



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISIS PERBANDINGAN HASIL PENGELASAN FCAW,
GTAW, DAN SMAW PADA BAJA A36 TERHADAP UJI
TARIK, UJI KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO**

Muhammad Akbar Refoputra Riyadi

NRP 04311640000117

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

**Analisis Perbandingan Hasil Pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW Pada
Baja A36 Terhadap Uji Tarik, Uji Kekerasan, dan Struktur Mikro**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

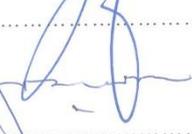
Muhammad Akbar Refoputra Riyadi

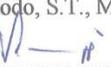
NRP. 0431164000117

Disetujui oleh:

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

2. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc  (Pembimbing 2)
.....

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

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

Surabaya, 2020

**ANALISIS PERBANDINGAN HASIL PENGELOASAN FCAW, GTAW,
DAN SMAW PADA BAJA A36 TERHADAP UJI TARIK, UJI
KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO**

Nama mahasiswa : Muhammad Akbar Refoputra Riyadi

NRP : 04311640000117

Departemen : Teknik Kelautan

Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Proses fabrikasi bangunan lepas pantai tidak pernah terlepas dari adanya proses pengelasan. Pada konstruksi bangunan lepas pantai diperlukan suatu metode pengelasan yang tepat pada baja A36, dimana baja A36 adalah salah satu bahan utama pada proses fabrikasi bangunan lepas pantai. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW pada baja A36 terhadap uji Tarik, uji kekerasan dan struktur mikro serta akan dilakukan pemilihan metode yang tepat berdasarkan analisis hasil uji mekanik dan biaya. Hasil dari penelitian ini adalah hasil uji tarik terbaik adalah metode pengelasan GTAW dengan *ultimate strength* rata-rata adalah 452,90 MPa, hasil uji kekerasan terbaik adalah metode pengelasan GTAW dengan hasil uji kekerasan pada *weld metal* adalah sebesar 177,02 HVN, pada pengujian mikro hasil struktur *ferrite* paling sedikit adalah pada metode pengelasan GTAW dengan hasil 67% dan struktur *pearlite* paling banyak adalah pada metode pengelasan GTAW dengan hasil 33%, serta metode pengelasan yang tepat pada baja A36 adalah metode pengelasan SMAW dikarenakan selisih hasil uji mekanik yang tidak besar dengan FCAW dan GTAW tetapi selisih biaya yang dikeluarkan memiliki selisih yang cukup besar.

Kata kunci: Pengelasan, Baja A36, FCAW, GTAW, SMAW, Uji Tarik, Uji Kekerasan, Uji Mikro

COMPARATIVE ANALYSIS OF FCAW, GTAW, AND SMAW WELDING RESULTS ON A36 STEEL AGAINST TENSILE TEST, HARDNESS TEST, AND MICROSTRUCTURE

Student Name : Muhammad Akbar Refoputra Riyadi

Reg. Number : 04311640000117

Department : Teknik Kelautan

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

Dr. Ir. Hasan Ikhvani, M.Sc.

ABSTRACT

Welding process is an important stages on offshore structure fabrication. In the construction of offshore structures required the existence of an appropriate welding method on A36 steel, because A36 steel is one of the main materials in the fabrication process of offshore structures. In this study there is a comparison of FCAW, GTAW, and SMAW on A36 steel against the tensile test, hardness test, and microstructure. The results of this study is the best tensile test results is the GTAW welding method with an average ultimate strength results of 452,90 MPa, the best hardness test results is the GTAW welding method with an average hardness test results of 477,02 HVN on weld metal, the most pearlite structure is the GTAW welding method with the results is 67%, and the fewest ferrite structure is the GTAW welding method with the results is 33%. The most proper welding method for A36 steel is the SMAW welding method because of small difference on mechanics result, but the price difference with FCAW and GTAW method is quite large.

Keywords: Welding, A36 Steel, FCAW, GTAW, SMAW, Tensile Test, Hardness Test, Microstructure Tes

KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang ini. Tugas akhir ini diberi judul “Analisis Perbandingan Hasil Pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW pada Baja A36 Terhadap Uji Tarik, Uji Kekerasan, dan Struktur Mikro”. Adapun tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Sarjana (S1) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Insitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Harapan penulis tugas akhir ini dapat menambah pengetahuan pembaca dan dapat memajukan dunia pendidikan di ITS dan di Indonesia, serta memajukan industri khususnya dibidang pengelasan bangunan lepas pantai. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat penulis harapkan agar tidak terjadi kesalahan di kemudian hari.

Surabaya, 20 Januari 2020

Muhammad Akbar Refoputra Riyadi

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun tugas akhir ini dari awal penyusunan hingga akhir. Kepada:

1. Bapak Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D selaku Dosen Pembimbing pertama sekaligus Kepala Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini
2. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc selaku Dosen Pembimbing kedua sekaligus Sekretaris Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk penulis demi kebaikan dan kelancaran tugas akhir ini.
4. Bapak Sholihin, S.T., M.T. selaku Dosen Wali penulis sekaligus Dosen Penguji yang selalu memberikan nasihat dan dukungan kepada penulis
5. Orang Tua penulis, Bapak Yudi Riyadi dan Ibu Delta Fitri Natalia, Tuffahati Sacharissa, serta keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibrahim T, Jordy R, Bagas A selaku teman seperjuangan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman “kura-kura ninja” yang selalu mendukung dan menemani penulis selama menjalankan studi di Teknik Kelautan
8. Teman-teman angkatan 2016 “Adhiwamastya” P56-L34 yang telah berbagi saran dan pembelajaran dari tahun pertama kuliah hingga saat ini
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, tetapi tidak bisa disebutkan satu per satu

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
1.7. Hipotesa Awal	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Baja.....	10
2.2.2 Proses Pengelasan.....	12
2.2.3 Pengelasan SMAW.....	13
2.2.4 Pengelasan GTAW	14
2.2.5 Pengelasan FCAW.....	16
2.2.6 Parameter Pengelasan	17
2.2.7 Pengujian Tidak Merusak (<i>Non Destructive Test</i>)	22
2.2.8 Pengujian Merusak (<i>Destructive Test</i>).....	24
2.2.9 Uji Mikro (<i>Micro Test</i>)	27
2.2.10 Metode Perbandingan Eksponensial.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Prosedur Penelitian	32

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1. Welding Procedure Specification (WPS).....	43
4.1.1 Welding Procedure Specification GTAW.....	43
4.1.2 Welding Procedure Specification FCAW	46
4.1.3 Welding Procedure Specification SMAW	48
4.2. Pengujian NDT Radiografi (Radiography Test).....	51
4.2.1 Pengujian NDT radiografi pada specimen hasil pengelasan GTAW 51	
4.2.2 Pengujian NDT radiografi pada specimen hasil pengelasan FCAW 54	
4.2.3 Pengujian NDT radiografi pada specimen hasil pengelasan SMAW 57	
4.3. Pengujian Tarik (Tensile Test)	60
4.3.1 Hasil Uji Tarik Pada Specimen Hasil Pengelasan GTAW	60
4.3.2 Hasil Uji Tarik Pada Specimen Hasil Pengelasan FCAW.....	63
4.3.3 Hasil Uji Tarik Pada Specimen Hasil Pengelasan SMAW	65
4.3.4 Analisis Hasil Pengujian Tarik.....	67
4.4. Pengujian Kekerasan Metode Vickers (Vickers Hardness Test).....	69
4.4.1 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW	69
4.4.2 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW	71
4.4.3 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW	72
4.4.4 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan.....	74
4.5. Pengujian Metalografi Struktur Mikro.....	75
4.5.1 Pengujian Struktur Mikro Pada Hasil Pengelasan GTAW	75
4.5.2 Pengujian Struktur Mikro Pada Hasil Pengelasan FCAW.....	77
4.5.3 Pengujian Struktur Mikro Pada Hasil Pengelasan SMAW	78
4.5.4 Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro	79
4.6. Pemilihan Metode Pengelasan yang Tepat pada Baja A36.....	80
4.6.1 Hasil Metode Pengelasan GTAW	80
4.6.2 Hasil Metode pengelasan FCAW	81
4.6.3 Hasil Metode pengelasan SMAW	81
4.6.4 Penentuan Metode Pengelasan Berdasarkan MPE	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1 Kesimpulan.....	85

