (kN)
- A : Luas penampang spesimen (mm)
- ε : Regangan (%)
- L : Panjang akhir spesimen (mm)
- Lo : Panjang awal spesimen (mm)

Dalam melakukan proses pengujian tarik ini agar lebih jelas dan terarah, maka digunakan *codes* yang dapat dijadikan acuan pengujian. Adapun acuan *codes* yang dapat digunakan pada pengujian tarik ini adalah ASME Section IX dan ASTM E8. Gambar 2.11 dan Tabel 2.9 merupakan penjelasan mengenai bentuk serta dimensi untuk pengujian tarik.



Gambar 2.11 Bentuk spesimen pengujian tarik (ASTM E8, 2013)

Tabel 2.9 Dimensi pengujian tarik (ASTM E8, 2013)

<i>Dimensions</i>			
	<i>Standard Specimens</i>		<i>Subsize Specimen</i>
	<i>Plate-Type, 40 mm</i>	<i>Sheet-Type, 12.5 mm</i>	6mm
	[1.500 in.] Wide	[0.500 in.] Wide	[0.25 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
<i>G-Gauge Length</i>	200.0±0.2	50±0.1	25±0.1
	[8±0.01]	[2±0.005]	[1±0.003]
<i>W-Width</i>	40.0±2.0	12.5±0.2	6±0.1
	[1.500±0.125, -0.250]	[0.5±0.01]	[0.25±0.005]
<i>T-Thickness</i>	<i>thickness of material</i>		
<i>R-Radius of fillet, min</i>	25 [1]	12.5 [0.5]	6 [0.25]
<i>L-Overall Length</i>	450 [18]	200 [8]	100[4]
<i>A-Length of reduced section</i>	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
<i>B-Length of grip section</i>	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
<i>C-Width of grip section, approximate</i>	50 [2]	20 [0.75]	10 [0.375]

2.2.12.2 Uji Impact

Uji *impact* merupakan suatu pengujian merusak yang dilakukan dengan cara mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Tujuan dari pengujian *impact* ini adalah untuk mengukur tingkat ketangguhan material terhadap beban yang diberikan secara tiba-tiba. Uji *impact* merupakan sebuah metode yang sangat baik untuk mengukur ketangguhan takik suatu material secara sederhana (Kobayashi, 2002). Ketika beban menumbuk spesimen uji pada uji *impact*, terdapat proses penyerapan energi pada spesimen uji yaitu energi potensial. Energi yang diserap merupakan ukuran ketangguhan spesimen uji.

Energi yang diserap oleh spesimen uji merupakan usaha yang dilakukan oleh pendulum ketika menghantam spesimen uji. Untuk perhitungan energi yang diserap oleh spesimen dapat dituliskan pada rumus sebagai berikut (Handoyo, 2013) :

Energi terserap (*Joule*)

$$= E_p - E_m$$

$$= mgh_1 - mgh_2$$

$$= mg(h_1 - h_2)$$

$$= mg(\lambda(1 - \cos \alpha) - \lambda(1 - \cos \beta))$$

$$= mg\lambda(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (Joule)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dari persamaan rumus di atas, akan didapatkan besar harga nilai *impact* dengan menggunakan persamaan di bawah :

$$K = \frac{w}{A} \left(\frac{J}{mm^2} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

E_p : energi potensial (Joule)

E_m : energi mekanik (Joule)

m : berat pendulum (kg)

g : gravitasi (m/s^2)

h_1 : jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

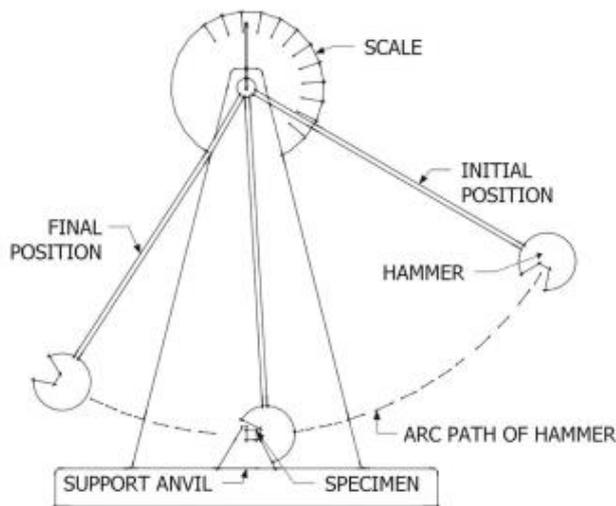
h_2 : jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

λ : jarak lengan pengayun (m)

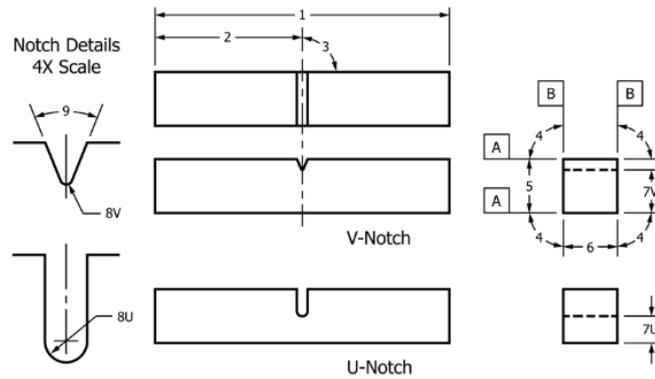
$\cos \alpha$: sudut posisi awal pendulum ($^\circ$)

$\cos \beta$: sudut posisi akhir pendulum ($^\circ$)

Secara umum, uji *impact* terdiri dari dua jenis, yaitu Metode *Charpy* dan *Izod*. Pada penelitian ini akan digunakan metode *charpy*. Metode ini juga dikenal dengan metode *V-notch*. Gambar 2.12, Gambar 2.13 dan Tabel 2.10 merupakan ilustrasi dan bentuk spesimen dari uji *impact* dengan metode *charpy*.



Gambar 2.12 Skema uji *impact* metode *charpy* (Thomas dan Sorensen, 2018)



Gambar 2.13 Konfigurasi spesimen uji *impact* metode *charpy* (ASTM E23, 2016)

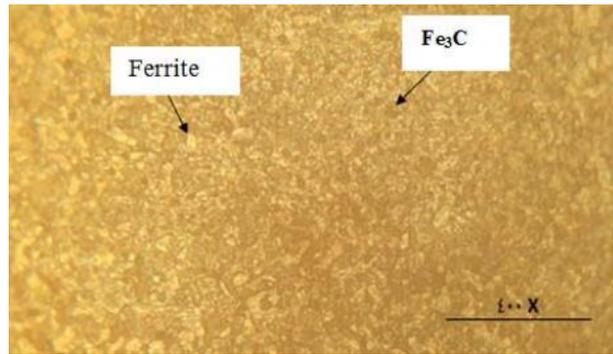
Tabel 2.10 Dimensi pengujian *impact* metode *charpy* (ASTM E23, 2016)

<i>ID Number</i>	<i>Description</i>	<i>Dimension</i>	<i>Tolerance</i>
1	<i>Length of specimen</i>	55 mm	0/-2.5 mm
2	<i>Centering of notch</i>		±1 mm
3	<i>Notch length to edge</i>	90 °	±2°
4	<i>Adjacent sides angle</i>	90 °	±0.17°
5	<i>Width</i>	10 mm	±0.075
6	<i>Thickness</i>	10 mm	±0.075
7V	<i>Ligament length, Type V</i>	8 mm	±0.025
7U	<i>Ligament length, Type U</i>	5 mm	±0.075
8V	<i>Radius of notch, Type V</i>	0.25	±0.025
8U	<i>Radius of notch, Type U</i>	1 mm	±0.025
9	<i>Angle of notch</i>	45 °	±1°
A	<i>Surface finish requirements</i>	2 μm (Ra)	≤
B	<i>Surface finish requirements</i>	2 μm (Ra)	≤

2.2.12.3 Uji Metalografi

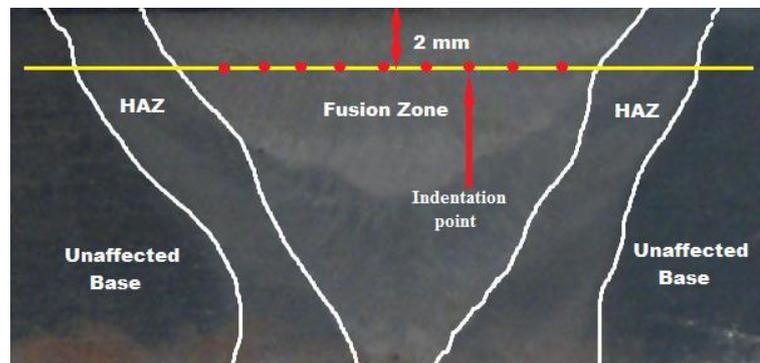
Uji metalografi merupakan salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui struktur logam dengan menggunakan alat bantu kamera maupun mikroskop. Alat bantu mikroskop tersebut biasanya memanfaatkan lensa optis. Pada uji metalografi memiliki dua jenis, yaitu pengujian mikro dan pengujian makro.

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, akan didapatkan fase-fase pada logam, bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Pada pengujian mikro metalografi ini akan dibantu menggunakan mikroskop. Gambar 2.14 merupakan contoh hasil pengujian mikro metalografi.



Gambar 2.14 Ilustrasi gambar hasil pengamatan struktur mikro (Dastan dan Khalaf, 2018)

Pengujian makro ialah proses pengujian bahan menggunakan mata terbuka dengan bantuan kamera yang bertujuan untuk memeriksa celah atau cacat las dalam permukaan bahan. Selain itu, pengujian makro juga bertujuan untuk mengamati daerah hasil pengelasan, yaitu pengukuran dimensi *weld metal*. Gambar 2.15 merupakan contoh hasil pengujian makro metalografi.



Gambar 2.15 Ilustrasi gambar hasil pengamatan struktur makro (Biswas *et al.*, 2015)

2.2.13 Laju Korosi

Korosi merupakan proses degradasi atau penurunan kualitas material, baik logam maupun non-logam yang terjadi dikarenakan adanya reaksi reduksi oksidasi antara logam dengan lingkungannya. Menurut Fontana (1987) korosi merupakan penurunan kualitas logam antara logam dengan lingkungan sekitarnya yang disebabkan karena adanya reaksi elektrokimia. Pengaruh kondisi lingkungan yang paling memengaruhi terjadinya korosi adalah udara dan air. Proses elektrokimia dapat diartikan sebagai rangkaian pemisahan muatan yang terjadi didalam media cair seperti larutan. Adanya reaksi reduksi dan oksidasi mengakibatkan adanya transfer elektron di dalamnya. Terdapat beberapa syarat agar suatu material dapat mengalami korosi :

- Anoda

Pada anoda terjadi proses yang disebut anodik. Pada proses anodic akan terjadi reaksi oksidasi yang merupakan peristiwa pelepasan electron dari sebuah molekul, atom atau ion. Anode dalam korosi memiliki kutub negatif. Contoh reaksi oksidasi adalah sebagai berikut :

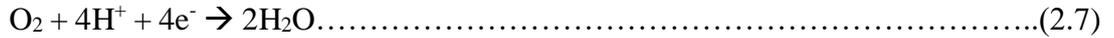
(Fe melepaskan 2 elektron dalam proses oksidasi)



- Katoda

Pada katoda terjadi proses yang disebut katodik. Pada proses katodik akan terjadi reaksi reduksi yang merupakan peristiwa penambahan electron dari sebuah molekul, atom atau ion. Katode dalam korosi memiliki kutub positif. Contoh reaksi reduksi adalah sebagai berikut :

(Reaksi reduksi oksigen dalam kondisi asam)



(Reaksi reduksi oksigen dalam kondisi basa)



- Elektrolit

Merupakan media yang berhubungan dengan permukaan logam baik di bagian katoda maupun anoda. Media yang menjadi tempat transfer ion-ion ini harus dapat menghantarkan arus listrik

- Penghantar listrik

Komponen ini memiliki fungsi agar dapat menghantarkan arus listrik atau electron antara anoda dan katoda

2.2.13.1 Laju Korosi

Laju korosi merupakan kecepatan perambatan korosi atau penurunan kualitas pada suatu material pada terhadap waktu. Uji laju korosi dilakukan untuk mengetahui perambatan korosi pada suatu material dan dapat digunakan sebagai parameter untuk menilai ketahanan material terhadap peristiwa korosi. Metode yang digunakan dalam perhitungan laju korosi diantaranya adalah metode elektrokimia. Metode ini dapat menentukan laju korosi dengan cara mengukur beda potensial material sehingga akan didapat laju korosinya. Kelebihan dari metode ini adalah dapat mengetahui dan mengukur laju korosi suatu objek dengan waktu yang cukup singkat. Untuk perhitungan laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (ASTM G102, 1999):

$$CR = \frac{K_1 i_{corr} EW}{\rho} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

CR : Laju korosi (mpy / mmpy)

i_{corr} : Massa jenis arus korosi ($\mu A/cm^2$)

K_1 : Konstanta ($3,27 \times 10^{-3}$; mmpy) ($1,29 \times 10^{-1}$; mpy)

ρ : Massa jenis (g/cm^3)

EW : *Equivalent weight* (g/mol)

Setelah mendapatkan nilai laju korosi, maka dapat diketahui tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi seperti pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi (Fontana, 1987)

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

2.2.13.2 Sel Tiga Elektroda

Sel potensial tiga elektroda merupakan perangkat alat laboratorium baku yang digunakan untuk pengukuran laju korosi. Perangkat ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu :

- *Working electrode* (Elektroda kerja)

Elektroda ini merupakan elektroda yang akan diteliti. Elektroda ini merupakan spesimen yang diambil dari hasil pengelasan dan sudah disiapkan sebelum pengujian.

- *Counter / Auxiliary electrode* (Elektroda pembantu)

Merupakan elektroda yang berfungsi untuk membawa arus dalam rangkaian pengujian. Bahan yang biasa digunakan antara lain yaitu platina.

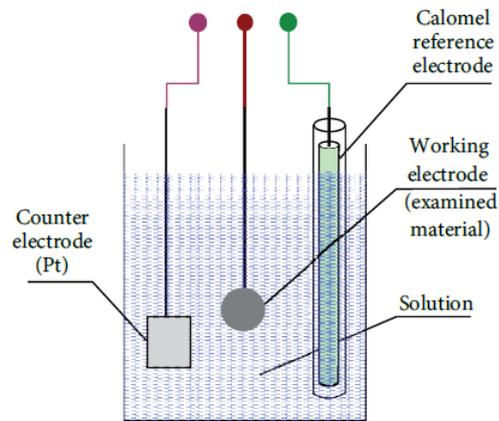
- *Reference electrode* (Elektroda acuan)

Elektroda ini merupakan elektroda yang berfungsi sebagai titik awal untuk acuan pengukuran potensial dari elektroda kerja.

- Larutan elektrolit

Larutan elektrolit pada pengujian ini berfungsi untuk pembawa arus ionic. Sehingga perlu diperhatikan dengan baik dan teliti agar pengujian berjalan dengan lancar. Larutan elektrolit yang digunakan biasanya menggunakan simulasi air laut dengan salinitas sebesar 3.5%.

Berikut merupakan Gambar 2.16 mengenai contoh skema dari pengujian laju korosi menggunakan metode elektrokimia sel tiga elektroda.