5.2	Saran	86
	DAFTAR PUSTAKA	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelasan SMAW.....	14
Gambar 2.2. Pengelasan GTAW	15
Gambar 2.3 Mesin Pengelasan FCAW	17
Gambar 2.4 Posisi Pengelasan.....	18
Gambar 2.5 Macam Kampuh Las.....	19
Gambar 2.6 Dimensi Indentor dan Sudutnya	24
Gambar 2.7 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik	25
Gambar 2.8 Diagram Tegangan-Regangan	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Mesin Gerindra	33
Gambar 3.3 Mesin pemotong	34
Gambar 3.4 Baja A36 dengan bentuk kampuh single v-groove sudut 60°	34
Gambar 3.5 Proses Pengelasan.....	35
Gambar 3.6 Elektroda E-7016.....	35
Gambar 3.7 Elektroda ER 70 S-6.....	36
Gambar 3.8 Elektroda ER 71-T.....	36
Gambar 3.9 Alat NDT <i>Radiography Test</i>	37
Gambar 3.10 Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Untuk Uji Tarik.....	37
Gambar 3.11 Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Untuk Uji Tarik	38
Gambar 3.12 Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Untuk Uji Tarik.....	38
Gambar 3.13 Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Untuk Uji Kekerasan dan Struktur Mikro	38
Gambar 3.14 Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Untuk Uji Kekerasan dan Struktur Mikro	39
Gambar 3.15 Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Untuk Uji Kekerasan dan Struktur Mikro	39
Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan Vickers	40
Gambar 3.17 Proses Uji Kekerasan Vickers.....	40
Gambar 3.18 Alat Uji Tarik.....	41
Gambar 3.19 Proses Uji Tarik	41
Gambar 4.1 Hasil Pengelasan GTAW Spesimen No 1	51

Gambar 4.2 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1	52
Gambar 4.3 Hasil Pengelasan GTAW Spesimen No 2	52
Gambar 4.4 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 2	53
Gambar 4.5 Hasil Pengelasan GTAW Spesimen No 3	53
Gambar 4.6 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 3	54
Gambar 4.7 Hasil Pengelasan FCAW Spesimen No 1	54
Gambar 4.8 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 1	55
Gambar 4.9 Hasil Pengelasan FCAW Spesimen No 2	55
Gambar 4.10 Hasil NDT <i>Radiography Test</i> pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 2	56
Gambar 4.11 Hasil Pengelasan FCAW Spesimen No 3	56
Gambar 4.12 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 3	57
Gambar 4.13 Hasil Pengelasan SMAW Spesimen No 1	57
Gambar 4.14 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 1	58
Gambar 4.15 Hasil Pengelasan SMAW Spesimen No 2	58
Gambar 4.16 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1	59
Gambar 4.17 Hasil Pengelasan SMAW specimen No 3	59
Gambar 4.18 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1	60
Gambar 4.19 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1	61
Gambar 4.20 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 2	62
Gambar 4.21 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 3	62
Gambar 4.22 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 1	63
Gambar 4.23 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 2	64
Gambar 4.24 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 3	65
Gambar 4.25 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 1	65
Gambar 4.26 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 2	66

Gambar 4.27 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 3	67
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Hasil Uji Tarik Ultimate Strength.....	69
Gambar 4.29 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1	70
Gambar 4.30 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 2	70
Gambar 4.31 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 3	71
Gambar 4.32 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 1	71
Gambar 4.33 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 2	72
Gambar 4.34 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 3	72
Gambar 4.35 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 1	73
Gambar 4.37 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 3	74
Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Hasil Uji Kekerasan.....	75
Gambar 4.39 Hasil Foto Mikro Spesimen GTAW daerah <i>Base Metal</i>	76
Gambar 4.40 Hasil Foto Mikro Spesimen GTAW daerah HAZ.....	76
Gambar 4.41 Hasil Foto Mikro Spesimen GTAW daerah <i>Weld Metal</i>	76
Gambar 4.42 Hasil Foto Mikro Spesimen FCAW Daerah <i>Base Metal</i>	77
Gambar 4.43 Hasil Foto Mikro Spesimen FCAW Daerah HAZ	77
Gambar 4.44 Hasil Foto Mikro Spesimen FCAW daerah <i>Weld Metal</i>	78
Gambar 4.45 Hasil Foto Mikro Spesimen SMAW daerah <i>Base Metal</i>	78
Gambar 4.46 Hasil Foto Mikro Spesimen SMAW daerah HAZ.....	79
Gambar 4.47 Hasil Foto Mikro Spesimen SMAW daerah <i>Weld Metal</i>	79
Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Hasil Uji Struktur Mikro Pada Daerah <i>Weld Metal</i>	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja ASTM A36	12
Tabel 2.2 <i>Tensile Requirement</i> ASTM A36	12
Tabel 2.3 Spesifikasi Elektroda.....	20
Tabel 2.4 Pemilihan diameter elektroda menurut arus listrik yang di gunakan	21
Tabel 4.1 <i>Welding Procedure Specification</i> GTAW pada specimen no 1.....	44
Tabel 4.2 <i>Welding Procedure Specification</i> GTAW pada specimen no 2.....	45
Tabel 4.3 <i>Welding Procedure Specification</i> GTAW pada Specimen no 3.....	45
Tabel 4.4 <i>Welding Procedure Specification</i> FCAW Pada Specimen no 1	47
Tabel 4.5. <i>Welding Procedure Specification</i> FCAW pada Specimen no 2	47
Tabel 4.6. <i>Welding Procedure Specification</i> FCAW Pada specimen no 3.....	48
Tabel 4.7 <i>Welding Procedure Specification</i> SMAW pada Specimen no 1	49
Tabel 4.8 <i>Welding Procedure Specification</i> SMAW pada Specimen no 2	50
Tabel 4.9 <i>Welding Procedure Specification</i> SMAW Pada specimen no 3.....	50
Tabel 4.10 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen GTAW nomor 1.....	61
Tabel 4.11 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen GTAW nomor 2.....	61
Tabel 4.12 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen GTAW nomor 3.....	62
Tabel 4.13 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen FCAW nomor 1	63
Tabel 4.14 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen FCAW nomor 2	64
Tabel 4.15 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen FCAW nomor 3	64
Tabel 4.16 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen SMAW nomor 1	65
Tabel 4.17 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen SMAW nomor 2	66
Tabel 4.18 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen SMAW nomor 2	67
Tabel 4.19 Hasil Uji Struktur Mikro Pengelasan GTAW	76
Tabel 4.20 Hasil Uji Struktur Mikro Pengelasan FCAW	77
Tabel 4.21 Hasil Uji Struktur Mikro Pengelasan SMAW	78
Tabel 4.22 Kriteria Uji Metode Perbandingan Eksponensial	82
Tabel 4.23 Penilaian Kriteria Uji dengan Metode Perbandingan Eksponensial	82

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konstruksi bangunan lepas pantai sangat di butuhkan untuk mendukung eksplorasi dan eksploitasi sumber energi minyak bumi dan gas di laut dalam. Jenis bangunan lepas pantai yang mendukung kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi dan gas di laut dalam adalah seperti *fixed structure*, *floating structure*, dan *ship structure* (Firmansyah, 2017). Pada proses fabrikasi bangunan lepas pantai seperti *jacket structure* proses pengelasan sangat dibutuhkan seperti contoh pada saat penyambungan antara kaki-kaki struktur dengan *bracing*, yang kemudian joint pada *jacket structure* dapat disebut dengan *welded joint*. Dalam pengoperasiannya, struktur bangunan laut tersebut juga tidak lepas dari resiko kerusakan akibat beban-beban lingkungan laut seperti beban gelombang, arus, angin maupun beban kecelakaan seperti tabrakan, *dropped object*, tumbukan jangkar, dan bahkan akibat korosi. Proses pengelasan sangat erat kaitannya dengan reparasi maupun fabrikasi bangunan lepas pantai, Oleh karena itu pengetahuan dalam praktik pengelasan sangat di butuhkan bagi seorang insinyur teknik kelautan.

Secara sederhana dapat diartikan bahwa pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas (Jaya, 2018). Pada praktiknya dalam konstruksi bangunan laut banyak di butuhkan penyambungan dari dua buah logam baik dalam pembangunan maupun pada saat reparasi.

Terdapat berbagai macam metode pengelasan yang dapat dilakukan. Contoh pengelasan tersebut adalah GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), SAW (*Submerged Arc Welding*), dan OAW (*Oxy-Acetylene Welding*).

Menurut Sidhu dan Chatha (2012) metode pengelasan SMAW biasa digunakan pada penyambungan pipa dan material pembangunan kapal, menurut

Kumar, et al (2018) metode pengelasan GTAW biasa digunakan pada material SS304 untuk industry alat rumah tangga, tetapi GTAW juga dapat digunakan pada baja karbon seperti A36 dan A53

Pada penelitian ini penulis akan menggunakan metode pengelasan GTAW, FCAW, dan SMAW. Kemudian akan dibandingkan hasil dari pengelasan metode GTAW, FCAW, dan SMAW pada baja A36 terhadap uji tarik, uji kekerasan, dan struktur mikro.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah perbedaan hasil pengelasan FCAW, GTAW dan SMAW terhadap uji kekerasan baja A36?
2. Bagaimanakah perbedaan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW terhadap uji tarik baja A36?
3. Bagaimanakah perbedaan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW terhadap struktur mikro baja A36?
4. Apakah metode pengelasan yang tepat pada baja A36?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui perbedaan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW terhadap uji kekerasan baja A36
2. Mengetahui perbedaan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW terhadap uji tarik baja A36
3. Mengetahui perbedaan hasil pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW terhadap struktur mikro baja A36
4. Mengetahui metode pengelasan yang tepat pada baja A36

1.4. Manfaat

Dengan adanya penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan suatu manfaat yang berupa informasi mengenai perbandingan hasil pengelasan antara metode GTAW, metode SMAW dan metode FCAW terhadap kekerasan,

uji tarik dan struktur mikro material baja A36. Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk bidang industri material maupun industri konstruksi agar dapat menggunakan metode pengelasan yang tepat sesuai yang dibutuhkan pada material baja A36.

1.5. Batasan Masalah

Untuk dapat memfokuskan permasalahan pada tugas akhir ini agar didapatkan hasil yang maksimal dan tidak memperlebar permasalahan, maka perlu diberikan batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini. Berikut adalah ruang lingkup dan batasan masalah:

1. Material yang digunakan adalah Baja A36 dengan tebal 10mm.
2. Proses pengelasan yang dilakukan adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), dan FCAW (*Fluxed Core Arc Welding*).
3. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah 1G.
4. Sudut groove yang digunakan adalah 60°
5. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre-heating* dan *post-heating*.
6. Pengujian *Non-Destructive* yang dilakukan adalah metode *Radiography Test*.
7. Pengujian *Destructive Test* yang dilakukan adalah metode uji kekerasan *vickers* dan uji tarik (*tensile test*).
8. Aspek yang digunakan dalam penentuan metode pengelasan adalah hasil uji mekanik dan biaya
9. Dalam metode perbandingan eksponensial, pembobotan dilakukan menurut asumsi penulis.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan rincian laporan tugas akhir, secara ringkas menjelaskan bagian-bagian pada penelitian yang dilakukan. Berikut sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini :

1. BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi landasan latar belakang diadakannya penelitian, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian, ruang lingkup atau batasan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

2. BAB II Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori dan studi literatur yang membantu penulis untuk memperkuat pemahaman serta menentukan metode yang sesuai dengan permasalahan yang dihadapi.

3. BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi metodologi penelitian yang terdiri dari tahapan-tahapan proses penelitian atau urutan langkah yang harus dilakukan oleh penulis dalam menjalankan penelitian agar dapat berjalan sistematis, terstruktur dan terarah.

4. BAB IV Analisis Data Dan Pembahasan

Bab ini akan membahas mengenai hasil pengolahan data yang dilakukan. Hasil yang didapat kemudian diuraikan secara detail dan sistematis sehingga dapat diperoleh sebuah jawaban dari permasalahan yang dirumuskan, dan menjadi dasar untuk menarik sebuah kesimpulan.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan hingga dapat menjawab permasalahan yang ada. Saran dan rekomendasi diberikan untuk dapat memperbaiki serta peluang untuk penelitian selanjutnya.

1.7. Hipotesa Awal

1. Pengelasan GTAW akan menghasilkan jumlah pearlite yang lebih banyak dibandingkan pengelasan SMAW dan FCAW dikarenakan proses pendinginan pada masukan panas yang lebih cepat.
2. Pengelasan GTAW akan menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan SMAW dan FCAW karena pada

electrode GTAW terdapat kandungan silicon dan mangan yang lebih besar daripada elektrode SMAW dan FCAW

3. Pengelasan GTAW akan menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan SMAW dan FCAW, dikarenakan *heat input* dari pengelasan GTAW yang diterima oleh material akan lebih mudah diserap daripada *heat input* yang diterima oleh pengelasan SMAW dan FCAW

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan literatur ataupun penelitian-penelitian sebelumnya dalam lingkup bidang yang relatif sama maka pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pengamatan mengenai analisa perbandingan antara hasil pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Shielded Metal Arc Welding (SMAW), dan Fluxed Core Arc Welding (FCAW) terhadap kekerasan, uji tarik dan struktur mikro material baja A36.

Menurut da Silva et al (2018) dalam penelitiannya mengutarakan bahwa pengelasan adalah sebuah proses penting dalam pembangunan yang menggunakan struktur *metallic* seperti industri perminyakan dan industri bangunan lepas pantai.

Menurut Setyawan (2002) SMAW merupakan pengelasan manual dengan menggunakan proses panas yang dihasilkan oleh panas busur yang terjadi diantara ujung elektroda dan logam induk, Menurut Parekke (2017) GTAW merupakan pengelasan dimana sumber panas berasal dari loncatan busur listrik antara elektroda yang terbuat dari tungsten dan logam yang dilas, dan menurut Indiarsa (2017) FCAW Merupakan jenis las busur listrik yang kawat lasnya terdapat fluk (pelindung inti tengah).

Di dalam pengelasan ada beberapa bagian bahan yang mempunyai sifat keuletan bahan akibat proses pengelasan, bahan-bahan tersebut diantaranya adalah (Anugerah, 2019) : (1). *Base Metal* atau logam induk yang merupakan bagian logam yang tidak mengalami perubahan struktur akibat pengelasan, (2). HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah terpengaruh proses panas, daerah ini adalah yang paling lemah kekerasannya, keuletannya, dan tegangannya, karena struktur kristalnya banyak berubah, (3). *Weld Metal* atau logam las merupakan logam las yang mencair dan melebur bersama logam induk, daerah ini adalah yang paling baik kekerasan dan tegangan tarik jika dalam pelaksanaan pengelasan memenuhi standar

Tarigan (2016) dalam penelitiannya telah mengkaji mengenai analisa perbandingan struktur mikro dari hasil pengelasan SMAW pada *stainless steel*

AISI 304 karena pengaruh variasi diameter elektroda 2,6 mm dan 3,2 mm serta variasi arus pengelasan 85 A, 95 A, 105 A, dan 115 A, berdasarkan hasil penelitian didapat nilai kekerasan yang paling tinggi pada elektroda 3,2 mm dengan arus 85 A (85,86 HRB). Khotasa (2016) pada penelitiannya melakukan analisa kekuatan *impact* pada hasil pengelasan SMAW pada plat baja A36 dengan pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh dan menyatakan bahwa pada kampuh V semakin tinggi arus maka kekuatan *impact* nya semakin tinggi, dan pada kampuh U semakin tinggi arus maka kekuatan *impact* nya semakin rendah.

Situmorang (2018) dalam penelitiannya telah mengkaji mengenai pengaruh variasi temperatur *post weld heat treatment* dengan temperature 520°C, 620°C, dan 720°C dengan durasi 180 menit menggunakan pengelasan GTAW pada *stainless steel* 304 terhadap struktur mikro dan uji tarik dimana pada penelitian tersebut dimensi material adalah 30 cm X 15 cm yang hasilnya adalah struktur austenite paling banyak adalah pada pengelasan yang dilanjutkan dengan *post weld heat treatment* 520°C. Perdana (2017) dalam penelitiannya menganalisa uji tarik dan uji kekerasan terhadap pengelasan GTAW pada material SS400 dengan variasi arus 80 A dan 100 A, dan hasilnya kekerasan lebih tinggi pada arus 80 A ini disebabkan karena butiran ferit dan perlit pada arus 80 A lebih kecil.. Rudy (2018) melakukan penelitian terhadap sifat mekanis hasil pengelasan GTAW pada material *stainless steel* AISI 304 pada variasi arus 70 A, 130 A, dan 180 A dan setelah di analisa didapatkan bahwa arus paling baik terhadap uji kekerasan Rockwell dalam pengelasan adalah arus 180 A, aliran gas 17 liter/menit dan jenis elektroda EWLa-1.5.