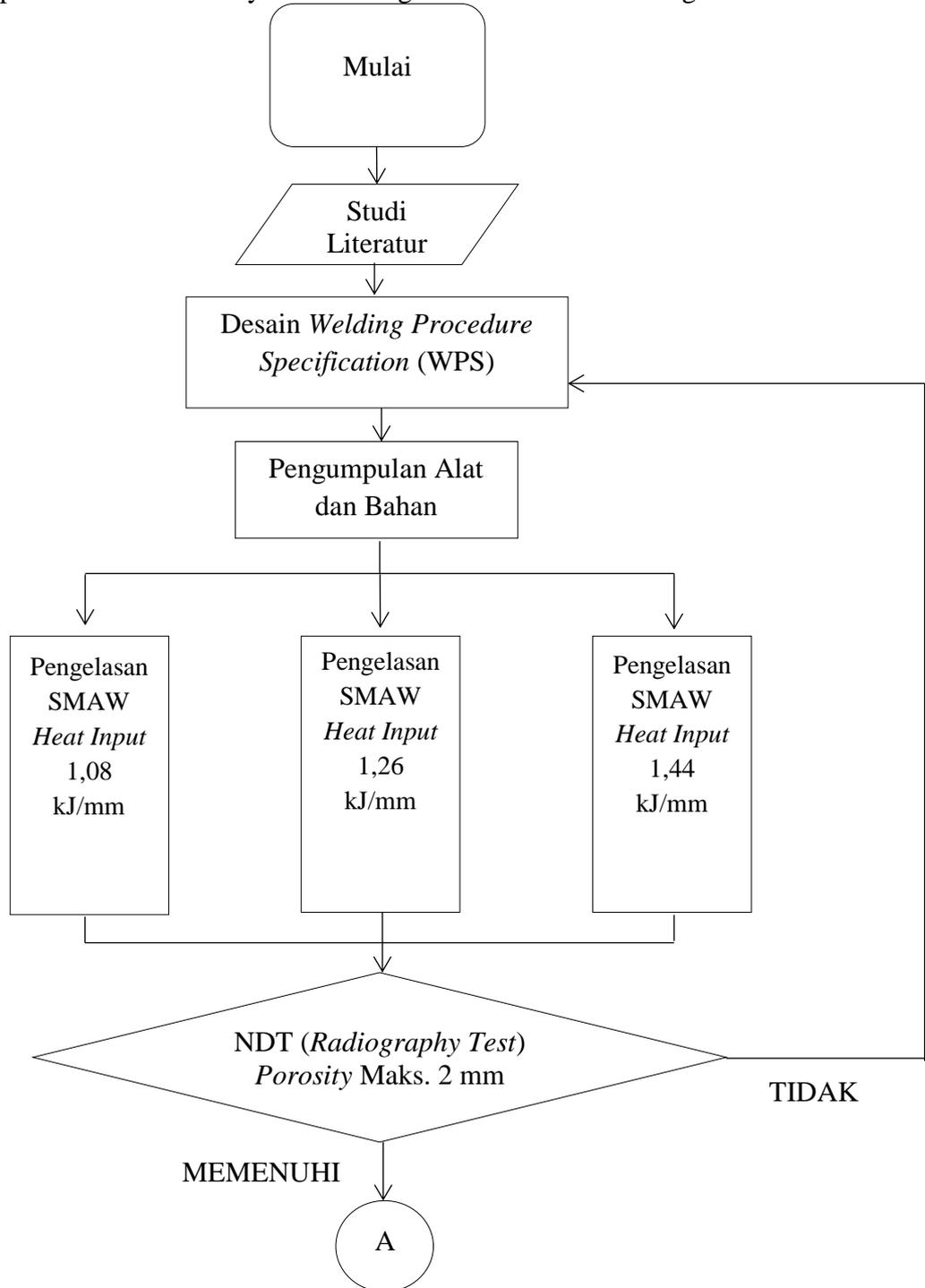


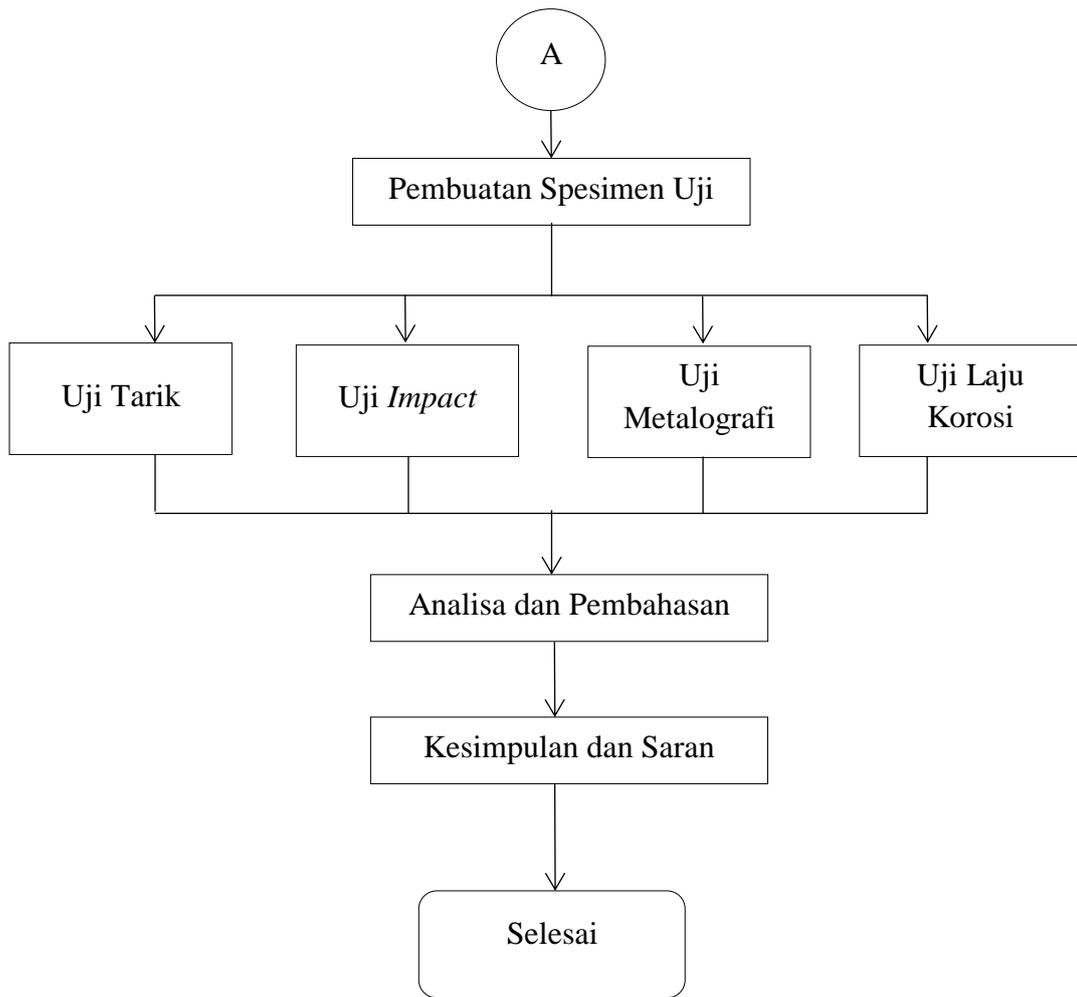
Gambar 2.16 Skema sel tiga elektroda (Raja *et al.*, 2013)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam menyelesaikan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan pengerjaan penelitian tugas akhir ini mengacu pada Gambar 3.1. Berikut merupakan penjelasan lebih detail terkait dengan langkah-langkah pengerjaan penelitian tugas akhir :

a. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah dengan mencari referensi berupa buku-buku diktat, jurnal nasional maupun internasional, tugas akhir alumni ITS, serta beberapa *codes*. Dari beberapa referensi tersebut akan dipelajari guna menunjang dan mendukung pembahasan terkait dengan ruang lingkup pada penelitian ini. Referensi yang digunakan pada pengerjaan penelitian tugas akhir ini berkaitan dengan pengelasan SMAW, bahan kerja, elektroda, *heat input*, serta *destructive test* dan *non-destructive test*.

b. Desain *Welding Procedure Specification* (WPS)

Agar proses pengelasan berjalan dengan baik, pada tahap ini akan disiapkan sebuah rancangan yang sesuai dengan *welding procedure specification* (WPS). Adapun beberapa kriteria dalam WPS adalah sebagai berikut :

- Jenis bahan kerja
- Metode pengelasan
- Bentuk kampuh
- Dimensi material
- Posisi pengelasan
- Pemilihan jenis dan diameter elektroda
- Arus dan tegangan
- Jumlah *layer*

c. Pengumpulan Alat dan Bahan

Beberapa peralatan yang digunakan dalam pengelasan SMAW pada penelitian tugas akhir ini diantaranya adalah :

- Pelat baja SS400 dan ASTM A36 berukuran 200 mm x 150 mm x 10 mm sebanyak masing-masing 3 buah.



Gambar 3.2 Pelat baja A36 dan SS400

- Mesin Las SMAW



Gambar 3.3 Mesin las SMAW

- Elektroda E7018



Gambar 3.4 Elektroda E7018 diameter 3.2 mm

- Blander
- Sarung tangan
- Pelindung mata
- Sikat baja
- Palu
- Jangka sorong
- Mesin gerinda
- *Holder*
- Helm

d. Pengelasan SMAW dengan Variasi *Heat Input*

Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) sesuai dengan desain WPS yang sudah dilakukan sebelumnya. Sebelum melakukan pengelasan, dilakukan terlebih dahulu pembuatan kampuh yang akan digunakan untuk menampung *filler* untuk penyambungan pelat baja. Proses pembuatan kampuh dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses pembuatan kampuh las

Setelah pembuatan bevel atau kampuh selesai dilakukan seperti pada Gambar 3.5, maka pengelasan dapat dilakukan untuk menyambungkan pelat baja ASTM A36 dan baja SS400 dengan variasi yang telah ditentukan yaitu variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm menggunakan Elektroda E-7018 berdiameter 3.2 mm. Untuk proses pengelasan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Proses pengelasan

e. Pengujian *Non-Destructive Test* (NDT)

Setelah semua proses pengelasan telah selesai, maka dilakukan proses NDT (*Non-Destructive Test*) dengan metode *Radiography Test* (RT). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat cacat las yang terjadi pada material sambungan las pelat baja SS400 dan A36. Pengujian radiografi menggunakan beberapa alat dan bahan seperti film, *screen*, survei meter, dan alat radiografi. Film yang telah dimasukkan ke *screen* kemudian akan dimasukkan kembali ke dalam *film holder*. Setelah itu *film holder* tersebut akan diletakkan pada alat radiografi beserta material yang akan diuji. Sinar X radiasi akan dipancarkan pada benda uji, kemudian akan dipantulkan menuju film fotografi. Hasil uji radiografi akan didapatkan pada foto film. Jika pada hasil pengujian tidak menunjukkan adanya cacat atau tidak melebihi dari batas yang ditentukan, maka pengerjaan penelitian tugas akhir dapat dilakukan ke tahap *destructive test* yang dilakukan di laboratorium.

f. Pembuatan Spesimen Uji

Setelah semua spesimen dalam pengujian NDT dan tidak terdapat cacat las, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan spesimen yang akan digunakan pada spesimen uji *destructive test*. Adapun penelitian tugas akhir ini terdapat tiga spesimen uji pengelasan, yaitu:

1. Pengelasan dengan *heat input* 1,08 kJ/mm (Spesimen 1)
2. Pengelasan dengan *heat input* 1,26 kJ/mm (Spesimen 2)
3. Pengelasan dengan *heat input* 1,44 kJ/mm (Spesimen 3)

Setelah memberikan kode untuk setiap spesimen, tahap selanjutnya adalah melakukan pemotongan spesimen sesuai dengan standart yang ada agar nantinya tiap-tiap potongan masing-masing spesimen dapat dilakukan pengujian merusak yaitu uji tarik, uji *impact*, uji metalografi dan laju korosi. Berikut merupakan Gambar 3.7 mengenai pembuatan spesimen uji.



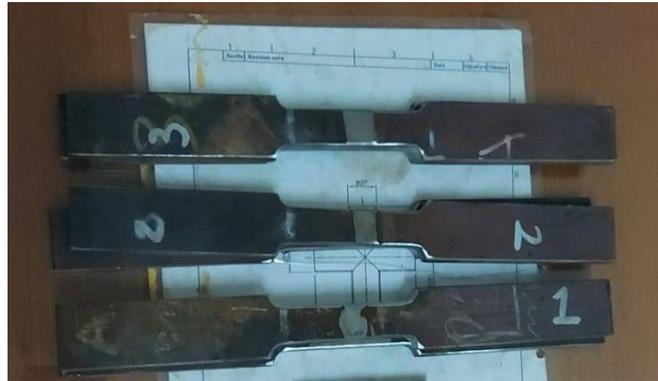
Gambar 3.7 Proses pembuatan spesimen uji

g. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai *ultimate strength* dan *yield strength*. Uji tarik dilakukan mengacu pada standart ASME *Section IX*. Gambar 3.8 merupakan spesimen yang akan digunakan untuk pengujian tarik. Langkah-langkah pengujian uji tarik adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan spesimen uji berdasarkan standar yang digunakan
2. Peletakan spesimen uji pada mesin uji
3. Spesimen akan dijepit pada kedua ujungnya menggunakan *grip*
4. Dilakukan penarikan secara perlahan-lahan sampai spesimen mengalami patah.

5. Selama pengujian, akan tercatat grafik besarnya tegangan dan regangan



Gambar 3.8 Spesimen uji tarik

h. Uji *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui ketangguhan dari material yang diuji. Uji *impact* dilakukan dengan cara memberikan beban secara tiba-tiba ke spesimen yang telah ditempatkan ke alat uji *impact*. Pengujian *impact* dan pembuatan spesimen dilakukan berdasarkan standart ASTM E23. Gambar 3.9 merupakan contoh spesimen yang akan digunakan untuk uji *impact*. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

- Pembuatan spesimen uji berdasarkan standart yang digunakan
- Pengangkatan lengan pendulum dan dikunci dengan tuas pengunci
- Pengaturan jarum skala pembebanan ke angka nol dan perhatikan angka pada jarum pembebanan
- Peletakan spesimen uji pada alat uji *impact* secara tepat dan hati-hati
- Pelepasan beban dan pengamatan jarum pada alat uji
- Spesimen yang terkena beban oleh pendulum akan mengalami kerusakan, dan akan diketahui nilai uji *impact*



Gambar 3.9 Contoh spesimen uji *impact*

i. Uji Metalografi

Uji metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur logam dari hasil pengelasan baik secara mikro maupun makro. Pengamatan struktur mikro dan makro dilakukan pada daerah *base metal* (logam dasar), *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal*. Gambar 3.10 merupakan

spesimen yang akan digunakan untuk pengujian makro dan mikro metalografi. Langkah-langkah untuk melakukan uji metalografi adalah sebagai berikut :

- Pemotongan spesimen
- Pemolesan spesimen yang telah dipotong menggunakan kertas amplas *grid* 240, 320, 400, 600, dan 1000
- Pemolesan spesimen kembali menggunakan kain wol dan telah ditabur bubuk alumina untuk menghilangkan goresan
- Melakukan proses etsa menggunakan cairan nital 3% dengan cara dioleskan hingga batas daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* terlihat jelas
- Spesimen dicuci menggunakan air dan alkohol
- Mengeringkan spesimen
- Melakukan proses pengamatan dengan mikroskop



Gambar 3.10 Spesimen uji metalografi

j. Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi bertujuan untuk mengetahui nilai laju korosi pada spesimen yang diuji. Pengujian laju korosi pada penelitian ini menggunakan metode sel tiga elektroda dengan bantuan *software* CS Studio 5. Pengujian laju korosi ini menggunakan acuan standart yaitu ASTM G102 (*Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*). Berikut merupakan Gambar 3.11 mengenai proses pengujian laju korosi.



Gambar 3.11 Proses pengujian laju korosi

k. Analisis dan Pembahasan

Setelah melakukan proses pengelasan dan telah mendapatkan data hasil pengujian. maka pada tahap ini akan dilakukan analisis dan pembahasan yang nantinya akan membantu penulis untuk menjawab semua rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini.

l. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisa dan pembahasan, akan didapatkan beberapa kesimpulan yang akan menjawab seluruh rumusan masalah pada penelitian ini. Serta akan dilampirkan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya di masa yang akan datang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 *Welding Procedure Specification (WPS)*

Welding Procedure Specification (WPS) merupakan sebuah prosedur yang telah disiapkan sebelum melakukan proses pengelasan dan akan digunakan oleh *welder* sebagai acuan dalam melakukan proses pengelasan. Pada penelitian ini proses pengelasan dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Terkait dengan sertifikat *welder* dapat dilihat pada Lampiran D. Adapun *Welding Procedure Specification (WPS)* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (Lampiran A) :

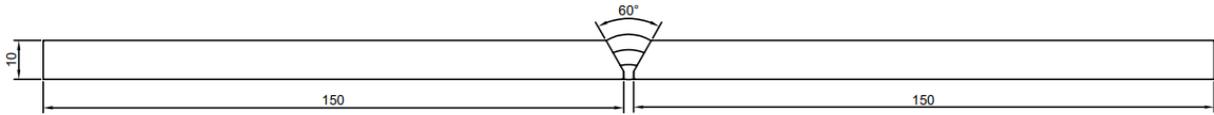
<i>Welder Name</i>	:	Rahmad Hariyadi
<i>Welding Procedure</i>	:	No. 01 s/d 03 <i>Date</i> , 6 – 1 - 2022
<i>Welding Process(es)</i>	:	SMAW
<i>Joints Design (QW-402)</i>	:	<i>Butt Joint</i>
<i>Groove</i>	:	<i>Single Ve</i>
<i>Base Metals (QW-403)</i>	:	A36 to SS400 / t:10 mm L = 300 X P = 200
<i>Filler Metals (QW-404)</i>	:	E 7018 Diameter 3,2 mm
<i>Positions (QW-405)</i>	:	1G
<i>GAS (es)</i>	:	N/A
<i>Technique (QW-410)</i>	:	<i>String or Weave</i>

Pada desain *Welding Procedure Specification (WPS)* akan ditentukan juga untuk jenis pengelasan, jenis elektroda, diameter elektroda, jenis polaritas, kuat arus, dan besaran tegangan untuk persiapan proses pengelasan. Berikut merupakan Tabel 4.1 terkait desain WPS yang digunakan untuk melakukan pengelasan pada Spesimen 1 , Spesimen 2, dan Spesimen 3.

Tabel 4.1 *Welding Procedure Specification (WPS)*

No. <i>Spesimen</i>	<i>Process</i>	<i>Filler Metal</i>		<i>Current</i>		<i>Volt Range</i>	<i>Time (s)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>
		<i>Class</i>	<i>Diameter</i>	<i>Polarity</i>	<i>Ampere</i>			
1	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	85	22	110 - 120	1,74
							110 - 120	
							110 – 120	
2	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	100	24	100-110	1,90
							100-110	
							100-110	
							100-110	
3	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	115	25	90-110	2,00
							90-110	
							90-110	
							90-110	

Berikut merupakan *weld preparation* mengenai dimensi sambungan pengelasan pada Spesimen 1, Spesimen 2 dan Spesimen 3 pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bentuk dan dimensi sambungan pengelasan Spesimen 1, 2 dan 3

Dari WPS di atas terdapat tiga buah variasi yang akan diteliti pada penelitian ini. Dengan menggunakan Persamaan 2.1, maka didapatkan untuk nilai variasi *heat input* adalah sebagai berikut :

$$\text{Spesimen 1 : Heat Input} = \frac{\text{Voltage} \times \text{Amperage}}{\text{Travel Speed}} = \frac{22 \times 85}{1,739} = 1075 \frac{\text{J}}{\text{mm}} = 1,08 \text{ kJ/mm}$$

$$\text{Spesimen 2 : Heat Input} = \frac{\text{Voltage} \times \text{Amperage}}{\text{Travel Speed}} = \frac{24 \times 100}{1,90} = 1260 \frac{\text{J}}{\text{mm}} = 1,26 \text{ kJ/mm}$$

$$\text{Spesimen 3 : Heat Input} = \frac{\text{Voltage} \times \text{Amperage}}{\text{Travel Speed}} = \frac{25 \times 115}{2,00} = 1437 \frac{\text{J}}{\text{mm}} = 1,44 \text{ kJ/mm}$$

4.1.2 Hasil Pengelasan dan Pengujian *Non-Destructive Test*

Setelah merancang desain *welding procedure specification* (WPS) untuk spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm maka proses pengelasan dapat dilakukan dengan mengacu pada WPS tersebut. Setelah melakukan proses pengelasan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian tidak merusak atau *non-destructive test* (NDT). Pada penelitian ini, proses NDT menggunakan tes radiografi. Pengujian NDT merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui adanya cacat las atau tidak pada sambungan pengelasan. Uji radiografi memiliki kelebihan yaitu dapat mengetahui secara pasti bentuk dari cacat yang terletak di bawah permukaan sambungan pengelasan. Pengujian tes radiografi dilakukan di PT. Robutech dengan menggunakan acuan standart ASME *Section IX*. Untuk laporan hasil NDT radiografi dapat dilihat pada Lampiran B. Berikut merupakan Gambar 4.2 hasil pengelasan untuk Spesimen 1, Spesimen 2, dan Spesimen 3.