Indiarsa (2018) dalam penelitiannya telah mengkaji mengenai bagaimana perbandingan sifat mekanis dan struktur mikro dari pengelasan FCAW pada sambungan material AH 36 dan ASTM A53. Dari Penelitian tersebut didapatkan kekuatan tarik *ultimate* dan *yield* terbesar adalah spesimen A2 dengan elektrode FCW-71-T, dan *heat input* 0,7 Kj/mm sedangkan untuk kekuatan tarik *ultimate* dan *yield* terkecil adalah spesimen A3 dengan elektrode FCW-71 T dan *heat input* 0,87 kj/mm. Nilai kekerasan terbesar pada bagian HAZ (*Heat Affected Zone*) baja ASTM A53 adalah spesimen A3 sebesar 174.2 HVN, pada bagian HAZ (*Heat Affected Zone*) baja AH36 adalah spesimen B3 sebesar 169 HVN sedangkan pada

bagian weld metal adalah spesimen spesimen B3 sebesar 284.8 HVN. Spesimen yang memiliki fase ferrite terbesar pada bagian HAZ Baja AH36 spesimen A1 sebesar 63,4% , pada bagian *weld metal* spesimen yang terbesar adalah spesimen A1 sebesar 61,4% selanjutnya untuk fase perlite terbesar pada bagian HAZ Baja AH36 spesimen B3 sebesar 60,4% , pada bagian *weld metal* spesimen yang terbesar adalah spesimen B3 sebesar 86,5%. Balan dkk (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa hasil uji kekerasan akan meningkat apabila elektrode kawat dari FCAW memiliki nilai kekuatan yang semakin tinggi dan kecepatan rata-rata pengelasan yang tinggi, hal ini karena kecepatan pengelasan merupakan salah satu parameter penentu *heat input*.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan perbandingan terhadap metode pengelasan GTAW dan SMAW, di antaranya adalah Zetce (2017) pada tugas akhirnya mengkaji mengenai analisa perbandingan resiko dan biaya dari pengelasan SMAW dan GTAW pada pipa bawah laut ASTM A333 Gr6 setelah melakukan analisa disimpulkan bahwa pengelasan SMAW membutuhkan biaya lebih kecil dibandingkan pengelasan GTAW dikarenakan *operating factor* dan *deposition rate* pengelasan SMAW terbilang lebih kecil dibandingkan GTAW. Najiyullah (2018) menganalisa terkait perbandingan struktur mikro, sifat mekanis, dan pitting corotion dari pengelasan SMAW dan GTAW pada Material Super Duplex SA790 S32750 dan Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa nilai heat input yang digunakan semakin tinggi akan meningkatkan sifat mekanis dari material dan ketahanan korosi yang menurun. Spesimen GTAW heat input 0,8 KJ/mm memiliki jumlah ferit 48,7% dengan nilai kekerasan rata-rata tertinggi 286,7 HVN, kekuatan maksimum 778,28 MPa dan laju korosi sumuran 6,8472 mdd. Spesimen GTAW heat input 1,5 KJ/mm memiliki jumlah ferit 46,6% dengan nilai kekerasan 294,3 HVN, kekuatan maksimum 826,55 MPa, dan laju korosi sumuran 8,4341 mdd. Pada spesimen SMAW 0,8 KJ/mm memiliki nilai 45,5% dengan nilai kekerasan 291,7 HVN, kekuatan maksimum 781,98 MPa, laju korosi sumuran 8,4527 mdd dan spesimen SMAW heat input 1,5 KJ/mm memiliki jumlah ferit 42% dengan nilai kekerasan rata-rata tertinggi 297,3 HVN, kekuatan maksimum 828,98 MPa dan memiliki laju korosi sumuran sebesar 11,1756 mdd. Pratikno (2010) pada penelitiannya membandingkan proses pengelasan SMAW

dan FCAW pada underwater welding di lingkungan laut pada baja A36 dan hasilnya adalah kekuatan tarik dan kekerasan yang dilakukan pada proses FCAW lebih besar dibandingkan proses pengelasan SMAW.

Bouaziz et al (2006) dalam penelitiannya menyatakan untuk memilih metode pengelasan yang tepat hasil uji mekanik tidak selamanya menjadi parameter utama dalam penentuannya, karena aspek biaya dan efisiensi juga menjadi parameter penentu. Kumaraswamy dkk (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa metode pengelasan SMAW adalah metode pengelasan yang tepat pada *low hydrogen ferritic steel* (LHF) dikarenakan efisiensinya. Basavarajappa dkk (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa metode pengelasan GTAW menghasilkan hasil uji kekerasan, uji bending, dan uji tarik yang berkualitas tinggi tetapi dari sisi biaya GTAW adalah metode pengelasan yang mengeluarkan biaya cukup tinggi dalam pelaksanaannya. Prasad et al (2017) dalam jurnalnya menyatakan bahwa optimasi dalam proses pengelasan adalah aspek yang sangat penting dalam menentukan metode pengelasan yang tepat

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Baja

Baja merupakan salah satu jenis material logam yang berasal dari paduan unsur besi dan karbon. Selain dari paduan besi dan karbon, baja juga dapat mengandung unsur-unsur paduan lain baik itu ditambahkan secara sengaja atau akibat kontaminasi pada saat proses pembuatan baja (misalnya fosfor, silica, mangan, dan belerang). Dalam pembuatan baja, unsur-unsur yang secara tidak sengaja mengkontaminasi di tekan serendah mungkin agar tidak mengurangi kualitas baja. Berbeda halnya dengan unsur kontaminasi, unsur paduan yang secara sengaja ditambahkan pada baja digunakan untuk memperoleh jenis baja dengan sifat tertentu. Tetapi berbeda halnya dengan pembuatan baja yang sengaja di tambahkan unsur paduan untuk mendapati sifat baja yang diinginkan.

Pada umumnya baja merupakan paduan logam yang banyak di gunakan dalam kehidupan sehari-hari manusia karena keragaman jenis dan sifatnya. Pada dasarnya baja dapat di klasifikasikan menjadi 3, yakni sebagai berikut:

- A. Klasifikasi baja menurut komposisinya : baja karbon, baja paduan, dan baja paduan tinggi.
- B. Klasifikasi baja menurut struktur mikronya : baja *eutectoid*, baja *hypoeutectoid*, dan baja *hypereutectoid*.
- C. Klasifikasi baja menurut sifat mekanis nya : baja lunak dan baja kekuatan tinggi.

Salah satu pengklasifikasian baja menurut komposisinya adalah baja karbon. Kemudian baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

Baja karbon rendah (*low carbon steel / mild steel*) merupakan baja dengan kadar karbon kurang dari 0,3%. Pada penggunaannya, baja jenis ini umumnya digunakan untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur, baut, pipa, pelat, dan sebagainya (Zakharov, 1962).

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) merupakan jenis baja karbon yang memiliki kadar karbon 0.30% sampai 0.70%. Pada penggunaannya, baja jenis ini umumnya digunakan untuk konstruksi mesin seperti: poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas, dan sebagainya (Zakharov, 1962).

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) merupakan jenis baja karbon dengan kadar karbon lebih dari 0.70%. Pada penggunaannya, baja jenis ini umumnya digunakan untuk perkakas yang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi serta tahan aus seperti: mata bor, *reamer*, dan alat-alat pemotong (Zakharov, 1962).

2.2.1.1 Baja ASTM A36

Material baja ASTM A36 merupakan jenis baja yang banyak di gunakan dalam industri maritime. Salah satu nya material baja ASTM A36 ini sering digunakan sebagai material dasar pembuatan pelat kapal. Baja ini merupakan jenis baja karbon dengan paduan rendah atau biasa disebut dengan *mild steel*. Plat baja ASTM A36 mempunya komposisi dan *tensile requirement* seperti pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1 Komposisi Baja ASTM A36

Bahan	Komposisi (%)
<i>Carbon</i>	0.26
Copper	0.2
<i>Iron</i>	99.0
<i>Manganese</i>	0.75
<i>Phosphorus</i>	< 0.04
<i>Sulphur</i>	< 0.05

(Sumber: ASTM A36, 2001)

Tabel 2.2 *Tensile Requirement* ASTM A36

<i>Plates, shapes, and bars:</i>	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Yield point, ksi [MPa]	36 [250]
Modulus Elasticity, ksi [GPa]	29000 [200]
Elongation in 8 inch [200 mm], %	20
Elongation in 2 inch [500 mm], %	23
Shear Modulus, ksi [GPa]	11500 [79,3]
Poissons Ratio	0,260
Density, lb/in² [g/cc]	0,284 [7,85]

2.2.2 Proses Pengelasan

Pengelasan dapat didefinisikan sebagai proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat. Hal yang perlu diperhatikan pada hasil pengelasan adalah tegangan sisa, karena pada pengelasan terjadi tegangan termal akibat perbedaan suhu antara logam induk dan daerah las. Tegangan sisa pada hasil pengelasan terjadi karena selama siklus termal las berlangsung di sekitar sambungan las dengan logam

induk yang suhunya relatif berubah sehingga distribusi suhu tidak merata. Proses perlakuan panas dalam dunia industri merupakan proses yang cukup berpengaruh dalam menentukan sifat fisis dan mekanis suatu bahan logam. Melalui perlakuan panas sifat-sifat yang kurang menguntungkan pada logam dapat diperbaiki. Tujuan pengerjaan panas (*Heat Treatment*) adalah untuk memberi sifat yang diinginkan.

2.2.3 Pengelasan SMAW

Proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Dari lompatan ion listrik panas yang dihasilkan besarnya dapat mencapai 4000°C hingga 4500°C.