Gambar 4.2 Hasil pengelasan Spesimen 1, Spesimen 2, Spesimen 3

4.1.2.1 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 1

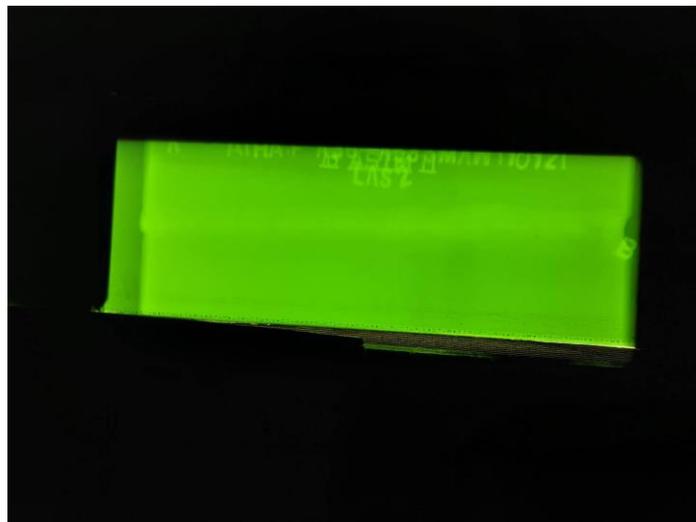
Pengujian NDT radiografi pada Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm didapatkan hasil yaitu terdapat cacat las *porosity* sebesar 1 mm. Cacat las *porosity* merupakan cacat yang terjadi pada sambungan pengelasan dikarenakan adanya udara luar yang masuk ke dalam dan terperangkap di sambungan pengelasan. Cacat las yang terjadi pada spesimen ini terletak didaerah ujung sambungan pengelasan (*discard area*) atau diluar *interest area*. Sehingga pada area cacat las tersebut tidak akan digunakan untuk pengujian selanjutnya. Dari hasil pengujian radiografi tersebut dapat disimpulkan bahwa Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm telah memenuhi kriteria dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Berikut merupakan Gambar 4.3 hasil NDT radiografi Spesimen 1.



Gambar 4.3 Hasil NDT radiografi Spesimen 1

4.1.2.2 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 2

Pengujian NDT radiografi pada Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm didapatkan hasil yaitu terdapat cacat las *porosity* sebesar 1 mm. Cacat las *porosity* merupakan cacat yang terjadi pada sambungan pengelasan dikarenakan adanya udara luar yang masuk ke dalam dan terperangkap di sambungan pengelasan. Cacat las yang terjadi pada spesimen ini terletak di daerah ujung sambungan pengelasan (*discard area*) atau diluar *interest area*. Sehingga pada area cacat las tersebut tidak akan digunakan untuk pengujian selanjutnya. Dari hasil pengujian radiografi tersebut dapat disimpulkan bahwa Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm telah memenuhi kriteria dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Berikut merupakan Gambar 4.4 hasil NDT radiografi Spesimen 2.



Gambar 4.4 Hasil NDT radiografi Spesimen 2

4.1.2.3 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 3

Pengujian NDT radiografi pada Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm didapatkan hasil yaitu terdapat cacat las *porosity* sebesar 2 mm dan *incomplete fusion*. Cacat las *porosity* merupakan cacat yang terjadi pada sambungan pengelasan dikarenakan adanya

udara luar yang masuk ke dalam dan terperangkap di sambungan pengelasan. Sedangkan cacat *incomplete fusion* merupakan cacat las yang terjadi karena ketidaksempurnaan penyambungan antara logam las dan logam induk. Cacat las yang terjadi pada spesimen ini terletak didaerah ujung sambungan pengelasan (*discard area*) atau diluar *interest area*. Sehingga pada area cacat las tersebut tidak akan digunakan untuk pengujian selanjutnya. Dari hasil pengujian radiografi tersebut dapat disimpulkan bahwa Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm telah memenuhi kriteria dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Berikut merupakan Gambar 4.5 hasil NDT radiografi Spesimen 3.



Gambar 4.5 Hasil NDT radiografi Spesimen 3

4.1.3 Hasil Uji Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* dari proses pengujiannya. *Yield strength* merupakan batas tegangan maksimum yang terjadi pada spesimen sebelum kehilangan sifat elastisitasnya dan spesimen akan bersifat plastis setelah melewati tegangan tersebut. Sedangkan *ultimate strength* merupakan tegangan maksimum yang dapat diterima oleh spesimen sebelum terjadinya *necking* apabila telah melewati tegangan tersebut. Ketika terjadi *necking*, akan terdapat bagian spesimen yang mengecil dan *fracture* akan terjadi pada bagian tersebut. Dari nilai tersebut akan didapatkan kekuatan sambungan pengelasan dari spesimen yang diuji. Standart yang digunakan pada pengujian tarik menggunakan standart ASME Section IX. Proses pengujian tarik akan dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap spesimen. Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban tarik secara perlahan-lahan hingga spesimen tersebut mengalami *fracture*. Untuk *report* hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Lampiran C-1 sampai Lampiran C-6.

4.1.3.1 Hasil Uji Tarik Spesimen 1

Spesimen 1 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm. Dari pengujian tarik untuk Spesimen 1, didapatkan nilai *yield force* adalah 45, 58 kN dan 64,08 kN. Dan untuk nilai *max. force* adalah 61,33 kN dan 88,35 kN. Kemudian untuk nilai *yield strength* adalah 246, 21 MPa dan 349,66 MPa. Dan *max. strength* berturut-turut adalah sebesar 331,82 MPa dan 482,10 MPa. Untuk letak patahan dari hasil uji tarik Spesimen 1 semua terjadi pada area *base metal*. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat untuk gambar spesimen pada Gambar 4.6 dan hasil pengujian tarik pada Tabel 4.2.



Gambar 4.6 Spesimen hasil uji tarik Spesimen 1

Tabel 4.2 Hasil uji tarik Spesimen 1

No.	Thickness (mm)	Width (mm)	Area (mm ²)	Yield Force (kN)	Max. Force (kN)	Yield Strength (MPa)	Max. Strength (MPa)
1	9,8	18,85	184,73	45,58	61,3	246,21	331,82
2	9,8	18,7	183,26	64,08	88,35	349,66	482,10

4.1.3.2 Hasil Uji Tarik Spesimen 2

Spesimen 2 merupakan spesimen dengan *heat input* 1,26 kJ/mm. Dari pengujian tarik untuk Spesimen 2, didapatkan nilai dari *yield force* adalah 55,99 kN dan 60,44 kN. Dan *max. force* adalah 84,99 dan 86,26 kN. Kemudian untuk nilai dari *yield strength* sebesar 303,1 MPa dan 330,7 MPa. Dan *max. strength* berturut-turut adalah sebesar 460,08 MPa dan 471,97 MPa. Untuk letak patahan dari hasil uji tarik Spesimen 2 semua terjadi pada area *base metal*. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat untuk gambar spesimen pada Gambar 4.7 dan hasil pengujian tarik pada Tabel 4.3.



Gambar 4.7 Spesimen hasil uji tarik Spesimen 2

Tabel 4.3 Hasil uji tarik Spesimen 2

No.	Thickness (mm)	Width (mm)	Area (mm ²)	Yield Force (kN)	Max. Force (kN)	Yield Strength (MPa)	Max. Strength (MPa)
2.1	9,8	18,85	184,77	55,99	84,99	303,1	460,08
2.2	9,8	18,65	182,77	60,44	86,26	330,7	471,97

4.1.3.3 Hasil Uji Tarik Spesimen 3

Spesimen 3 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm. Dari pengujian tarik untuk Spesimen 3, didapatkan nilai dari *yield force* adalah 56,87 kN dan 57,02 kN. Dan *max. force* adalah 85,04 kN dan 85,63 kN. Kemudian untuk nilai dari *yield strength* adalah sebesar 307,03 MPa dan 308,68 MPa. Dan nilai *max. strength* berturut-turut 459,53 MPa dan 463,53 MPa. Untuk letak patahan dari hasil uji tarik Spesimen 3 semua terjadi pada area *base metal*. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat untuk gambar spesimen pada Gambar 4.8 dan hasil pengujian tarik pada Tabel 4.4.



Gambar 4.8 Spesimen hasil uji tarik Spesimen 3

Tabel 4.4 Hasil uji tarik Spesimen 3

No.	Thickness (mm)	Width (mm)	Area (mm ²)	Yield Force (kN)	Max. Force (kN)	Yield Strength (MPa)	Max. Strength (MPa)
3.1	9.8	18,9	185,22	56,87	85,04	307,03	459,12
3.2	9.8	18,85	184,73	57,02	85,63	308,68	463,53

4.1.4 Hasil Uji Impact

Pengujian uji *impact* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketangguhan dari suatu material. Uji *impact* dilakukan dengan cara memberikan beban secara tiba-tiba ke spesimen yang telah di tempatkan ke alat uji *impact*. Pada pengujian *impact* ini nantinya akan didapatkan nilai *impact energy* ketangguhannya. Pada penelitian ini menggunakan, uji *impact* yang dilakukan menggunakan metode *impact charpy*. Dimana V-*notch* akan dibentuk ditengah material kemudian material akan diletakkan secara horizontal pada alat uji *impact*. Ukuran spesimen pengujian *impact* dengan metode *charpy* ini dilakukan berdasarkan standart ASTM E23. Untuk *report* hasil pengujian *impact* dapat dilihat pada Lampiran C-7.

4.1.4.1 Hasil Uji Impact Spesimen 1

Spesimen 1 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm. Pada spesimen ini dilakukan pengujian *impact* pada daerah sambungan pengelasan atau daerah *weld metal*. Spesimen yang digunakan yaitu berukuran 8 x 10 x 55 mm. Hasil pengujian *impact* Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm didapatkan yaitu nilai *impact energy* adalah sebesar 103,0 Joule dan 112,0 Joule. Berikut merupakan hasil pengujian *impact* dan *impact energy* Spesimen 1 pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.9 Hasil uji *impact* Spesimen 1

Tabel 4.5 *Impact energy* Spesimen 1

No.	<i>Location of Notch</i>	<i>Specimen Size (mm)</i>	<i>Impact Energy (J)</i>
1	WM	8x10x55	103,0
2	WM	8x10x55	112,0

4.1.4.2 Hasil Uji *Impact* Spesimen 2

Spesimen 2 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm. Pada spesimen ini dilakukan pengujian *impact* pada daerah sambungan pengelasan atau daerah *weld metal*. Spesimen yang digunakan yaitu berukuran 8 x 10 x 55 mm. Hasil pengujian *impact* Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm didapatkan yaitu nilai *impact energy* adalah sebesar 117,0 Joule dan 116,5 Joule. Berikut merupakan hasil pengujian *impact* dan *impact energy* Spesimen 2 pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.6.



Gambar 4.10 Hasil uji *impact* Spesimen 2

Tabel 4.6 *Impact energy* Spesimen 2

No.	<i>Location of Notch</i>	<i>Specimen Size (mm)</i>	<i>Impact Energy (J)</i>
1	WM	8x10x55	117,0
2	WM	8x10x55	116,5

4.1.4.3 Hasil Uji *Impact* Spesimen 3

Spesimen 3 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm. Pada spesimen ini dilakukan pengujian *impact* pada daerah sambungan pengelasan atau daerah *weld metal*. Spesimen yang digunakan yaitu berukuran 8 x 10 x 55 mm. Hasil pengujian *impact* Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm didapatkan yaitu nilai *impact energy* adalah sebesar 121 Joule dan 123 Joule. Berikut merupakan hasil pengujian *impact* dan *impact energy* Spesimen 3 pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.7.



Gambar 4.11 Hasil uji *impact* Spesimen 3

Tabel 4.7 *Impact energy* Spesimen 3

No.	Location of Notch	Specimen Size (mm)	Impact Energy (J)
1	WM	8x10x55	121,0
2	WM	8x10x55	123,0

4.1.5 Hasil Uji Makro Metalografi

Pengujian makro metalografi bertujuan untuk mengetahui *discontinuity type* dan juga *weld profile* dari hasil pengelasan yang dilakukan. *Discontinuity type* merupakan cacat las yang terjadi pada sambungan pengelasan, sedangkan *weld profile* merupakan profil dari ukuran *weld* yang ada pada hasil pengelasan. Untuk pengujian secara makro dilakukan menggunakan kamera dengan perbesaran 2,25x untuk melihat hasil pengelasan pada area *base metal*, HAZ dan juga *weld metal*. Untuk *report* hasil pengujian makro metalografi dapat dilihat pada Lampiran C-8 sampai Lampiran C-10.

4.1.5.1 Hasil Uji Makro Metalografi Spesimen 1

Spesimen 1 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm. Pada pengujian makro didapatkan foto pada area *base metal*, HAZ, dan juga area *base metal* menggunakan perbesaran kamera 2,25x. Dari foto tersebut didapatkan untuk hasil *discontinuity type* yaitu *no imperfection*. Hal tersebut dapat disimpulkan untuk Spesimen 1 pada pengamatan makro tidak ditemukan cacat pengelasan. Untuk hasil foto makro Spesimen 1 dan hasil *discontinuity type* dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Tabel 4.8.



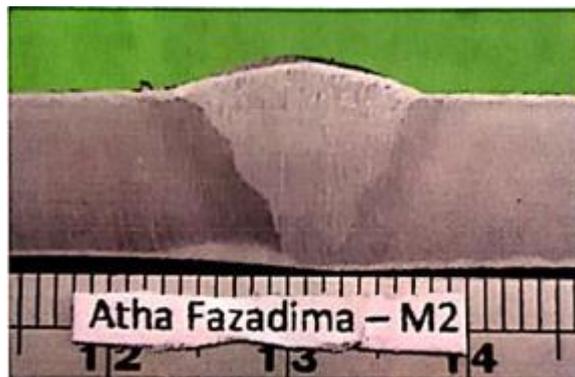
Gambar 4.12 Spesimen hasil uji makro Spesimen 1

Tabel 4.8 Hasil uji makro terhadap *discontinuity type* pada Spesimen 1

<i>Discontinuity Type</i>	
<i>Crack</i>	-
<i>Lack of fusion</i>	-
<i>Incomplete root penetration</i>	-
<i>Continuous undercut</i>	-
<i>Intermittent undercut</i>	-
<i>No Imperfection</i>	✓

4.1.5.2 Hasil Uji Makro Metalografi Spesimen 2

Spesimen 2 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm. Pada pengujian makro didapatkan foto pada area *base metal*, HAZ, dan juga area *base metal* menggunakan perbesaran kamera 2,25x. Dari foto tersebut didapatkan untuk hasil *discontinuity type* yaitu *no imperfection*. Hal tersebut dapat disimpulkan untuk Spesimen 2 pada pengamatan makro tidak ditemukan cacat pengelasan. Untuk hasil foto makro Spesimen 2 dan hasil *discontinuity type* dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.9.



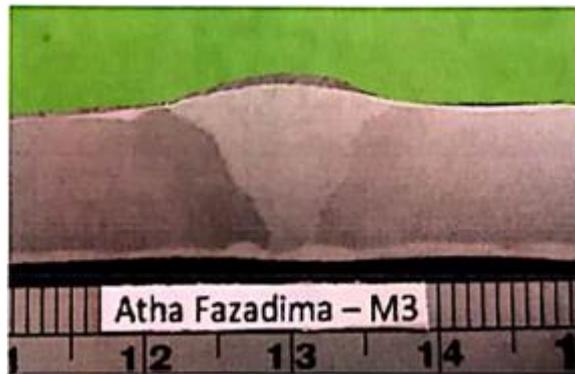
Gambar 4.13 Spesimen hasil uji makro Spesimen 2

Tabel 4.9 Hasil uji makro terhadap *discontinuity type* pada Spesimen 2

<i>Discontinuity Type</i>	
<i>Crack</i>	-
<i>Lack of fusion</i>	-
<i>Incomplete root penetration</i>	-
<i>Continuous undercut</i>	-
<i>Intermittent undercut</i>	-
<i>No Imperfection</i>	✓

4.1.5.3 Hasil Uji Makro Metalografi Spesimen 3

Spesimen 3 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm. Pada pengujian makro didapatkan foto pada area *base metal*, HAZ, dan juga area *base metal* menggunakan perbesaran kamera 2,25x. Dari foto tersebut didapatkan untuk hasil *discontinuity type* yaitu *no imperfection*. Hal tersebut dapat disimpulkan untuk Spesimen 3 pada pengamatan makro tidak ditemukan cacat pengelasan. Untuk hasil foto makro Spesimen 3 dan hasil *discontinuity type* dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Tabel 4.10.