Pada prinsipnya pengelasan SMAW menggunakan panas yang dihasilkan oleh lompatan ion listrik dengan tegangan listrik yang dipakai antara 18 volt sampai dengan 45 volt. Untuk melakukan pencairan pengelasan SMAW menggunakan arus listrik yang umumnya antara 80 Ampere sampai dengan 200 Ampere.

Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW ini ada dua macam yaitu AC (*Alternating Current*) yang merupakan arus bolak balik dan DC (*Direct Current*) yang merupakan arus searah. Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

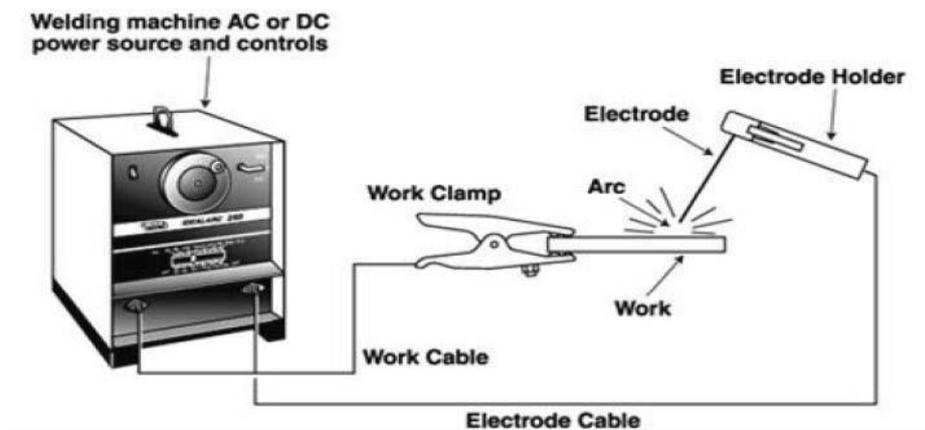
Pengelasan SMAW memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan dari pengelasan SMAW:

Kelebihan pengelasan SMAW:

1. Pengelasan sederhana dan serba guna.
2. Pengelasan SMAW dapat dilakukan di berbagai posisi.
3. Pengelasan SMAW dapat dilakukan di berbagai macam logam.

Kekurangan pengelasan SMAW:

1. Laju pengelasan SMAW lebih rendah dibandingkan dengan pengelasan semi-otomatis dan otomatis.
2. Pengelasan harus dihentikan ketika elektroda sudah terbakar habis.
3. Dengan terbentuknya slag maka efisiensi pengelasan SMAW berkurang 50% karena harus membersihkan slag nya terlebih dahulu sebelum pengelasan dilanjutkan.
4. Karena pengelasan SMAW menghasilkan asap maka diperlukan ventilasi yang memadai ketika pengelasan dilakukan di tempat tertutup.



Gambar 2.1 Pengelasan SMAW (Sumber: AWS, 2000)

2.2.4 Pengelasan GTAW

Definisi pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) adalah pengelasan dimana sumber panas berasal dari loncatan busur listrik antara elektroda yang terbuat dari tungsten dan logam yang dilas. Pengelasan GTAW merupakan sebutan yang berasal dari negara Amerika Serikat, sedangkan di Eropa

disebut TIG (*Tungsten Inert Gas*). GTAW sangat dibutuhkan di dunia industri dan konstruksi karena hasil dengan kualitas tinggi dan biaya alat yang relatif rendah.

Prinsipnya yaitu panas dari busur terjadi diantara electrode tungsten dan logam induk akan meleburkan logam pengisi ke logam induk dimana busurnya dilindungi oleh gas mulia (Ar atau He). GTAW mencairkan daerah benda kerja di bawah busur tanpa elektroda tungsten itu sendiri ikut meleleh. Pengelasan GTAW dapat dikerjakan secara manual maupun otomatis. Kawat las di tambahkan ke dalam daerah las dengan cara mengumpangkan sebatang kawat polos. Hasil pengelasan dengan proses GTAW mempunyai hasil pengelasan permukaan halus, tanpa slag dan kandungan hidrogen rendah.

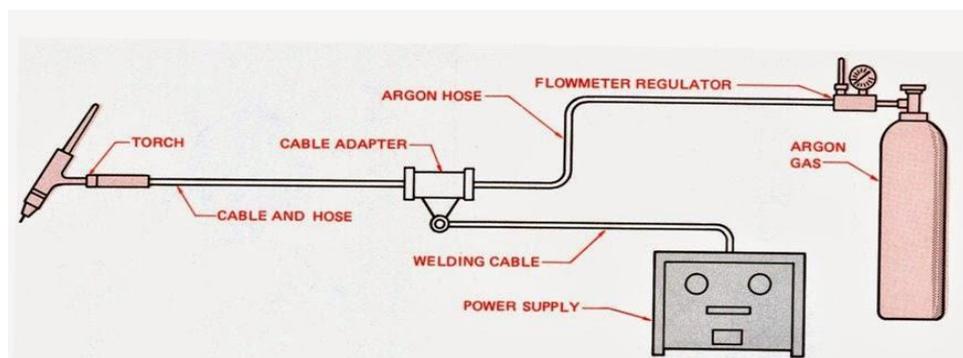
Proses pengelasan GTAW memiliki kelebihan dan kekurangannya tersendiri. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan pengelasan GTAW:

Kelebihan pengelasan GTAW:

1. Efisiensi pengelasan tinggi dan waktu pengerjaan sangat cepat.
2. Pengelasan dapat dilakukan di berbagai posisi.
3. Tidak menghasilkan kerak.
4. Membutuhkan sedikit pembersihan saat proses pengelasan.
5. Pengelasan GTAW dapat dilakukan hampir pada semua logam.

Kekurangan pengelasan GTAW:

1. Sewaktu-waktu dapat terjadi burnback.
2. Sering terjadi cacat las porositas akibat kualitas gas tidak bagus atau buruk.



Gambar 2.2. Pengelasan GTAW (Sumber: AWS, 2000)

2.2.5 Pengelasan FCAW

Flux Cored Arc Welding merupakan jenis pengelasan yang menggunakan proses otomatis maupun semi-otomatis yang memanfaatkan elektroda gulung (wire roll) untuk mencairkan logam. Dalam pengelasan FCAW ini sumber energi menggunakan arus listrik DC atau AC yang diambil dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau *rectifier*. Pengelasan FCAW merupakan salah satu jenis las listrik yang proses kerjanya memasok *filler* elektroda atau kawat las secara mekanis terus menerus ke dalam busur listrik.

Kawat las atau Elektroda yang digunakan untuk pengelasan FCAW terbuat dari logam tipis yang digulung cylindrical kemudian dalamnya diisi dengan flux yang sesuai dengan kegunaannya (Ghazvinloo, 2010). Proses Pengelasan FCAW ini sebenarnya sama dengan pengelasan GMAW, namun membedakan adalah kawat las atau elektrodanya yang berbentuk tubular yang berisi fluks sedangkan GMAW berbentuk Solid.

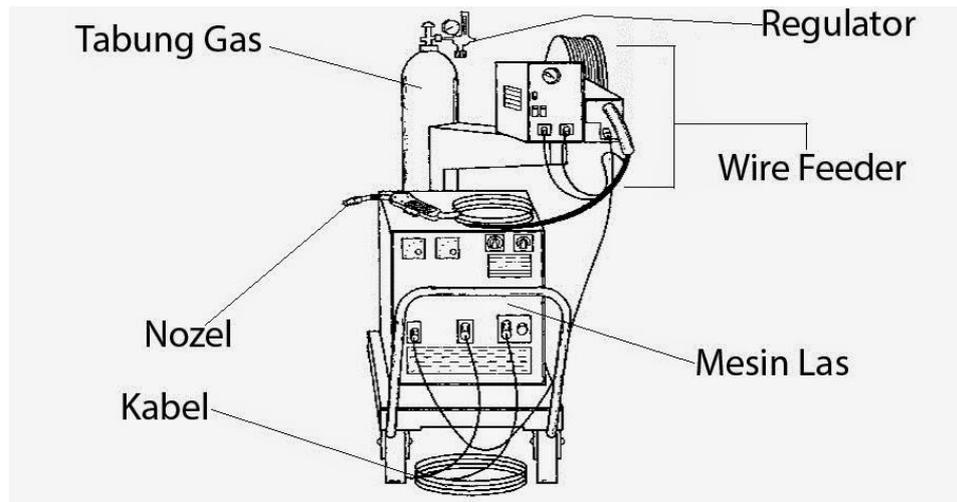
Proses pengelasan FCAW memiliki kelebihan dan kekurangannya tersendiri. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan pengelasan FCAW:

Kelebihan Proses pengelasan FCAW:

1. Proses pengelasan cepat, karena tidak perlu sering mengganti kawat las.
2. Menggunakan jenis las otomatis atau semi-otomatis sehingga mudah digunakan.
3. Tidak membutuhkan kemampuan juru las yang tinggi.

Kekurangan proses pengelasan FCAW:

1. Perlu proses pembersihan karena proses pengelasan menghasilkan terak yang tebal
2. Untuk pengelasan di luar ruangan butuh penangan khusus karena jika terkena angin dapat menghasilkan cacat porosity.



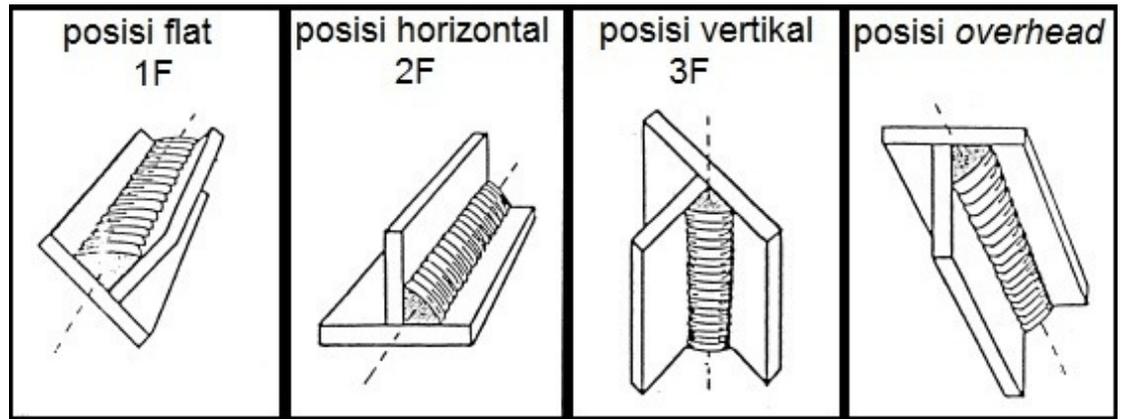
Gambar 2.3 Mesin Pengelasan FCAW (sumber: AWS, 2000)

2.2.6 Parameter Pengelasan

2.2.6.1 Posisi Pengelasan

Dalam proses pengelasan, posisi berperan penting dalam menentukan kualitas dari hasil pengelasan. Posisi pengelasan dapat di atur dan disesuaikan dengan kebutuhan dan letak dari sambungan material. Terdapat empat macam posisi pengelasan yang terdiri dari:

1. Posisi datar (1G) adalah posisi pengelasan yang dilakukan tepat di atas sambungan, dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las menghadap ke atas. Posisi ini juga sering disebut dengan *downhand*.
2. Posisi horizontal (2G) adalah posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal namun muka las tidak menghadap ke atas seperti pada posisi datar.
3. Posisi vertikal (3G) adalah posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang vertikal dan muka las tidak menghadap ke atas. Pada posisi ini, pengelasan dapat dilakukan dari bawah ke atas (*vertical up*) atau dari atas ke bawah (*vertical down*).
4. Posisi pengelasan di atas kepala (4G) adalah posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las menghadap ke bawah.



Gambar 2.4 Posisi Pengelasan (Sumber: AWS, 2000)

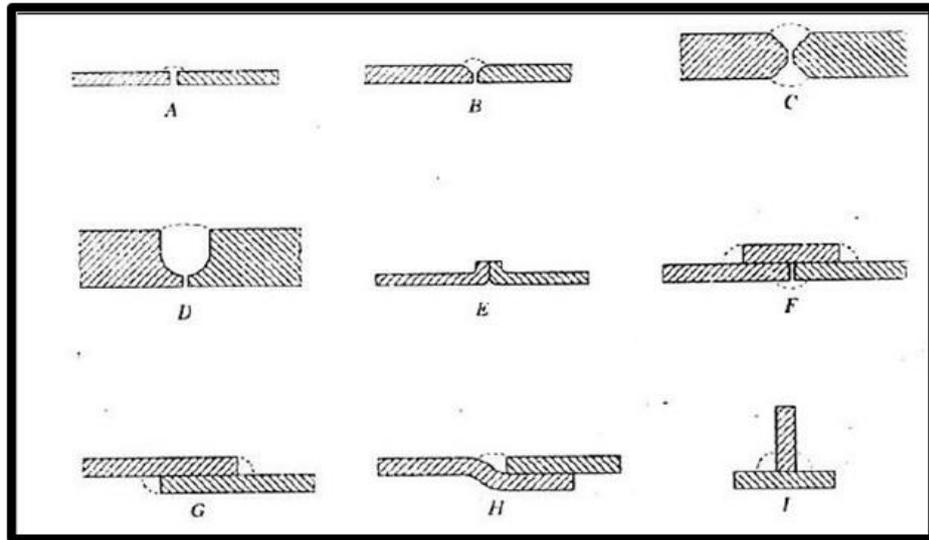
2.2.6.2 Kampuh Las

Untuk menghasilkan kualitas sambungan las yang baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan yaitu kampuh las. Kampuh las ini berguna untuk menampung bahan pengisi agar lebih banyak yang merekat pada benda kerja, dengan demikian kekuatan las akan terjamin.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis kampuh adalah:

1. Ketebalan benda kerja.
2. Jenis benda kerja.
3. Kekuatan yang diinginkan.
4. Posisi pengelasan.

Dalam pembuatan konstruksi kampuh las, ada beberapa bentuk kampuh yang digunakan dalam proses pengelasan. Las alur (*groove welds*), ujung bagian yang akan disambung dibuat alur dalam beberapa bentuk antara lain V, U dan X pada sisi tunggal atau ganda, seperti yang dapat dilihat ada Gambar 2.6. Pengisi (*filler*) biasanya dilakukan dengan pengelasan busur atau pengelasan gas.



Gambar 2.5 Macam Kampuh Las (Prasojo, 2012)

2.2.6.3 Elektroda SMAW

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan dalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut:

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

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (fluks), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat Tabel 2.3. di bawah ini:

Tabel 2.3 Spesifikasi Elektroda (Wiryo Sumarto, 2008)

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

2.2.6.4 Elektroda GTAW

Elektrode yang digunakan pada pengelasan dengan metode GTAW adalah tungsten. Elektrode ini dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan komposisi penyusunnya yaitu thodium yang merupakan paduan antara tungsten dan thorium, zirconium yang merupakan paduan antara zirconium dan tungsten, serta tungsten murni.

Cara pemilihan tipe elektroda dan jenis pemakaian arus listrik (AC atau DC) disesuaikan dengan kebutuhan, hal ini mengingat titik lebur dari elektroda dan juga konduktivitas listriknya. Mengingat sifat ini maka pemakaian tipe elektroda diberi batasan antara besarnya arus listrik dengan diameter elektroda untuk masing-masing jenis elektroda. Berikut ini adalah Tabel 2.4 cara pemilihan diameter elektroda menurut arus listrik yang digunakan:

Tabel 2.4 Pemilihan diameter elektroda menurut arus listrik yang di gunakan (Sumber: *welding procedure guide*)

Diameter elektroda	Tungsten AC (A)	Zirconium Alloyed AC (A)	Thorium Alloyed DC (A)
0,5	5-15	5-20	5-20
1,0	10-60	15-80	20-800
1,6	50-100	70-150	80-150
2,4	100-160	110-180	120-220
3,2	130-180	150-200	200-300
4,0	180-230	180-250	250-400

2.2.6.5 Elektroda FCAW

Pengelasan FCAW menggunakan elektroda berbentuk tubular berongga yang didalamnya berisi fluks yang bereaksi ketika pengelasan sebagai pelindung logam cair. Perlindungan logam cair dari kemungkinan kontaminasi dari luar bisa berupa gas dari reaksi fluks yang menghasilkan terak yang cukup banyak dan juga bisa dari penambahan gas pelindung berupa CO₂ atau campuran CO₂ dengan argon.

Standarisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada kekuatan tarik maksimal, posisi pengelasan, dan gas pelindung tambahan yang dinyatakan dengan tanda EXXT-XC, yang di artikan sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda
- X : angka pertama setelah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
 - Angka 0 untuk posisi flat dan horizontal
 - Angka 1 untuk segala posisi
- T : Menyatakan elektroda untuk FCAW berbentuk turbular
- X : Menyatakan tipe gas dan performa kawat las (angka 1-14 atau G, GS)

- C : Menyatakan gas pelindung berupa CO₂.