Gambar 4.14 Spesimen hasil uji makro Spesimen 3

Tabel 4.10 Hasil uji makro terhadap *discontinuity type* pada Spesimen 3

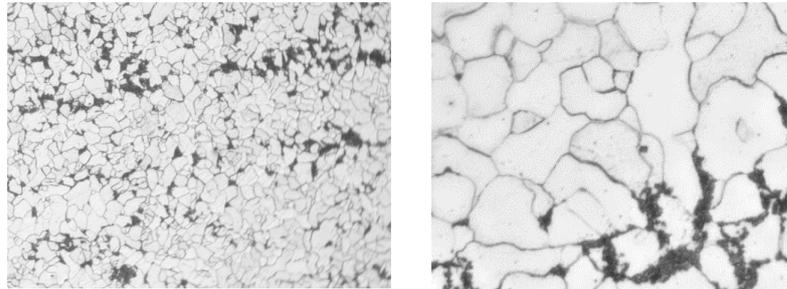
<i>Discontinuity Type</i>	
<i>Crack</i>	-
<i>Lack of fusion</i>	-
<i>Incomplete root penetration</i>	-
<i>Continuous undercut</i>	-
<i>Intermittent undercut</i>	-
<i>No Imperfection</i>	✓

4.1.6 Hasil Uji Mikro Metalografi

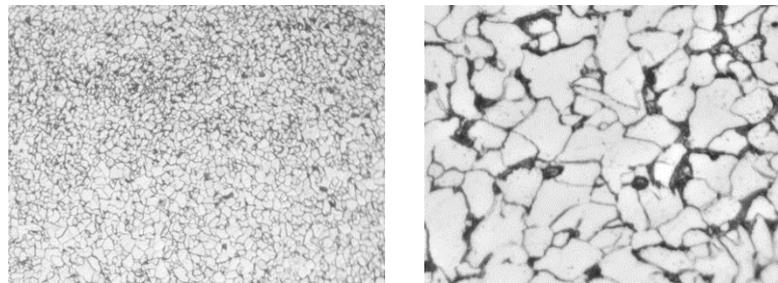
Pengujian metalografi selanjutnya adalah pengujian mikro terhadap spesimen pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan perbesaran 100x dan 500x menggunakan bantuan mikroskop untuk melihat struktur mikro yang ada pada spesimen tersebut. Pada pengujian mikro metalografi ini nantinya dapat dilihat perbedaan fasa-fasa yang terjadi terhadap spesimen-spesimen yang diuji.

4.1.6.1 Hasil Uji Mikro Metalografi Spesimen 1

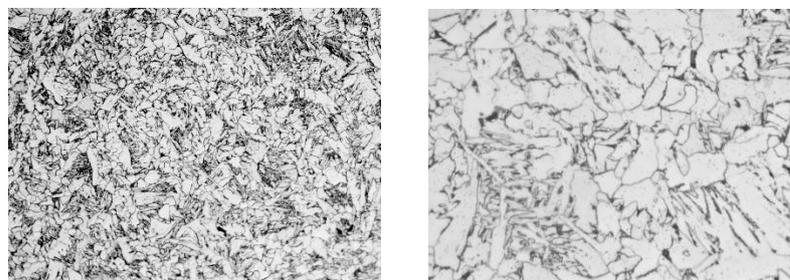
Spesimen 1 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm. Pada pengujian mikro metalografi Spesimen 1 dilakukan pengamatan pada beberapa area yaitu *base metal* A36, *heat affected zone* A36, *base metal* SS400, *heat affected zone* SS400, dan *weld metal*. Pada baja berkarbon rendah, fasa yang terjadi hanya dua yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*. Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat bagian yang berwarna putih atau yang cenderung lebih terang merupakan fasa *ferrite* yang memiliki sifat lebih lunak dan ulet. Sedangkan untuk bagian yang berwarna lebih gelap merupakan fasa *pearlite* yang memiliki sifat lebih keras. Berikut merupakan hasil dari pengujian mikro metalografi dengan perbesaran 100x dan 500x pada Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm pada Gambar 4.15, Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Gambar 4.19.



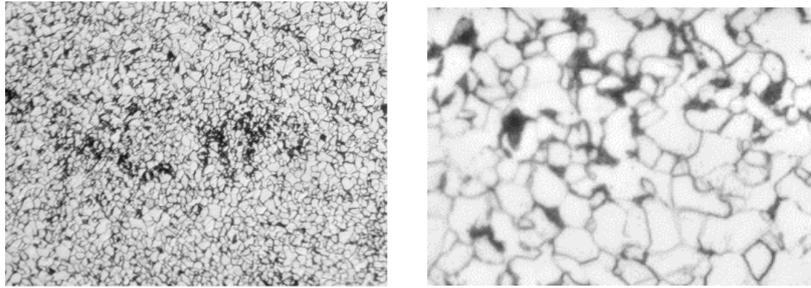
Gambar 4.15 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada *base metal* A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x



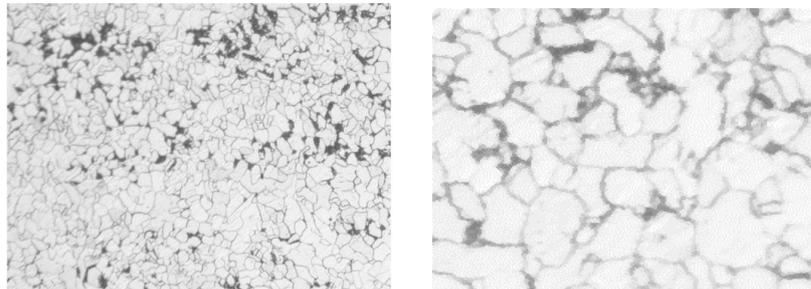
Gambar 4.16 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada HAZ A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x



Gambar 4.17 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada *weld metal* untuk perbesaran 100x dan 500 x



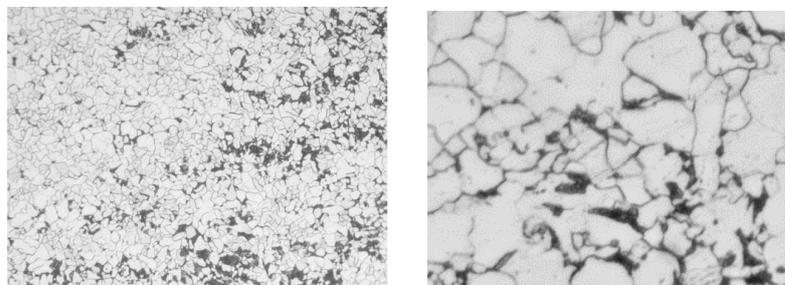
Gambar 4.18 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada HAZ baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x



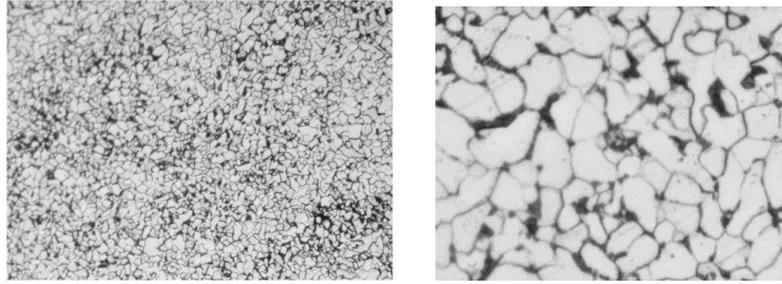
Gambar 4.19 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 1 pada *base metal* baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x

4.1.6.2 Hasil Uji Mikro Metalografi Spesimen 2

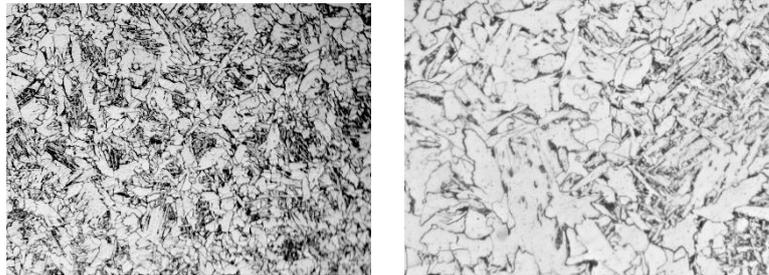
Spesimen 2 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm. Pada pengujian metalografi Spesimen 2 dilakukan pengamatan pada beberapa area yaitu *base metal* A36, *heat affected zone* A36, *base metal* SS400, *heat affected zone* SS400, dan *weld metal*. Pada baja berkarbon rendah, fasa yang terjadi hanya dua yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*. Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat bagian yang berwarna putih atau yang cenderung lebih terang merupakan fasa *ferrite* yang memiliki sifat lebih lunak dan ulet. Sedangkan untuk bagian yang berwarna lebih gelap merupakan fasa *pearlite* yang memiliki sifat lebih keras. Berikut merupakan hasil dari pengujian mikro metalografi dengan perbesaran 100x dan 500x pada Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22, Gambar 4.23, dan Gambar 4.24.



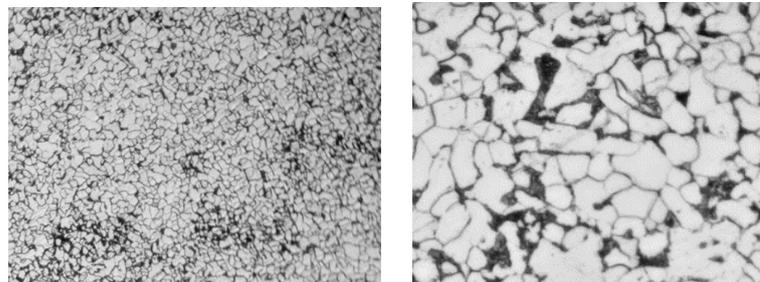
Gambar 4.20 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada *base metal* A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x



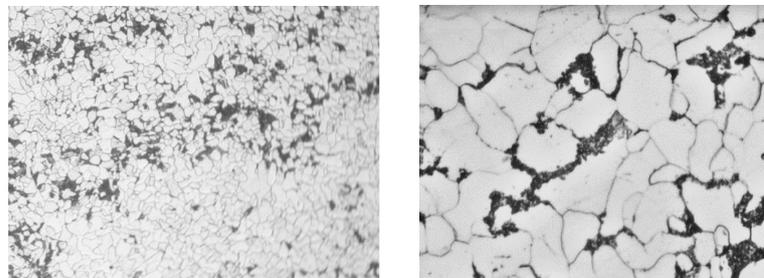
Gambar 4.21 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada HAZ A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x



Gambar 4.22 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada *weld metal* untuk perbesaran 100x dan 500 x



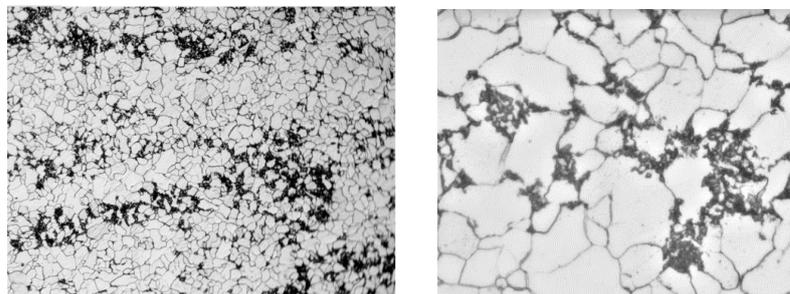
Gambar 4.23 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada HAZ baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x



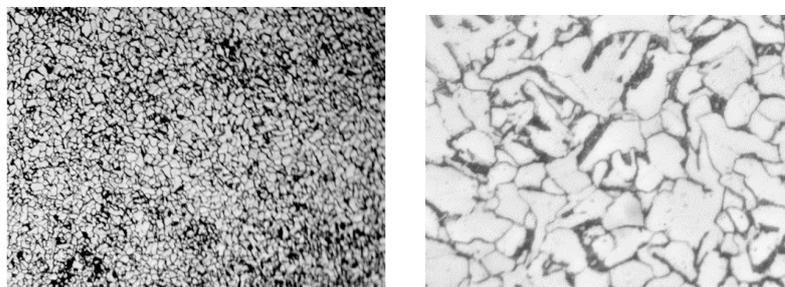
Gambar 4.24 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 2 pada *base metal* baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x

4.1.6.3 Hasil Uji Mikro Metalografi Spesimen 3

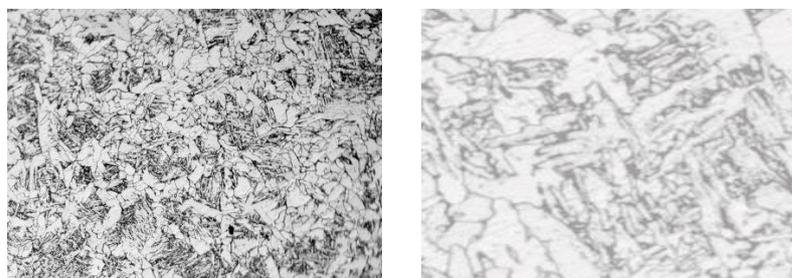
Spesimen 3 merupakan spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm. Pada pengujian metalografi Spesimen 3 dilakukan pengamatan pada beberapa area yaitu *base metal* A36, *heat affected zone* A36, *base metal* SS400, *heat affected zone* SS400, dan *weld metal*. Pada baja berkarbon rendah, fasa yang terjadi hanya dua yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*. Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat bagian yang berwarna putih atau yang cenderung lebih terang merupakan fasa *ferrite* yang memiliki sifat lebih lunak dan ulet. Sedangkan untuk bagian yang berwarna lebih gelap merupakan fasa *pearlite* yang memiliki sifat lebih keras. Berikut merupakan hasil dari pengujian mikro metalografi dengan perbesaran 100x dan 500x pada Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm pada Gambar 4.25, Gambar 4.26, Gambar 4.27, Gambar 4.28, dan Gambar 4.29.



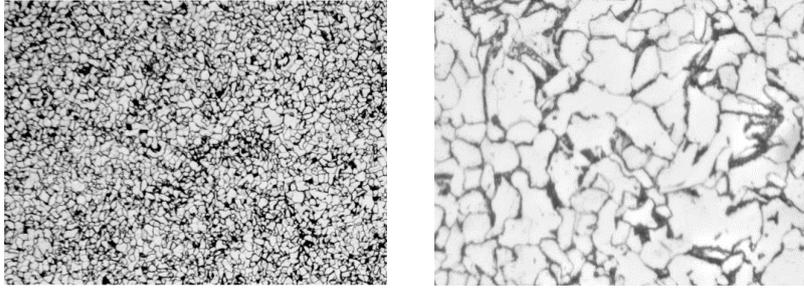
Gambar 4.25 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada *base metal* A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x



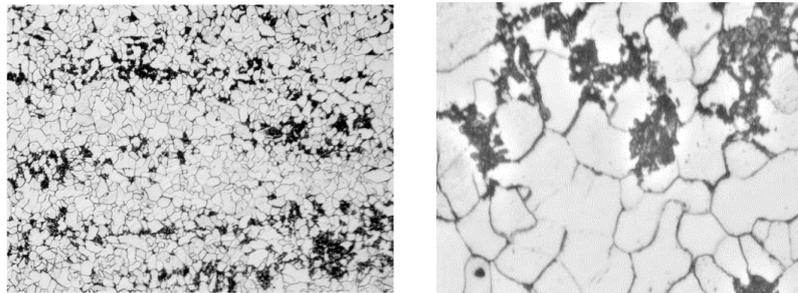
Gambar 4.26 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada HAZ A36 untuk perbesaran 100x dan 500 x



Gambar 4.27 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada *weld metal* untuk perbesaran 100x dan 500 x



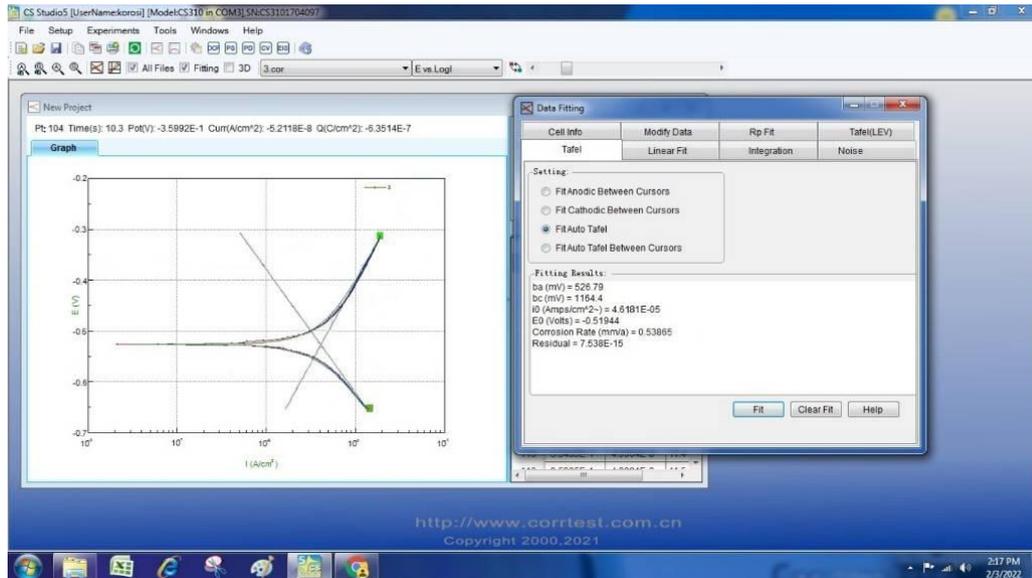
Gambar 4.28 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada HAZ baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x



Gambar 4.29 Hasil uji mikro metalografi Spesimen 3 pada *base metal* baja SS400 untuk perbesaran 100x dan 500 x

4.1.7 Hasil Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan untuk mengetahui kecepatan suatu material mengalami korosi. Pada penelitian ini pengujian laju korosi menggunakan metode elektrokimia. Metode ini dilakukan dengan bantuan *software* CS Studio 5 yang dilakukan di salah satu Laboratorium Teknik Material FTIRS ITS. Data yang diperlukan untuk dimasukkan pada *software* tersebut yaitu massa jenis material, berat ekuivalen, dan juga luas permukaan material yang diuji. Dari pengujian tersebut, akan diperoleh grafik tafel. Grafik tersebut akan diperoleh nilai laju korosi dengan waktu yang cukup singkat. Dari grafik tafel tersebut, untuk sumbu X merupakan nilai kerapatan arus (I_{corr}), sedangkan untuk sumbu Y adalah nilai elektropotensial (E). Berikut merupakan Gambar 4.30, Gambar 4.31, dan Gambar 4.32 mengenai grafik tafel hasil pengujian laju korosi dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm yang didapatkan menggunakan bantuan *software* CS Studio 5.



Gambar 4.32 Grafik tafel hasil pengujian laju korosi variasi *heat input* 1,44 kJ/mm

Pada pengujian laju korosi menggunakan metode elektrokimia atau polarisasi linear dengan bantuan *software* CS Studio 5 ini nantinya akan didapatkan grafik tafel seperti Gambar 4.30, Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 di atas. Pada tabel tersebut akan didapatkan informasi berapa besar dari arus korosi (I_{corr}), tegangan korosi (E_{corr}), serta nilai laju korosi yang didapat pada setiap spesimen yang diuji.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Hasil Uji Tarik

Setelah dilakukan proses pengujian tarik terhadap seluruh spesimen, maka selanjutnya dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil pengujian tarik. Dari pengujian tarik yang telah dilakukan terhadap seluruh variasi, nantinya akan didapatkan nilai *yield strength* dan juga nilai *ultimate strength*. Terkait dengan pengujian tarik, hasil pengujian dapat diterima apabila kekuatan tarik baik *yield strength* dan *ultimate strength* lebih besar dari kekuatan tarik minimum yang telah ditetapkan dari logam dasar. Untuk *base metal* A36 memiliki nilai minimal *yield strength* dan *ultimate strength* sebesar 250 MPa dan 400-550 MPa. Sedangkan untuk *base metal* SS400 memiliki nilai minimal *yield strength* dan *ultimate strength* 235 MPa dan 400-500 MPa. Selain itu, hasil pengujian dapat diterima jika letak patahan pada pengujian tarik terjadi pada *base metal*.

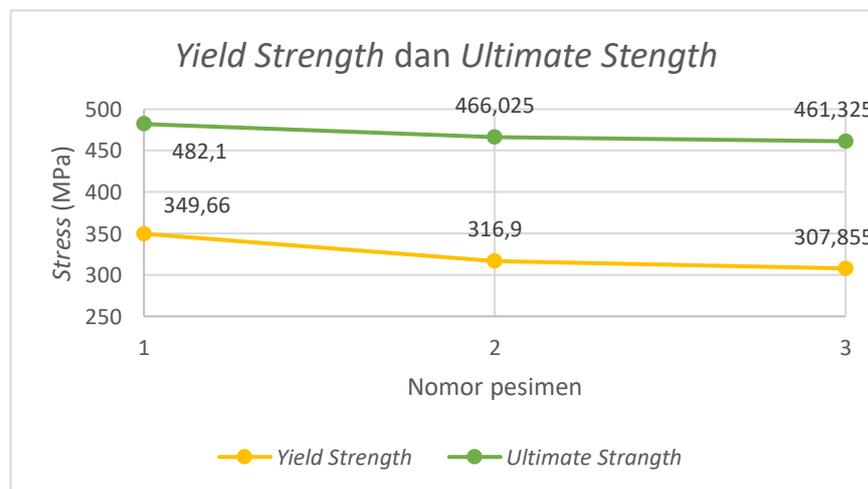
Berdasarkan hasil pengujian tarik, semua spesimen (Spesimen 1,2, dan 3) yang diuji memiliki letak patahan di area *base metal*. Dari pengujian tarik untuk Spesimen 1 yang menggunakan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, didapatkan nilai *yield force* adalah 45,58 kN dan 64,08 kN dan untuk nilai *max. force* adalah 61,33 kN dan 88,35 kN. Kemudian untuk nilai *yield strength* adalah 246,21 MPa dan 349,66 MPa. Dan *max. strength* berturut-turut adalah sebesar 331,82 MPa dan 482,10 MPa. Dari pengujian tarik untuk Spesimen 2 yang menggunakan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm, didapatkan nilai dari *yield force* adalah 55,99 kN dan 60,44 kN. Dan *max. force* adalah 84,99 dan 86,26 kN. Kemudian untuk nilai dari *yield strength* sebesar 303,1 MPa dan 330,7 MPa. Dan *max. strength* berturut-turut adalah sebesar 460,08 MPa dan 471,97 MPa. Dari pengujian tarik untuk Spesimen 3 yang menggunakan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm, didapatkan nilai dari *yield force* adalah 56,87 kN dan 57,02 kN. Dan *max. force* adalah

85,04 kN dan 85,63 kN. Kemudian untuk nilai dari *yield strength* adalah sebesar 307,03 MPa dan 308,68 MPa. Dan nilai *max. strength* berturut-turut 459,53 MPa dan 463,53 MPa.

Berdasarkan teori yang berlaku, diketahui bahwa semakin besar nilai *heat input* yang digunakan maka akan semakin kecil nilai kekuatan tariknya. Teori tersebut juga berarti bahwa semakin kecil nilai *heat input* maka kekuatan tarik suatu material juga akan semakin besar. Jika dipelajari lebih lanjut, maka nilai kekuatan tarik dengan variasi *heat input* pada suatu material juga berkaitan dengan laju pendinginan material tersebut. Dari diagram *continuous cooling transformation* (CCT), dapat diketahui semakin besar *heat input* yang digunakan maka laju pendinginannya akan semakin lambat. Hal tersebut mengakibatkan fasa *pearlite* yang tumbuh pada material akan memiliki bentuk yang semakin kasar. Semakin kasar bentuk fasa *pearlite* suatu material, maka kekuatan tarik dan kekerasannya juga akan semakin menurun. Hal tersebut juga disebutkan pada penelitian yang dilakukan oleh Bodude dan Momohjimoh (2015).

Pada Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm memiliki nilai kekuatan tarik yang cukup jauh pada kedua sampel pengujian tarik. Untuk sampel pertama didapatkan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* yaitu sebesar 246,61 MPa dan 331,82 MPa. Sedangkan untuk sampel kedua didapatkan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* sebesar 349,66 MPa dan 482,10 MPa. Oleh karena itu, dari penyimpangan hasil pengujian tarik tersebut, jika dihubungkan dengan teori dan hasil pengujian tarik pada variasi *heat input* yang lain, maka hasil yang dapat diterima adalah pada pengujian tarik Spesimen 1 sampel kedua. Sedangkan untuk sampel pertama tidak dapat digunakan sebagai acuan hasil pengujian tarik karena memiliki penyimpangan yang cukup jauh dan tidak memenuhi dari syarat diterimanya dari sebuah pengujian tarik..

Sehingga dari hasil di atas didapatkan berturut-turut untuk nilai kekuatan tarik dari yang terbesar ke terkecil adalah dari spesimen dengan variasi *heat input* input 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Dengan menggunakan *heat input* yang semakin besar, maka akan didapatkan kekuatan tarik yang semakin rendah. Hal tersebut disebabkan dengan menggunakan *heat input* yang semakin kecil maka laju pendinginan pada material akan semakin cepat, sedangkan *heat input* yang tinggi akan mengakibatkan laju pendinginan yang lebih lambat. Pendinginan yang lebih cepat akan mengakibatkan tumbuhnya fasa struktur mikro menjadi lebih halus. Fasa struktur mikro yang lebih halus akan membuat material menjadi lebih kuat dan juga lebih keras. Sehingga hal tersebut akan membuat kekuatan tarik juga akan semakin meningkat. Berikut merupakan Gambar 4.33 untuk nilai *yield strength* dan *ultimate strength* untuk Spesimen 1, Spesimen 2 dan Spesimen 3.



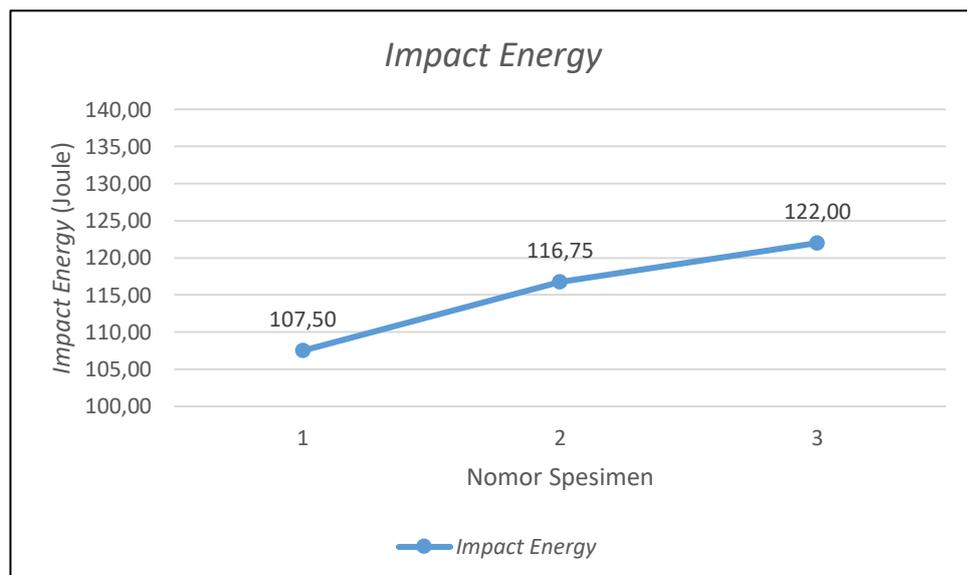
Gambar 4.33 Nilai *yield strength* dan *ultimate strength* pada uji tarik

4.2.2 Pembahasan Hasil Uji *Impact*

Setelah melakukan proses pengujian uji *impact* untuk seluruh spesimen, maka selanjutnya dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil pengujian *impact*. Dari pengujian *impact* ini akan didapatkan hasil pengujian yaitu berupa nilai *impact energy* pada setiap spesimen yang diuji. Sehingga nantinya akan dapat diketahui seberapa tangguh spesimen tersebut ketika mendapatkan beban secara tiba-tiba. Semakin besar nilai *impact energy*-nya maka material tersebut akan semakin tangguh. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai *impact energy*-nya, maka ketangguhan material juga semakin berkurang.

Pada Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm., didapatkan nilai *impact energy* berturut-turut sebesar 103,0 Joule dan 112,0 Joule. Sehingga didapatkan rata-rata *impact energy* untuk Spesimen 1 yaitu sebesar 107,5 Joule. Kemudian pada Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm didapatkan nilai *impact energy* sebesar 117,0 Joule dan 116,5 Joule. Sehingga didapatkan rata-rata *impact energy* untuk Spesimen 2 yaitu sebesar 116,75 Joule. Selanjutnya pada Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm., didapatkan nilai *impact energy* sebesar 121 Joule dan 123 Joule. Sehingga didapatkan rata-rata *impact energy* untuk Spesimen 3 yaitu sebesar 122 Joule.

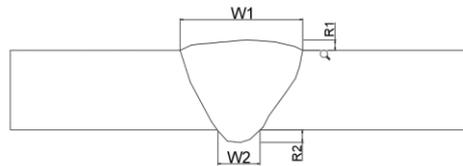
Dari nilai yang diperoleh, berturut-turut untuk nilai *impact energy* dari yang terkecil menuju ke yang terbesar adalah dari spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Berdasarkan teori berlaku, diketahui bahwa semakin besar nilai *heat input* yang digunakan maka semakin besar juga *impact energy*-nya. Teori tersebut juga berarti bahwa semakin kecil nilai *heat input* maka ketangguhan suatu material juga akan semakin kecil. Jika dipelajari lebih lanjut, maka nilai ketangguhan dengan variasi *heat input* pada suatu material juga berkaitan dengan laju pendinginan material tersebut. Dari diagram *continuous cooling transformation* (CCT), dapat diketahui semakin besar *heat input* yang digunakan maka laju pendinginannya akan semakin lambat. Hal tersebut mengakibatkan fasa *pearlite* yang tumbuh pada material akan memiliki bentuk yang semakin kasar. Semakin kasar bentuk fasa *pearlite* suatu material, maka ketangguhannya dan keuletannya juga akan semakin meningkat. Berikut merupakan Gambar 4.34 terkait dengan nilai *impact energy* hasil pengujian *impact* untuk Spesimen 1, Spesimen 2, dan Spesimen 3.



Gambar 4.34 Nilai *impact energy*

4.2.3 Pembahasan Hasil Uji Makro Metalografi

Pada pengujian uji makro metalografi, selain untuk mengetahui *discontinuity type* pada hasil pengelasan, hasil lain yang dapat diketahui adalah terkait *weld profile*. *Weld profile* merupakan ukuran-ukuran yang terletak pada area *weld metal*. Hasil yang didapatkan dari *weld profile* diantaranya adalah R1 : *excess weld metal*, R2 : *excess penetration*, W1 : *width of the weld (face)*, W2 : *width of the weld (root)*. Berikut merupakan ilustrasi pengukuran dimensi *weld profile* dari hasil pengelasan pada Gambar 4.35.

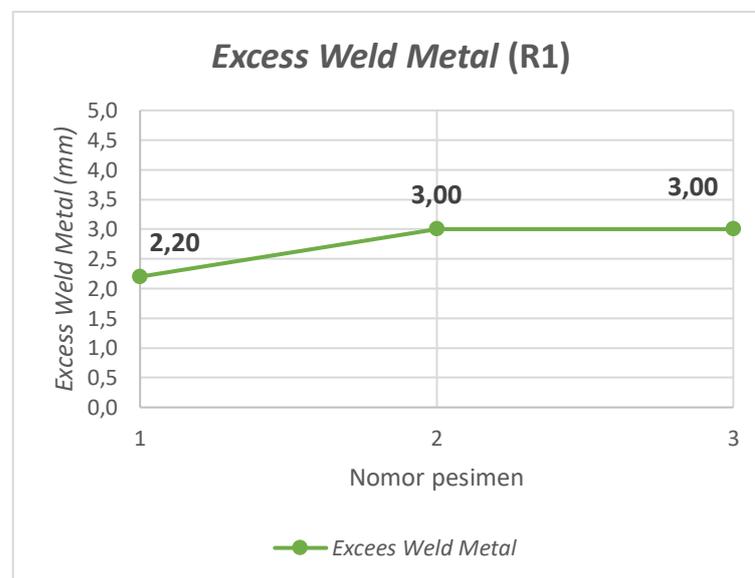


Gambar 4.35 Ilustrasi *weld profile*

Keterangan :

- R1 : *Excess weld metal*
- R2 : *Excess penetration*
- W1 : *Width of the weld (face)*
- W2 : *Width of the weld (root)*

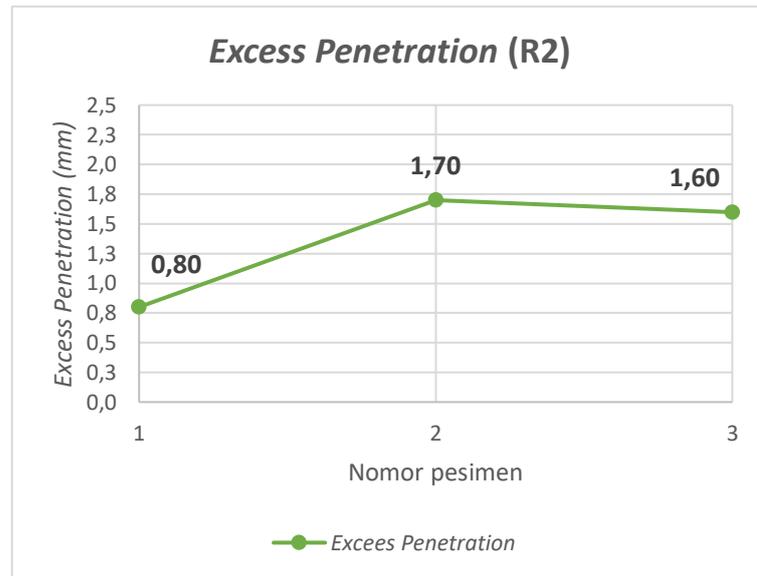
Berikut merupakan hasil pengukuran *weld profile* untuk Spesimen 1, Spesimen 2 dan Spesimen 3.



Gambar 4.36 Grafik hasil uji makro pada *excess weld metal*

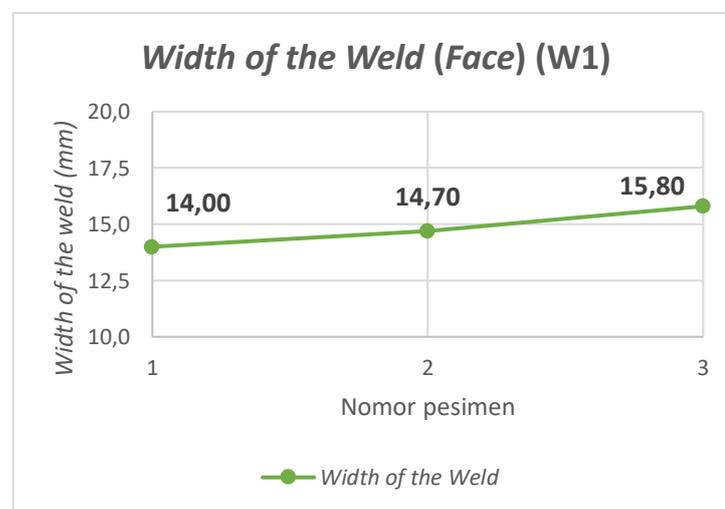
Gambar 4.36 di atas merupakan grafik mengenai *weld profile* pada *excess weld metal*. *Excess weld metal* merupakan perpanjangan *weld metal* yang diukur secara vertikal yang melebihi tinggi dari *base metal* pada bagian *face*. Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *excess weld metal*, didapatkan hasil berturut-turut dari spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 2,0 mm, 3,0 mm, dan 3,0 mm. Untuk nilai yang tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm sebesar

3,0 mm. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *heat input* yang digunakan, maka jumlah layer yang dibutuhkan pada saat pengelasan juga akan semakin banyak. Untuk jumlah *layer* yang dibutuhkan pada spesimen *heat input* 1,08 kJ/mm yaitu berjumlah 3 *layer*. Sedangkan untuk jumlah *layer* yang dibutuhkan pada Spesimen 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm yaitu berjumlah 4 *layer*. Sehingga spesimen tersebut akan memiliki *excess weld metal* yang lebih besar.