2.2.6.6 Heat Input (Masukan Panas)

Pada proses pengelasan, pencairan logam induk dan logam pengisi terjadi akibat adanya perpindahan energi panas. Heat input sendiri dapat di artikan sebagai perpindahan energi panas per unit satuan panjang pada proses pengelasan. Energi panas yang terjadi diakibatkan oleh tiga parameter, yaitu arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Untuk dapat menghitung heat input pada proses pengelasan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (AWS, 2000):

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{\text{Travel speed}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

HI : Masukan panas (J/mm)

V : Tegangan busur las (volt)

I : Arus las (Ampere)

Travel speed : kecepatan pengelasan (mm/min atau in/min)

2.2.7 Pengujian Tidak Merusak (*Non Destructive Test*)

2.2.7.1 Batasan Pengujian NDT

Non Destructive Test merupakan metode pengujian yang tidak menyebabkan terjadinya kerusakan atau perubahan bentuk secara permanen pada specimen. Jenis-jenis pengujian NDT masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kesalahan pemilihan jenis pengujian akan menyebabkan banyaknya waktu, tenaga, dan biaya yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu perlu dipilih cara pengujian yang tepat sehingga menghasilkan data yang akurat dengan tetap memperhatikan biaya yang akan dikeluarkan, sehingga bila ada dua jenis pengujian yang akan menghasilkan data yang sama atau tidak berbeda secara signifikan maka harus dipilih jenis yang paling murah.

2.2.7.2 *Radiography Test*

Pengujian metode radiografi merupakan pengujian tak merusak yang dilakukan terhadap specimen uji melalui penyinaran dengan menggunakan sinar-x. Metode radiografi mempunyai daya penetrasi dan penyerapan dari radiasi sinar-x dan sinar gamma, maka radiografi dapat digunakan untuk memeriksa berbagai macam produk antara lain sambungan las, pengecoran, penempaan dan fabrikasi. Metode pengujian las memanfaatkan sinar-x, yang dihasilkan oleh tabung sinar-x, atau sinar gamma, yang dihasilkan oleh isotop radioaktif. Prinsip dasar radiografi untuk inspeksi pengelasan adalah sama dengan radiografi medis. Pada pengujian RT (*Radiographic Test*) radiasi menembus melalui benda padat, dalam hal ini adalah bagian lasan yang diinspeksi. Radiasi tersebut dipantulkan ke film fotografi sehingga menghasilkan gambar struktur internal objek yang akan disimpan pada film.

Radiografi memiliki keuntungan dan kekurangan, yaitu:

Keuntungan dari pengujian radiografi:

1. Dapat digunakan untuk berbagai material
2. Menghasilkan visual image yang permanen
3. Dapat memperlihatkan bagian dalam specimen uji
4. Dapat menampilkan bentuk cacat.
5. Preparasi benda uji sederhana.

Kekurangan dari pengujian radiografi:

1. Tidak praktis digunakan pada specimen-specimen yang mempunyai bentuk geometris beragam / kompleks
2. Pertimbangan keselamatan dan kesehatan dari bahaya yang ditimbulkan sinar X dan sinar gamma harus diperhatikan
3. Peralatan yang digunakan relatif mahal
4. Memerlukan operator yang benar-benar berpengalaman.
5. Dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk material yang tebal.

2.2.8 Pengujian Merusak (*Destructive Test*)

2.2.8.1 Uji Kekerasan Vickers

Merupakan salah satu bentuk pengujian untuk mengetahui kekerasan suatu material dengan cara menekan bagian permukaan material menggunakan indenter yang dapat diketahui dalam besaran nilai. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menemukan nilai dari kekerasan vickress berdasarkan ASTM E 92 – 82 dan dijelaskan pada Gambar 2.6:

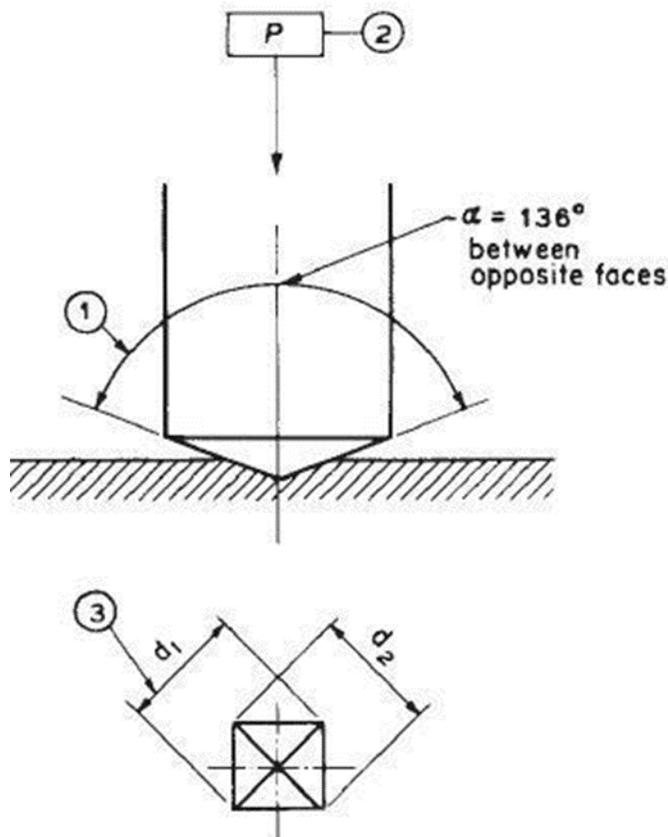
$$HV = \frac{2P \sin(\alpha/2)}{d^2} = 1.8544P/d^2 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

P = force. Kgf

d = rata-rata diagonal, mm

α = sudut dari diamond = 136°



Gambar 2.6 Dimensi Indentor dan Sudutnya (ASTM E-92 82)

2.2.8.2 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang merusak (*destructive test*). Uji tarik sendiri adalah pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum material dengan cara menarik suatu material yang kemudian akan diketahui bagaimana material ini bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material tersebut akan bertambah panjang.

Pada pengujian ini terdapat adanya titik luluh (*yield point*). Titik luluh adalah keadaan dimana material bertambah panjang ketika mendapat beban yang konstan. Titik luluh juga dapat diartikan sebagai keadaan dimana material terdeformasi dengan beban minimumnya.

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

1. Kekuatan Tarik dari material
2. Kuat luluh dari Material
3. Keuletan dari Material

Berikut ini adalah persamaan tegangan (ASME Section IX) :

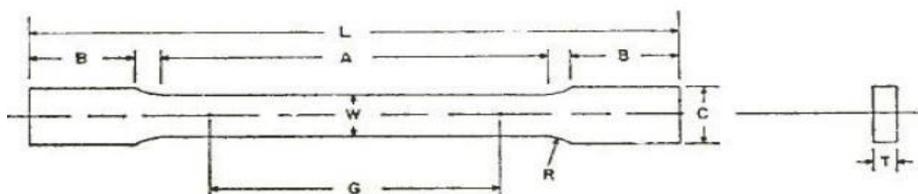
Tegangan

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

Di mana:

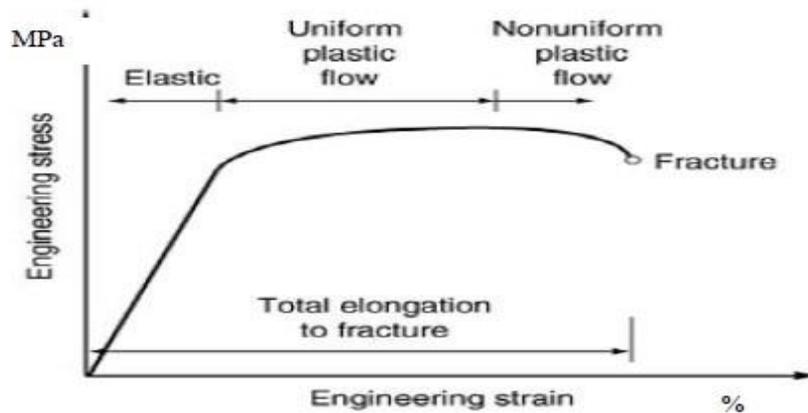
F = beban (kg)

A₀ = luas penampang (mm²)



Gambar 2.7 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik (ASME Section IX)

Hasil pengujian tarik digambarkan pada sebuah diagram tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Diagram ini menunjukkan deformasi yang terjadi pada material yaitu deformasi plastis dan elastis. Disebut deformasi elastis, jika material diberi beban (ditarik) lalu beban dihilangkan akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan deformasi plastis terjadi, jika setelah beban dihilangkan material tidak kembali ke bentuk semula.



Gambar 2.8 Diagram Tegangan-Regangan (ASM, 1991)

Dengan mengacu pada Gambar 2.8 (diagram tegangan-regangan) deformasi elastis terjadi hingga titik luluh yang kemudian akan dilanjutkan dengan deformasi plastis hingga material tersebut mengalami kepecahan (*fracture*). Titik tegangan maksimum berada pada posisi garis tertinggi dari diagram tersebut. Dari mesin uji tarik nilai tegangan maksimum dan luluh dalam satuan Newton.

Pada perencanaan konstruksi bangunan lepas pantai, nilai titik luluh merupakan aspek penting yang harus diperhatikan. Dalam mendesain sebuah bangunan, beban yang akan diterima sebuah struktur tidak boleh melebihi nilai titik luluh dari struktur tersebut. Jika sebuah struktur menerima beban yang melebihi nilai titik luluhnya maka struktur tersebut akan mengalami kepecahan.