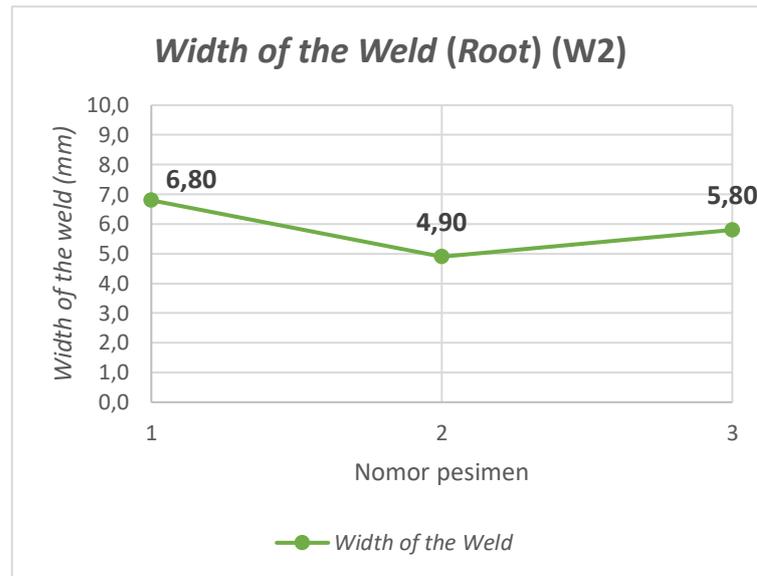
Gambar 4.37 Grafik hasil uji makro pada *excess penetration*

Gambar 4.37 di atas merupakan grafik mengenai *weld profile* pada *excess penetration*. *Excess penetration* merupakan perpanjangan *weld metal* yang diukur secara vertikal yang melebihi dari *base metal* pada bagian *root*. Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *excess penetration*, didapatkan hasil berturut-turut dari spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 0,8 mm, 1,7 mm dan 1,6 mm. Untuk nilai yang tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm sebesar 1,7 mm dan 1,6 mm. Semakin besar *heat input*, maka tingkat kedalaman penetrasi cenderung semakin dalam.



Gambar 4.38 Grafik hasil uji makro pada *width of the weld (face)*

Gambar 4.38 di atas merupakan grafik mengenai *weld profile* pada *width of the weld (face)*. *Width of the weld (face)* merupakan lebar *weld metal* yang diukur secara horizontal pada bagian *face*. Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *width of the weld (face)*, didapatkan hasil berturut-turut dari spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 14 mm, 14,7 mm dan 15,8 mm. Untuk nilai tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm sebesar 15,8 mm. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *heat input* yang digunakan, maka panas yang terjadi pada saat pengelasan akan semakin besar juga. Sehingga menyebabkan area *weld metal* semakin lebar.



Gambar 4.39 Grafik hasil uji makro pada *width of the weld (root)*

Gambar 4.39 di atas merupakan grafik mengenai *weld profile* pada *width of the weld (root)*. *Width of the weld (root)* merupakan lebar *weld metal* yang diukur secara horizontal pada bagian *root*. Untuk hasil *weld profile* pada ukuran *width of the weld (root)*, didapatkan hasil berturut-turut dari spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 6,8 mm, 4,9 mm dan 5,8 mm. Untuk nilai yang tertinggi yaitu pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm sebesar 6,8 mm. Hal tersebut dikarenakan semakin kecil *heat input* yang digunakan, maka ujung elektroda las yang digunakan pada saat pengelasan akan berbentuk tumpul. Sehingga ketika dilakukan pengelasan pada area *root* akan memiliki ukuran *weld* yang semakin lebar. Berikut merupakan Tabel 4.11 rangkuman dari seluruh pengukuran spesimen *weld profile* pada pengujian makro.

Tabel 4.11 Hasil *weld profile* pada uji makro

Weld Profile (mm)				
Spesimen	Excess weld metal (R1)	Excess penetration (R2)	Width of the weld (face) (W1)	Width of the weld (root) (W2)
1	2,20	0,80	14,00	6,80
2	3,00	1,70	14,70	4,90
3	3,00	1,60	15,80	5,80

4.2.4 Pembahasan Hasil Uji Mikro Metalografi

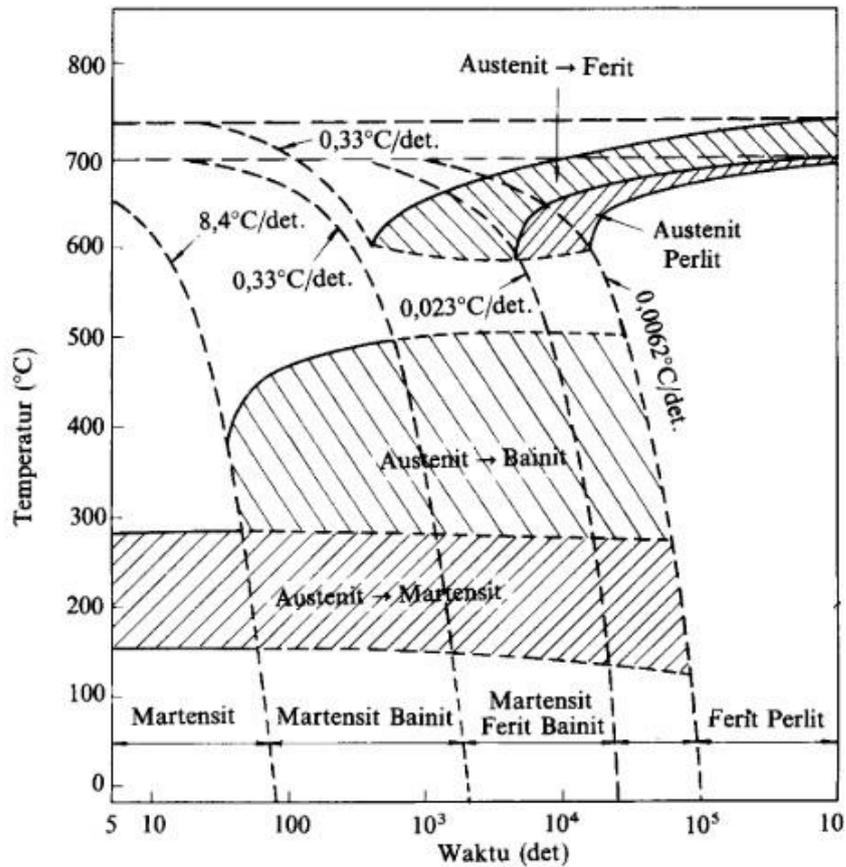
Pada pengujian mikro metalografi, akan dapat dilihat komponen struktur mikro pada setiap spesimen yang diuji. Untuk pengujian mikro metalografi ini dilakukan pada area *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal*. Pada saat pengelasan menggunakan baja berkarbon rendah, fasa yang terjadi adalah sepenuhnya *austenite*, namun pada suhu tertentu akan terjadi pengintian butir-butir *ferrite* pada batas butir *austenite*, sehingga akan terjadi dua fase yaitu fasa *austenite* dan *ferrite*. Kemudian butir-butir *ferrite* tersebut akan mengalami pertumbuhan. Namun, pada suhu yang semakin rendah atau ketika suhu telah melewati garis *eutectoid* pada diagram Fe-Fe₃C, sisa fasa *austenite* akan berubah menjadi fasa *pearlite*. Fasa *pearlite* terdiri dari 2 fasa, yaitu fasa *ferrite* dan juga fasa *cementite*. Sehingga pada akhirnya akan terdapat dua fasa yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*. Dari kedua kandungan fasa tersebut, untuk fasa *ferrite* biasanya memiliki warna yang cenderung lebih terang dan memiliki sifat yang lebih lunak dan lebih ulet, sehingga akan membuat material lebih mudah patah. Sedangkan untuk fasa *pearlite* biasanya memiliki warna cenderung lebih gelap dan memiliki sifat material yang lebih keras dibanding dengan fasa *ferrite*. Untuk mengetahui perbedaan struktur mikro untuk setiap variasi, berikut merupakan Gambar 4.40 terkait dengan struktur mikro untuk bagian *weld metal* pada ketiga spesimen.



Gambar 4.40 Hasil pengujian mikro metalografi pada untuk spesimen dengan variasi 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm

Gambar 4.40 di atas merupakan hasil pengujian mikro dengan perbesaran 100x pada variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm, dan 1,44 kJ/mm. Dari gambar tersebut, dapat diamati bahwa semakin besar *heat input*, maka akan mengakibatkan fasa *pearlite* yang terbentuk semakin kasar. Dan dengan menggunakan *heat input* yang lebih rendah maka akan mengakibatkan struktur mikronya akan semakin halus. Dengan terbentuknya struktur mikro yang semakin kasar, akan mengakibatkan kekuatan tarik dan kekerasan menurun serta akan meningkatkan nilai katangguhannya.

Jinju *et al* (2020) pada penelitiannya juga menyebutkan bahwa dengan menggunakan *heat input* atau masukan panas yang rendah maka struktur mikro yang terbentuk akan lebih halus, tetapi dengan meningkatkan nilai dari *heat input*-nya maka struktur mikro akan berubah menjadi kasar. Pembentukan struktur mikro pada material ini sangat berkaitan dengan diagram *continuous cooling transformation* (CCT). Pada diagram CCT akan didapatkan informasi mengenai hubungan laju pendinginan dengan struktur mikro yang akan dibentuk. Pada penelitian ini, dikarenakan tidak ada perlakuan khusus pada laju pendinginan, maka berdasarkan diagram CCT fasa yang didapat adalah fasa *ferrite* dan *pearlite*. Semakin besar *heat input* yang digunakan, maka laju pendinginan akan semakin lambat. Sebaliknya, jika *heat input* yang digunakan semakin kecil, maka laju pendinginan akan semakin cepat. Dengan terjadinya laju pendinginan yang lebih cepat akan mengakibatkan fasa *pearlite* yang lebih halus, sedangkan laju pendinginan yang lambat akan membentuk fasa *pearlite* yang lebih kasar. Sehingga dari perbedaan struktur mikro tersebut, akan menyebabkan perbedaan sifat-sifat mekaniknya. Berikut merupakan Gambar 4.41 untuk diagram *continuous cooling transformation* (CCT).



Gambar 4.41 Diagram *continuous cooling transformation* (CCT) (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000)

4.2.5 Pembahasan Hasil Uji Laju Korosi

Berdasarkan grafik tafel yang diperoleh dari ketiga spesimen, untuk Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm memiliki nilai kerapatan arus yaitu $1,54 \times 10^{-5}$ A/cm² dan nilai potensial yaitu sebesar -456,33 mV. Sehingga memiliki nilai laju korosi yaitu sebesar 0,17931 mm/a. Kemudian untuk Spesimen 2 dengan variasi *heat input* 1,26 kJ/mm memiliki nilai kerapatan arus yaitu $1,77 \times 10^{-5}$ A/cm² dan nilai potensial yaitu sebesar -498,01 mV. Sehingga memiliki nilai laju korosi yaitu sebesar 0,20658 mm/a. Selanjutnya untuk Spesimen 3 dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm memiliki nilai kerapatan arus yaitu $4,62 \times 10^{-5}$ A/cm² dan nilai potensial yaitu sebesar -519,44 mV. Sehingga memiliki nilai laju korosi yaitu sebesar 0,53865 mm/a. Berikut merupakan Tabel 4.12 untuk hasil uji laju korosi.

Tabel 4.12 Hasil uji laju korosi

Spesimen	I _{corr} (A/cm ²)	E _{corr} (V)	Laju Korosi (mm/a)
1	$1,54 \times 10^{-5}$	-0,45633	0,17931
2	$1,77 \times 10^{-5}$	-0,49801	0,20658
3	$4,62 \times 10^{-5}$	-0,51944	0,53865

Dari tabel 4.12, didapatkan nilai laju korosi untuk spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm berurutan adalah 0,17931 mm/a, 0,20658 mm/a, dan

0,53865 mm/a. Hal tersebut menunjukkan untuk nilai laju korosi terendah yaitu pada Spesimen 1 dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm dan untuk laju korosi tertinggi yaitu pada Spesimen 3 dengan variasi 1,44 kJ/mm. Berdasarkan teori yang ada pada Fontana (1987), bahwa material yang memiliki laju korosi 0,1-0,5 mm/a masuk dalam kategori *good*, sedangkan untuk laju korosi 0,5-1,0 mm/a masuk dalam kategori *fair*. Sehingga berdasarkan teori tersebut, untuk variasi *heat input* 1,08 kJ/mm dan 1,26 kJ/mm yang memiliki nilai laju korosi 0,17931 mm/a dan 0,20658 mm/a masuk dalam kategori *good*. Sedangkan untuk specimen dengan variasi *heat input* 1,44 kJ/mm yang memiliki nilai laju korosi 0,53865 mm/a masuk dalam kategori *fair*. Dengan adanya perbedaan variasi *heat input* yang dilakukan, maka akan didapatkan nilai laju korosi yang berbeda. Variasi *heat input* akan berpengaruh pada panas dan laju pendinginan yang terjadi pada saat melakukan pengelasan. Sehingga akan terjadi perbedaan *residual stress* atau tegangan sisa pada setiap perbedaan *heat inputnya*. Semakin tinggi *heat input* yang digunakan, maka akan membuat *residual stress* yang semakin tinggi juga. Sehingga, dengan meningkatnya tegangan sisa yang terjadi pada material, akan menyebabkan tingkat korosi juga semakin meningkat. Dari perbedaan tegangan sisa tersebut, akan berpengaruh pada nilai elektropotensial pada material tersebut. Hal tersebut dapat diketahui dari Tabel 4.12 bahwa nilai elektropotensial dari yang terbesar ke terkecil adalah dari *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm. Semakin kecil nilai elektropotensial suatu material, maka material tersebut akan semakin mudah untuk teroksidasi, sehingga menyebabkan material tersebut akan semakin mudah mengalami korosi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan, maka telah didapatkan beberapa kesimpulan. Adapun kesimpulan yang telah didapat adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian tarik dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm berturut-turut memiliki nilai *yield strength* sebesar 349,66 MPa, 316,9 MPa, 307,85 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 482,1 MPa, 466,025 MPa, 461.325. Sehingga kekuatan tarik terbesar dan optimum terjadi pada variasi *heat input* 1,08 kJ/mm.
2. Hasil pengujian *impact* berupa nilai *impact energy* yaitu berturut-turut terdapat pada spesimen dengan variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm sebesar 107,5 Joule, 116,75 Joule, 122 Joule. Sehingga nilai *impact energy* tertinggi terjadi pada variasi *heat input* 1,44 kJ/mm.
3. Pada hasil pengujian makro metalografi menunjukkan bahwa semakin tingginya *heat input* akan membuat lebar *weld* yang semakin lebar. Dan pada pengujian mikro metalografi didapatkan bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan maka akan menyebabkan struktur mikro menjadi lebih kasar. Sehingga hal tersebut akan membuat nilai kekuatan tarik dan kekerasan menurun dan meningkatkan nilai ketangguhannya.
4. Pada pengujian laju korosi didapatkan bahwa nilai laju korosi berturut-turut dari variasi *heat input* 1,08 kJ/mm, 1,26 kJ/mm dan 1,44 kJ/mm yaitu sebesar 0,17931 mm/a, 0,20658 mm/a, dan 0,53865 mm/a. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar *heat input* yang digunakan pada saat pengelasan, maka akan menghasilkan nilai laju korosi yang semakin tinggi.

5.2 Saran

Dari penulisan penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa saran untuk mengembangkan penelitian ini pada waktu yang akan datang. Diantara saran tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode pengelasan yang lain dan variasi lain seperti variasi elektroda dan perlakuan panas pada proses pengelasannya.
2. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan analisis sifat mekanik lain seperti uji kekerasan dan uji *bending*.
3. Melakukan persiapan dan pengawasan dengan baik dan benar selama proses penelitian berlangsung.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Alkahla, I., & Pervaiz, S. (2017). Sustainability Assessment of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 244, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/244/1/012001>.
- Aragon-Verduzco, D. A., Olivares-Galvan, J. C., Campero-Littlewood, E., Ocon-Valdez, R., Teuffer-Zuniga, L., & Magdaleno-Adame, S. (2019). Behavior of Magnetic Properties of Power Transformers Structural Steel A36 at Different Temperatures. *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2019, Ropec*, 6–10. <https://doi.org/10.1109/ROPEC48299.2019.9057043>.
- ASME Section IX. (2019). *Qualification Standart for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazerz; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. The American Society of Mechanical Engineer. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511978371.011>.
- ASTM A36. (2008). *Specification For Carbon Structural Steel*. ASTM International.
- ASTM E23. (2016). *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0023-16B.2>.
- ASTM E8. (2013). *Standart Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM International.
- ASTM G102. (1999). *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/G0102-89R10>.
- AWS A5.1. (2012). *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. The American Welding Society.
- AWS D1.1. (2000). *Structural Welding Code-Steel*. The American Welding Society.
- Biswas, B. K., Pal, P. K., & Bandyopadhyay, A. (2015). Optimization of Process Parameters for Flux Cored Arc Welding of Boiler Quality Steel Using Response Surface Methodology and Grey-Based Taguchi Methods. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 4(1), 8–16. <https://doi.org/10.7763/ijmmm.2016.v4.217>.
- Bodude, M. A., & Momohjimoh, I. (2015). Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 03(03), 142–153. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2015.33017>.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering - An Introduction 10th Edition*. Wiley.
- Dastan, M. R., & Khalaf, G. H. (2018). Microstructure Characteristics of Brass-Coated Plain Carbon Steels via Spray Metal. *International Organiization of Scientific and Reasearch: Journal of Engineering*, 08(3), 10–16.
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*. The Ohio State University.
- Gandy, D. (2007). *Carbon Steel Handbook*. Electric Power Research Institute (Vol. 3, Issue 3).

- Hakim, R. Al. (2019). *Studi Eksperimen Penagruh Variasi Kombinasi Elektroda Dan Sudut Groove Pengelasan SMAW Pada Baja ASTM A36 Terhadap Uji Metalografi, Uji Bending, Dan Uji Impact*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan ITS.
- Handoyo, Y. (2013). Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(1), 45–53.
- Hery, & Sunaryo. (2008). *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 2 untuk SMK* (Vol. 2). Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>.
- Jinjiu, C., Fei, L., Zhisheng, W., & Weigang, L. (2020). Effect of Heat Input on the Microstructure and Mechanical Properties of a Electron Beam Welded AZ31 Magnesium Alloy. *Materiali in Tehnologije*, 54(6), 819–828. <https://doi.org/10.17222/mit.2020.073>.
- JIS G3101. (2015). *Japanese Industrial Standart G3101*. Japanese Standart Association.
- Julian, N., Budiarto, U., & Arswendo, B. (2019). Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MAG dengan Variasi Arus Pengelasan dan Media Pendingin sebagai Material Lambung Kapal. *Teknik Perkapalan*, 7(2), 421–430.
- Kamra, D., Singh, A., & Singh, H. (2015). Microstructure Analysis of Shielded Metal Arc Welding Using Different Electrode Combination. *International Journal For Technological Research In Engineering*, 2(7), 1138–1142.
- Kobayashi, T. (2002). Review paper Progress in the Instrumented Charpy Impact. *Materials Science Research International*, 8(3), 141–150.
- Kuye, S. I., & Faleti, S. I. (2010). Influence of Electrode Diameter on the Corrosion Rate of Welded Mild Steel in Cassa Juice. *Journal of Natural Sciences, Engineering and Technology*, 9(1), 124–131.
- Munandar, U. (2016). Analisis Pengaruh Kuat Arus dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Distorsi Baja SS400 Menggunakan Las Tungsten Inert Gas (TIG). *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV, Snttm Xv*, 5–6.
- Murugan, S. S. (2020). Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application. *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering*, 6(2), 28–38. <http://doi.org/10.20431/2454-9711.0602003>.
- Nejneru, C., Savin, C., Perju, M. C., Burduhos-Nergis, D. D., Costea, M., & Bejinariu, C. (2019). Studies on Galvanic Corrosion of Metallic Materials in Marine Medium. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 572(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/572/1/012106>.
- Parmar, A., & Dubey, A. (2017). Study of Heat Affected Zone for SMAW Process for Low Carbon Steel Specimen with Controlled Parameters. *International Journal of Modern Trends in Engineering & Research*, 4(11), 23–28. <https://doi.org/10.21884/ijmter.2017.4339.cy2nc>.
- Patel, D., Patel, S., Parekh, J., & Chaudhary, S. (2017). A Review on Effect of Different Process Parameters of SMAW. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 3(1), 1384–1389.
- Popović, O., Prokić-Cvetković, R., Burzić, M., & Milutinović, Z. (2010). The Effect of Heat

- Input on the Weld Metal Toughness of Surface Welded Joint. *14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology"*, September, 61–64. <http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2010/016-TMT10-227.pdf>.
- Raja, A. S., Rajendran, S., & Satyabama, P. (2013). Inhibition of Corrosion of Carbon Steel in Well Water by DL-Phenylalanine-Zn²⁺ System. *Journal of Chemistry*, August 2012. <https://doi.org/10.1155/2013/720965>.
- Riyadi, M. A. R. (2020). *Analisis Perbandingan Hasil Pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW pada Baja A36 terhadap Uji Tarik, Uji Kekerasan, dan Struktur Mikro*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan ITS.
- Rohit Jha, A. . J. (2014). Investigating the Effect of Welding Current on the Tensile Properties of SMAW Welded Mild Steel Joints. *International Journal of Engineering Research and Application*, 3(4), 1304–1307.
- Satish, B. G., & Jeergi, A. (2016). Study on Welding Procedure Specifications as Per ASME Sec IX. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4(04), 1354–1359.
- Sonawan, H., & Suratman, R. (2003). *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Alfa Beta.
- Soy, U., Iyibilgin, O., Findik, F., Oz, C., & Kiyani, Y. (2011). Determination Of Welding Parameters For Shielded Metal Arc Welding. *Scientific Research and Essays*, 6(15), 3153–3160. <https://doi.org/10.5897/SRE10.1073>.
- Thomas, R. J., & Sorensen, A. D. (2018). Charpy Impact Test Methods for Cementitious Composites: Review and Commentary. *Journal of Testing and Evaluation*, 46(6), 2422–2430. <https://doi.org/10.1520/JTE20170057>.
- Weerasekralage, L. S. S. K., Karunarathne, M., & Pathirana, D. (2019). Optimization of Shielded Metal Arc Welding SMAW Process for Mild Steel. *International Journal Institution of Engineers Sri Lanka*.
- Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. PT Pradnya Paramita.
- Yuniarto, M. I. R. (2019). *Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Dan Debit Gas Pelindung Pengelasan FCAW Pada Sambungan Baja Bki Grade A Terhadap Sifat Mekanik*. Tugas Akhir. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan ITS.
- Ziva, K. (2017). *Analisis Studi Eksperimen Underwater Weelding SMAW Di Lingkungan Laut Dengan Variasi Elektroda Terhadap Uji Impact*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan ITS.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran A Welding Procedure Specification

Welder Name : Rahmad Hariyadi
Welding Procedure : No. 01 s/d 03 **Date**, 6 - 1 - 2022
Welding Process(es) : SMAW
Joints Design (QW-402) : Butt Joint
Groove : Single Ve
Base Metals (QW-403) : A 36 to SS400 / t:10 mm L = 300 X P = 200
Filler Metals (QW-404) : E 7018 Diameter 3,2mm
Positins (QW-405) : 1G
GAS (es) : N/A
Technique (QW-410) : String or Weave

1. SMAW

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt	Travel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	85	22	110 – 120 detik
2	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	85	22	110 – 120 detik
3	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	85	22	110 – 120 detik

2. SMAW

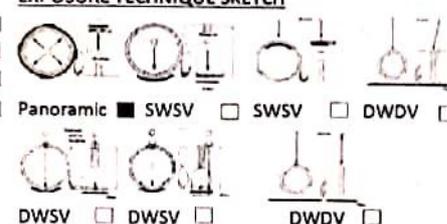
1	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	100	24	100 – 110 detik
2	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	100	24	100 – 110 detik
3	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	100	24	100 – 110 detik
4	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	100	24	100 – 110 detik

3. SMAW

1	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	115	25	90 – 110 detik
2	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	115	25	90 – 110 detik
3	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	115	25	90 – 110 detik
4	SMAW	E 7018	3,2 mm	DCSP	115	25	90 – 110 detik

Gambar A.1 Desain *welding procedure specification* (WPS)

Lampiran B NDT *Report*

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT				Sheet 1 of 1								
Customer : ATHA FAZADIMA		Report No. : 001-RT/RBT-TA/I/22		Project Name : TA MAHASISWA		Drawing No. : -								
Location : SURABAYA		Procedure No. : RBT-P-05		Work Order No. : -		Applicable Code : ASME SEC. VIII								
PART		RADIATION SOURCE		RADIOGRAPHIC FILM		LEAD SCREEN								
Name : PLATE		Isotope Type : IR-192		Brand : AGFA		Thickness: 0.125 mm								
OD : -		Activity : 40 Ci		Film Type : D7		Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front								
Base Mat'l Type : -		X-ray Equipment : -		Dimension: 4 X 10"		<input checked="" type="checkbox"/> Back								
Base Mat'l Thk. : 10 mm		Voltage : -		No. of Film in a Cassete: 1		MARKER								
Reinforcement : 4 mm		Current : -		Lead letter "B" used : -		Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/>								
Backing : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Source Size (mm) : 3 x 2		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Film Side <input type="checkbox"/>								
TECHNIQUE		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH				IMAGE QUALITY INDICATOR								
Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>						Wire Set: 1B Wire ID: 6								
Viewing : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>						Hole Designation: -		Dia.: 0.25 mm						
Exposure Time : 2 Min		Panoramic <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>		Visible Hole		1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>								
Ug : 0.51 mm		DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>		Placement:		Source Side <input checked="" type="checkbox"/>								
SOD : 381 mm		Note for sketch:		Film Side <input type="checkbox"/>		Density: Min : 2								
SSOF : 391 mm		1. SWSV: Single Wall Single Viewing		Max : 4										
Note: SOD : Source to Object Distance		2. DWSV: Double Wall Single Viewing		3. Other than listed (Please Sketch)										
SSOF : Source side to Object Film														
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity							Result		Remark / Comment
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	Acc	Rep	
11-Jan 2022		Las 1	A - B	6					√			Acc	-	Elongated 6 mm & P 1 mm
		Las 2	A - B	6					√			Acc	-	Elongated 4 mm & P 1 mm
		Las 3	A - B	6	√				√			-	Rep	IF 23 mm & P 2 mm
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC: Undercut, RC: Root Concavity, P: Porosity, INC: Inclusion, CR: Crack Welding Process(es) : SMAW Total Film/s : 4" x 10" = 3 Sheet/s 4" x 15" = - Sheet/s														
Examined By,		Reviewed/Witnessed By,			Reviewed/Witnessed By,			Reviewed/Witnessed By,						
 NDT Level II Date: 11 January 2022														

Gambar B.1 NDT Report

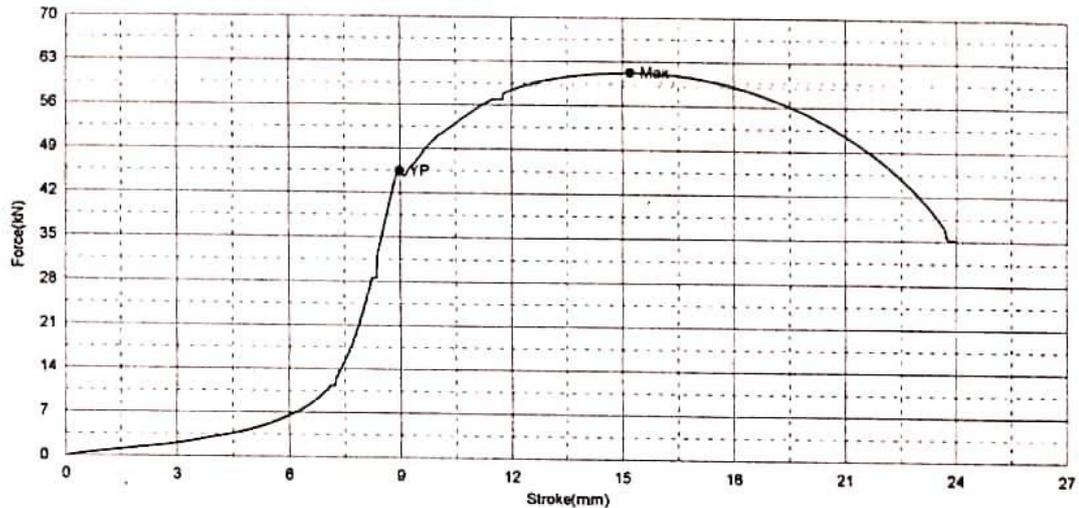
Lampiran C Form Uji Tarik, Uji *Impact*, Uji Makro Metalografi

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1.2	9,8000	18,8500	0,0001

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
1.2	184,73	45,48	61,30	246,21	331,82



Comment

Specimen breaks in the base metal area

SPK No. : 36-III/PL19/BJP/2022

Customer : ATHA FAZADIMA / T. KELAUTAN FTK-ITS

Project's name : -

Specimen : -

Material : Plate A36 to SS400 t=10mm

Weld process/Position/Welder : -

Test method : ASTM E8-21

Reference code: ASME IX:2021

Surabaya, March 28, 2022



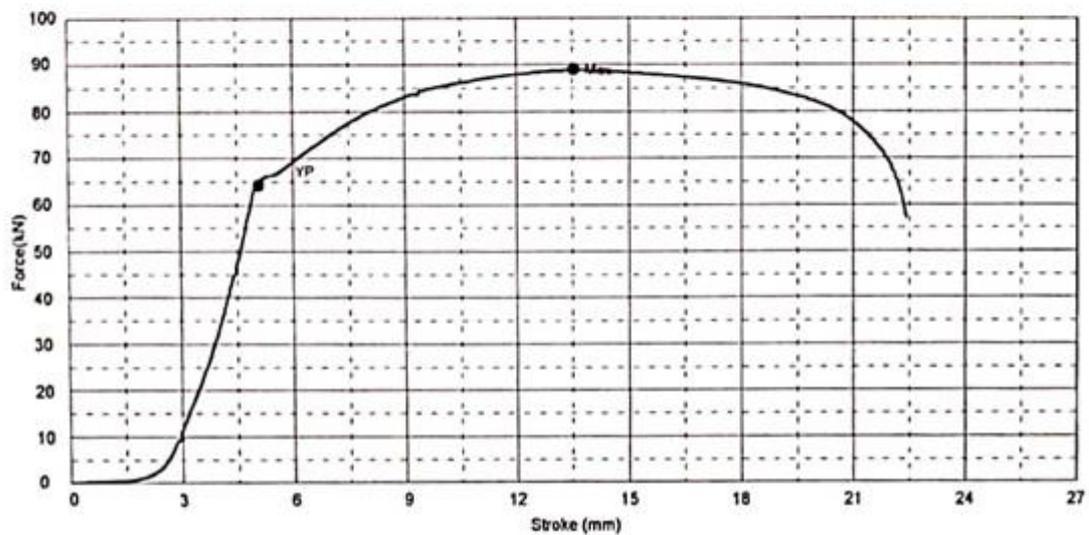
Gambar C.1 Hasil uji tarik untuk Spesimen 1 Sampel 1

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 1	9,8000	18,7000	0,0001

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
1 1	183,26	64,08	88,35	349,66	482,10



Comment

Specimen breaks in the base metal area

SPK No. : 36-III/PL19/BJP/2022
 Customer: ATHA FAZADIMA / T. KELAUTAN FTK-ITS
 Projects name : -
 Specimen : -
 Material : Plate A36 to SS400 t=10mm
 Weld. Process/Position/Welder : -
 Test Method : ASTM E8-21
 Reference code: ASME IX:2021

Surabaya, March 28, 2022

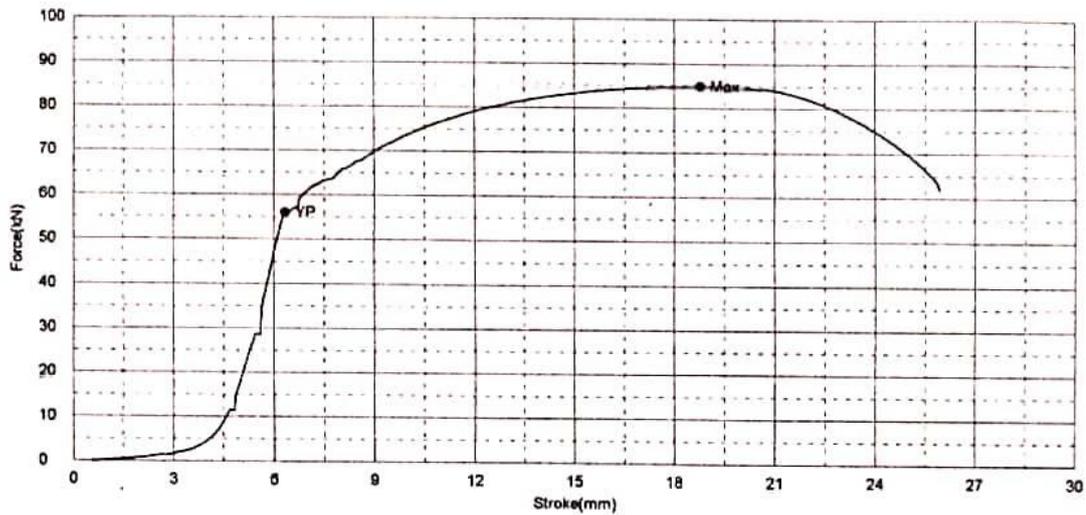
Gambar C.2 Hasil uji tarik untuk Spesimen 1 Sampel 2

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
2.1	9,8000	18,8500	0,0001

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
2.1	184,73	55,99	84,99	303,10	460,08



Comment

Specimen breaks in the base metal area

SPK No. : 36-III/PL19/BJP/2022

Customer : ATHA FAZADIMA / T. KELAUTAN FTK-ITS

Project's name: -

Specimen : -

Material : Plate A36 to SS400 t=10mm

Weld. process/Position/Welder : -

Test method : ASTM E8-21

Reference code: ASME IX.2021

Surabaya, March 28, 2022



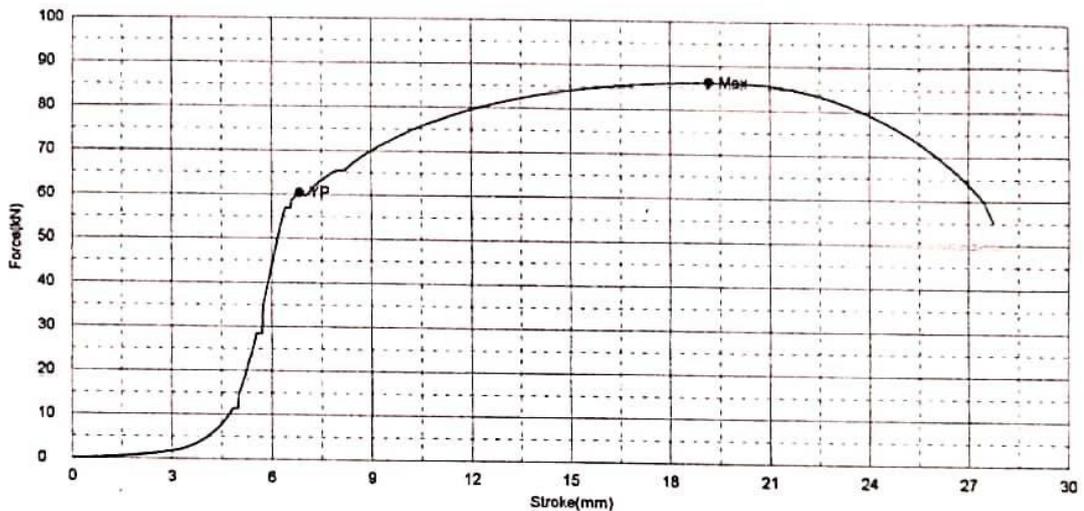
Gambar C.3 Hasil uji tarik untuk Spesimen 2 Sampel 1

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
2.2	9,8000	18,6500	0,0001

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
2.2	182,77	60,44	86,26	330,70	471,97



Comment

Specimen breaks in the base metal area

SPK No. : 36-III/PL19/BJP/2022

Customer : ATHA FAZADIMA / T. KELAUTAN FTK-ITS

Project's name : -

Specimen : -

Material : Plate A36 to SS400 t=10mm

Weld process/Position/Welder : -

Test method : ASTM E8-21

Reference code : ASME IX.2021

Surabaya, March 28, 2022

(.....)

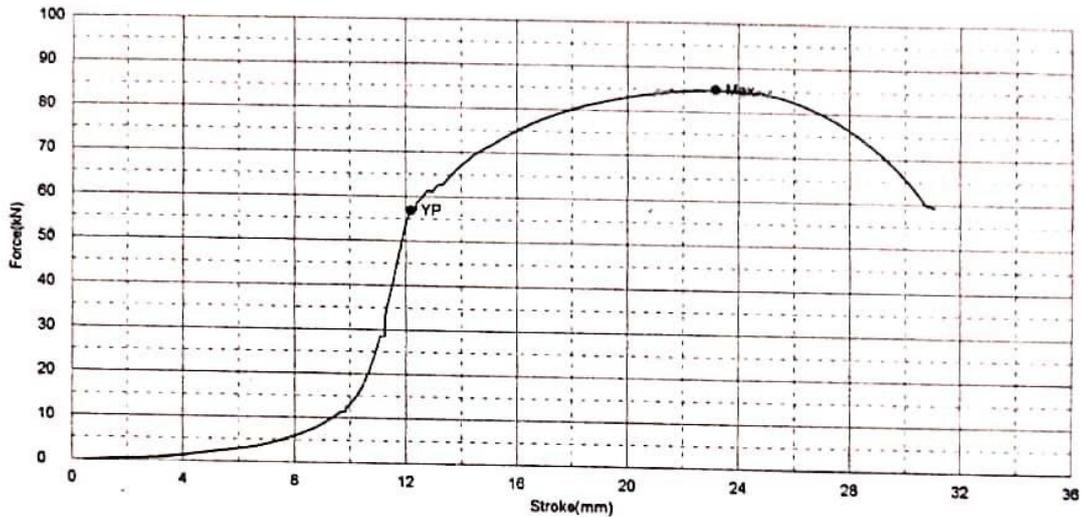
Gambar C.4 Hasil uji tarik untuk Spesimen 2 Sampel 2

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
3.1	9,8000	18,9000	0,0001

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
3.1	185,22	56,87	85,04	307,03	459,12



Comment

Specimen breaks in the base metal area

SPK No. : 36-III/PL19/BJP/2022

Customer : ATHA FAZADIMA / T. KELAUTAN FTK-ITS

Project's name : -

Specimen : -

Material : Plate A36 to SS400 t=10mm

Weld. process/Position/Welder : -

Test method : ASTM E8-21

Reference code : ASME IX:2021

Surabaya, March 28, 2022



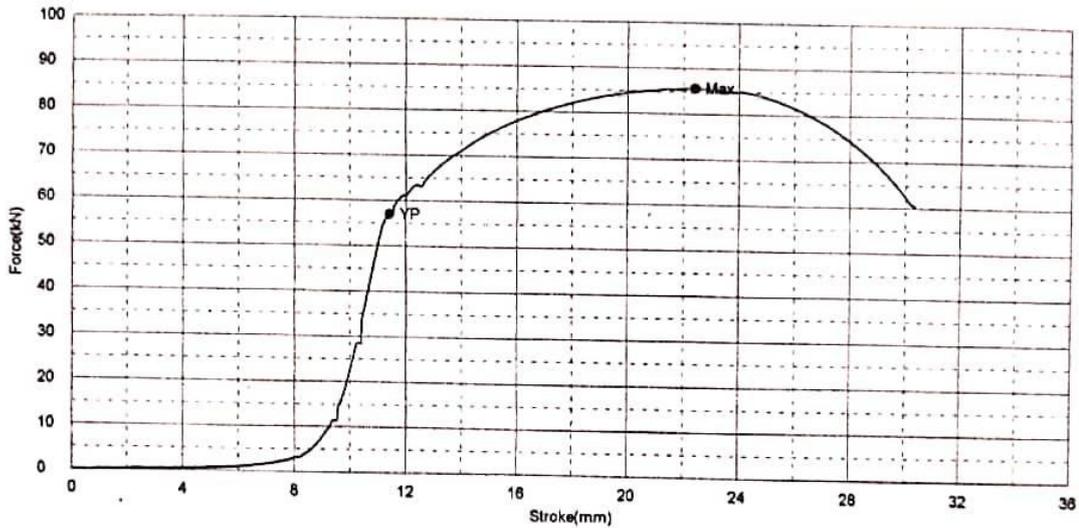
Gambar C.5 Hasil uji tarik untuk Spesimen 3 Sampel 1

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
3.2	9,8000	18,8500	0,0001

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
3.2	184,73	57,02	85,63	308,68	463,53



Comment

Specimen breaks in the base metal area

SPK No. : 36-III/PL19/BJP/2022

Customer : ATHA FAZADIMA / T. KELAUTAN FTK-ITS

Project's name : -

Specimen : -

Material : Plate A36 to SS400 t=10mm

Weld. process/Position/Welder : -

Test method : ASTM E8-21

Reference code : ASME IX:2021

Surabaya, March 28, 2022

(Signature)
Agus

Gambar C.6 Hasil uji tarik untuk Spesimen 3 Sampel 2

	Laboratorium Uji Bahan	No Dok	
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No Rev	0
	DATA PRIMER PENGUJIAN	Tanggal	16/07/2018
	PUKUL TAKIK (IMPACT TEST)	Halaman	-

No. SPK : 39-11 / PL19/BJP/20...22
 Perusahaan/Instansi : ATIA FAZA OIMA
 Data benda uji : Butt joint Plate A36 to SS400 Thick. 10mm
 Proses las/Posisi/Juru las :
 Standar acuan : ASTM E23 : 2018

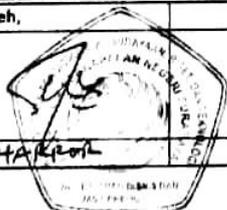
Peralatan:
 Mesin uji impact PW15 SN. 003064/0001
 Thermocouple TM-917 SN. I.129350
 Jangka sorong Mitutoyo 300mm Analog SN. 3136092
 Jangka sorong Mitutoyo 300mm Digital SN. 1781

Data pengujian:

No.	Penandaan	Ukuran (mm)	Janis Takik	Lokasi Takik	Posisi	Suhu Uji (°C)	Energi Impak (J)	Rerata (J)	Lateral Exp. (mm)	Keterangan
1	1A	8x10x55	V 45°	WM	-	26,2	103,0			
2	1B	-	V 45°	WM	-	-	112,0			
3	2A	-	V 45°	WM	-	-	117,0			
4	2B	-	V 45°	WM	-	-	116,5			
5	3A	-	V 45°	WM	-	-	121,0			
6	3B	-	V 45°	WM	-	-	123,0			
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							

Catatan : WM = Weld Metal BM = Base Metal FL = Fusion Line HAZ = Heat Affected Zone

Surabaya,

Diuji oleh,	Disaksikan oleh,
	

Gambar C.7 Hasil uji impact



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
 POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
 UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukohilo - Surabaya 60111
 TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444

Laman : www.ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 TEST REPORT ATTACHMENT

Nomor : 0381 /PL19/BJP/2022
 Number

No. SPK. 36-III/PL19/BJP/2022

F 06-LUB-PPNS

III. METALLOGRAPHIC EXAMINATION					
Etching Reagent : 3% Nital Magnification : 2.25x		<input type="checkbox"/> Microscopic examination <input checked="" type="checkbox"/> Macroscopic examination			
Sketch:		Note: W1= Width of the weld (face) W2= Width of the weld (root) R1= Excess weld metal R2= Excess penetration			
EXAMINATION RESULTS					
Stamp	Discontinuity Type	Size (mm)	Discontinuity Type	Size (mm)	
I	<input type="checkbox"/> Crack	-	<input type="checkbox"/> Continuous undercut	-	
	<input type="checkbox"/> Lack of fusion	-	<input type="checkbox"/> Intermittent undercut	-	
	<input type="checkbox"/> Incomplete root penetration	-	<input checked="" type="checkbox"/> No imperfection	-	
	Weld Profile		Weld Profile		
	Horizontal Leg (HL)	-	Excess weld metal (R1)	2.20	
	Vertical Leg (VL)	-	Excess penetration (R2)	0.80	
	Effective Throat (ET)	-	Width of the weld (face) (W1)	14.00	
	Concavity	-	Width of the weld (root) (W2)	6.80	

Surabaya, March 28, 2022
 Diuji oleh,

Keterangan / Notes :
 1. Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
 It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
 2. Hasil pengujian ini tidak untuk dipublikasikan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
 This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman
 4 dari 7

Gambar C.8 Hasil uji makro metalografi untuk Spesimen 1



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 TEST REPORT ATTACHMENT

Nomor Number	: 0381 /PL19/BJP/2022
-----------------	-----------------------

No. SPK 36-III/PL19/BJP/2022

F 06-LUB-PPNS

METALLOGRAPHIC EXAMINATION				
Etching Reagent : 3% Nital	<input type="checkbox"/> Microscopic examination			
Magnification : 2.25x	<input checked="" type="checkbox"/> Macroscopic examination			
Sketch:	Note: W1= Width of the weld (face) W2= Width of the weld (root) R1= Excess weld metal R2= Excess penetration			
EXAMINATION RESULTS				
Stamp	Discontinuity Type	Size (mm)	Discontinuity Type	Size (mm)
2	<input type="checkbox"/> Crack	-	<input type="checkbox"/> Continuous undercut	-
	<input type="checkbox"/> Lack of fusion	-	<input type="checkbox"/> Intermittent undercut	-
	<input type="checkbox"/> Incomplete root penetration	-	<input checked="" type="checkbox"/> No imperfection	-
	Weld Profile		Weld Profile	
	Horizontal Leg (HL)	-	Excess weld metal (R1)	3.00
	Vertical Leg (VL)	-	Excess penetration (R2)	1.70
	Effective Throat (ET)	-	Width of the weld (face) (W1)	14.70
	Concavity	-	Width of the weld (root) (W2)	4.90

Surabaya, March 28, 2022
 Diuji oleh,

 WUHAN Purli Herminia

Keterangan / Notes:
 1. Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
 It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
 2. Hasil pengujian ini tidak untuk dikonsumsi dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
 This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman
3 dari 7

Gambar C.9 Hasil uji makro metalografi untuk Spesimen 2



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 TEST REPORT ATTACHMENT

Nomor : 0381 /PL.19/BJP/2022
 Number

No SPK 36-III/PL19/BJP/2022

F 06-UJB-PPNS

METALLOGRAPHIC EXAMINATION				
Etching Reagent : 3% Nital	<input type="checkbox"/> Microscopic examination			
Magnification : 2.25x	<input checked="" type="checkbox"/> Macroscopic examination			
Sketch:	Note: W1= Width of the weld (face) W2= Width of the weld (root) R1= Excess weld metal R2= Excess penetration			
EXAMINATION RESULTS				
Stamp	Discontinuity Type	Size (mm)	Discontinuity Type	Size (mm)
3	<input type="checkbox"/> Crack	-	<input type="checkbox"/> Continuous undercut	-
	<input type="checkbox"/> Lack of fusion	-	<input type="checkbox"/> Intermittent undercut	-
	<input type="checkbox"/> Incomplete root penetration	-	<input checked="" type="checkbox"/> No imperfection	-
	Weld Profile		Weld Profile	
	Horizontal Leg (HL)	-	Excess weld metal (R1)	3.00
	Vertical Leg (VL)	-	Excess penetration (R2)	1.60
	Effective Throat (ET)	-	Width of the weld (face) (W1)	15.80
	Concavity	-	Width of the weld (root) (W2)	5.80

Surabaya, March 28, 2022
 Druji oleh,
 Ditetapkan oleh,

Pernyataan / Notes:
 1. Dilarang menjeribanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
 It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
 2. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian on
 This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman 6 dari 7

Gambar C.10 Hasil uji makro metalografi untuk Spesimen 3

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran D Sertifikat *Welder*



SERTIFIKAT UJI KUALIFIKASI JURU LAS

Welder Approval Test Certificate

No. 00221.0719.SB01166-LAS

Penandaan / Designation : 111 T BW 1.1 FM1 B t2,97 D168,3 H-L045 ss nb
 WPS No. / WPS No. : WPS/SAW-FCAW/PPNS/002
 Nama juru las / Welder name : RAHMAD HARIYADI No. identifikasi / Identification no. : 3578032912690003
 Tempat/tgl lahir / Place/date of birth : PAMEKASAN, 29-12-1969 Metode identifikasi / Method of identification : KTP
 Pemohon / Applicant : POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
 Kode/standar uji / Code/testing standard : Rules for Welding (Pt.1, Vol. VI) Pengetahuan las / Job knowledge : Not tested



	Benda uji <i>Test piece</i>	Rentang kualifikasi <i>Range of qualification</i>
Proses Las <i>Welding Process(es)</i>	111	111 - Manual metal arc welding (SMAW)
Modus transfer <i>Transfer mode</i>	--	N/A
Tipe produk (pelat atau pipa) <i>Product type (plate or pipe)</i>	T	P ; T
Tipe las <i>Type of weld</i>	BW	BW-P ; BW-T
Grup/subgrup material induk <i>Parent material group(s)/subgroups</i>	1.1	N/A
Grup kawat las <i>Filler material / group(s)</i>	FM1	FM1, FM2
Kawat las (penandaan) <i>Filler material (designation)</i>	B	A, B, R, RA, RB, RC, RR
Gas Pelindung <i>Shielding gas</i>	--	N/A
Bahan bantu (misalnya puring gas) <i>Auxiliaries (e.g. backing gas)</i>	--	N/A
Tipe arus dan polaritas <i>Type of current and polarity</i>	DC-EP	N/A
Tebal material (mm) <i>Material thickness (mm)</i>	2.97	3 ~ 5.94
Tebal deposit las (mm) <i>Deposited thickness (mm)</i>	2.97	3 ~ 5.94
Diameter luar pipa (mm) <i>Pipe outside diameter (mm)</i>	168.3	≥ 84.14
Posisi las <i>Welding position</i>	H-L045	PA (1G), PC (2G), PF(3G-up), PE (4G), PH (5G-up), H-L045 (6G-up)
Detail las <i>Weld details</i>	ss nb	ss nb; ss mb; bs
Multi /satu lapisan <i>Multi / single layer</i>	--	N/A

Tipe pengujian <i>Type of test</i>	Dilakukan dan lulus <i>Performed and accepted</i>	Tidak diuji <i>Not tested</i>	Lembaga penguji : PT. BIRU KLASIFIKASI INDONESIA (persero) <i>Examining body</i>
Uji visual <i>Visual testing</i>	✓	--	Tempat dan tanggal uji : 10 April 2019 <i>Place and date of test</i>
Uji radiografi <i>Radiographic test</i>	✓	--	Tanggal terbit : 31 Juli 2019 <i>Date of issue</i>
Uji lengkung <i>Bending test</i>	✓	--	Berlaku s/d : 10 April 2021 <i>Valid until</i>
Uji patah <i>Fracture test</i>	--	✓	
Uji tarik bertakik <i>Notched tensile test</i>	--	✓	
Pemeriksaan makro <i>Macroscopic examination</i>	✓	--	

Revalidasi masa berlaku untuk 2 (dua) tahun berikutnya

Tanggal : <i>Date</i>	Berlaku s/d : <i>Valid until</i>	Tanggal : <i>Date</i>	Berlaku s/d : <i>Valid until</i>
Tanda tangan : <i>Signature</i>		Tanda tangan : <i>Signature</i>	

¹⁾ Jika juru las bekerja secara kontinyu sesuai dengan rentang kualifikasi diatas dan dikonfirmasi oleh welding supervisor.
Provided welder continuously weld in accordance with range of qualification above and confirmed by welding supervisor.

F32.2.02-2018/Rev.3

174801

Gambar D.1 Sertifikat welder

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan dan penyelesaian laporan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, antara lain :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kelancaran kepada penulis dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan semangat, dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
3. Seluruh anggota keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.
4. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D., selaku dosen pembimbing 1 yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc., selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D, Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D., dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan nasehat dalam penyempurnaan dan perbaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Murdjito, M. Sc. selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menempuh dunia perkuliahan dari awal hingga akhir.
8. Teman-teman Revastra 2018 yang selalu menemani dalam masa perkuliahan.
9. Anugerah, Kevin, Raymond, dan Faruq, teman-teman satu dosen pembimbing yang telah bekerja sama dalam menyelesaikan seluruh rangkaian tugas akhir
10. Arek-arek Rumah Dinas yang telah memberikan hambatan serta dukungan pada masa perkuliahan.
11. Teman-teman Kontainer yang telah menemani dalam penyelesaian tugas akhir.
12. Pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu saya yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap yaitu Atha Fazadima. Penulis lahir di Malang, 21 September 1999 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Achmad Chumaidi dan Ibu Dwina Moentamaria. Penulis mengawali Pendidikan formal di TK Al-Kautsar Malang, kemudian melanjutkan jenjang sekolah dasar di Madrasah Ibtidaiyah Negeri Malang 1. Kemudian untuk jenjang sekolah menengah pertama yaitu di SMP Negeri 6 Malang. Untuk jenjang sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 3 Malang dan lulus pada tahun 2018. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam menjalani dunia perkuliahan, penulis juga aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan yaitu staf kegiatan POMITS 2019 dan GERIGI 2019. Selain itu, penulis juga mengikuti organisasi menjadi staf keprofesian tahun 2020 dan ketua divisi keprofesian tahun 2021 di Himatekla. Penulis juga mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang sebidang dengan teknik kelautan. Penulis melakukan kerja praktek di PT. Terminal Teluk Lamong selama 2 bulan di daerah perbatasan Gresik-Surabaya, Jawa Timur di divisi *engineering*. Selanjutnya penulis melakukan penelitian tugas akhir sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi *Heat Input* terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja *Structural Steel* 400 (SS400)”.

Email : athafazadimaa@gmail.com

Ditetapkan di Surabaya

REKTOR INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER,

MOCHAMAD ASHARI
NIP 196510121990031003