Sifat mekanis (*mechanical properties*) setelah pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut (ASME IX) :

$$\sigma_{Ultimate} = \frac{P_{Ultimate}}{A} N/m^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\sigma_{yield} = \frac{P_{yield}}{A} N/m^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\varepsilon_{elongation} = \frac{(L_i - L_o)}{L} (\%) \dots\dots\dots(2.6)$$

keterangan :

Ao : *Initial cross sectional area* (mm²)

Lo : *Gauge length awal* (mm)

Li : *Gauge length setelah pengujian* (mm)

P ultimate : *Maximum Load* (N)

P yield : *Yield Load* (N)

2.2.9 Uji Mikro (*Micro Test*)

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikrostruktur, dapat diamati bentuk dan ukuran Kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas dan perbedaan komposisi. Pada baja A36 (baja karbon rendah) struktur mikro nya mengandung pearlite dan ferrite maka pada penelitian ini akan dibandingkan antara struktur pearlite dan ferrite.

Menurut Fei Xue, dkk (2018) Pengamatan struktur mikro pada pengelasan dapat dilakukan diberbagai macam lokasi, idealnya adalah di daerah Base Metal (BM), Heat Affected Zone (HAZ), dan Weld Metal (WM).

Untuk melakukan pengujian mikro, maka di perlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan. Ada beberapa langkah yang harus dilakukan. Langkah-langkah yang harus dilakukan adalah *mounting, grinding, polishing, dan etching*.

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

1. Pemotongan spesimen, pada tahap ini, diharapkan spesimen dalam keadaan datar, sehingga memudahkan dalam pengamatan.

2. Mounting spesimen (bila diperlukan)

Tahap mounting ini, spesimen hanya dilakukan untuk material yang kecil atau tipis saja.

3. Grinding dan polishing

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

4. Etsa (etching)

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

maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam.

2.2.10 Metode Perbandingan Eksponensial

Metode Perbandingan Eksponensial (MPE) adalah salah satu metode untuk pengambilan keputusan menggunakan sistem penilaian skor (*scoring*). Metode MPE ini mampu untuk menentukan urutan prioritas alternatif keputusan dengan menggunakan beberapa kriteria. (Kriteria Majemuk). Metode ini mampu mengurangi bias yang mungkin terjadi dalam analisis. Untuk nilai skor yang dihasilkan, akan menggambarkan urutan prioritas yang menjadi besar, ini mengakibatkan urutan prioritas alternatif keputusan menjadi lebih nyata. Selain itu metode ini merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang mengkuantifikasikan pendapat seseorang atau lebih dalam skala tertentu. Pada prinsipnya ia merupakan metode scoring terhadap pilihan yang ada. Dengan perhitungan secara eksponensial, perbedaan nilai antar kriteria dapat dibedakan tergantung kepada kemampuan orang yang menilai. Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pemilihan keputusan dengan MPE adalah: (1) penentuan alternatif keputusan; (2) penyusunan kriteria keputusan yang akan dikaji, (3) penentuan derajat kepentingan relatif setiap kriteria keputusan dengan menggunakan skala konversi tertentu sesuai keinginan pengambil keputusan, (4) penentuan derajat kepentingan relatif dari setiap alternatif keputusan dan (5) pemeringkatan nilai yang diperoleh dari setiap alternatif keputusan. Adapun rumus metode eksponensial sendiri adalah (Rangkuti, 2011):

$$\text{Total nilai (TN}_i) = \sum_{j=1}^m (RK_{ij})^{TKK_j} \dots\dots\dots (2.7)$$

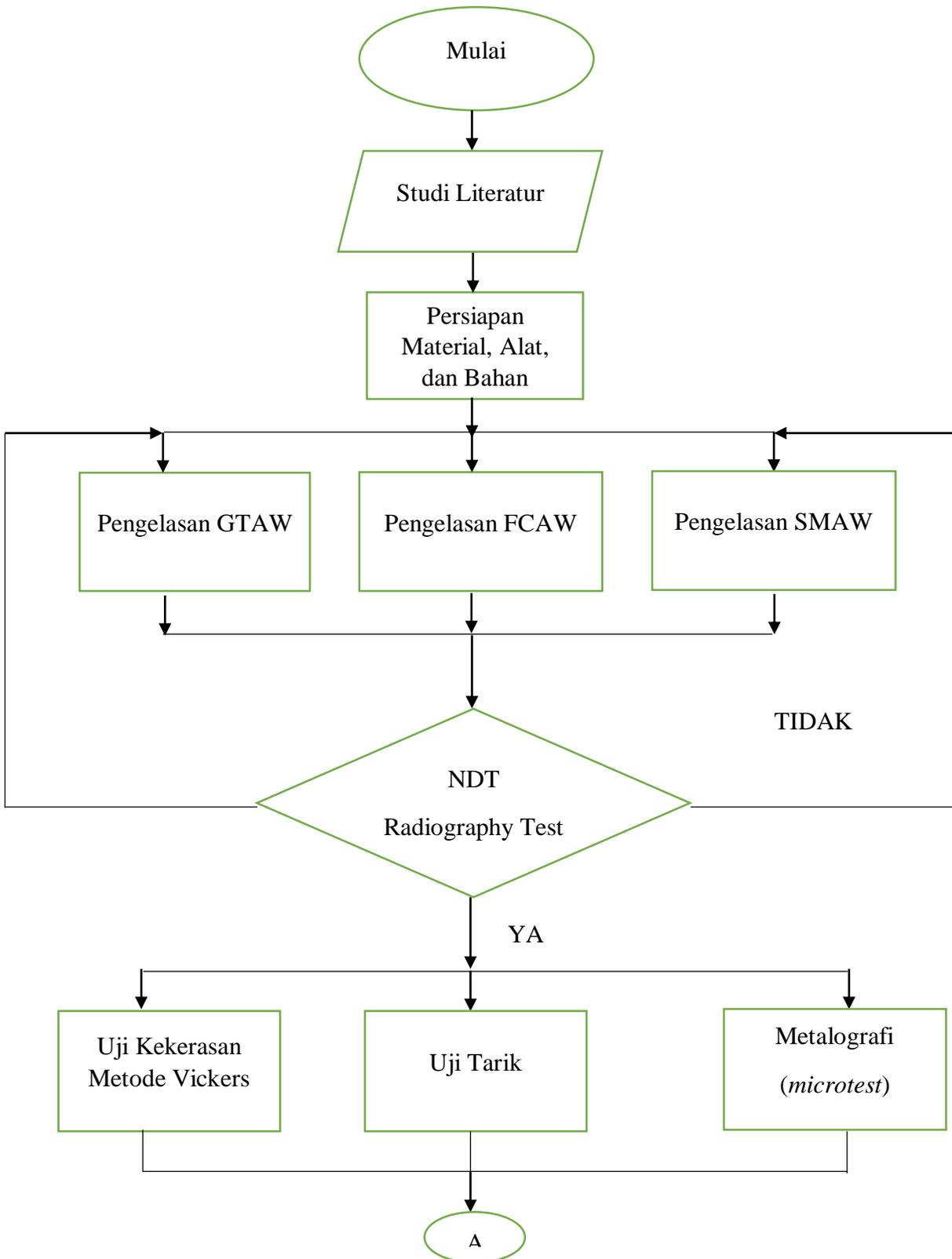
Dengan:

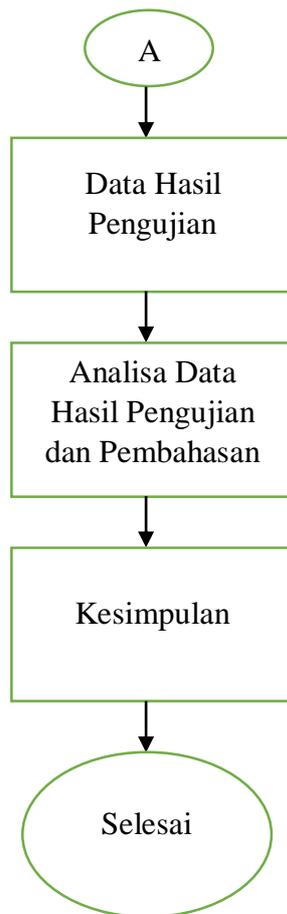
- Total nilai (TN_i) = total nilai akhir dari alternatif ke-i
- RK_{ij} = derajat kepentingan kriteria relatif ke-j pada pilihan keputusan i
- TKK_j = derajat kepentingan kriteria relatif ke-j TKK_j > 0
- N = jumlah pilihan keputusan
- M = jumlah kriteria keputusan

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**BAB III
METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

A. Studi Literatur

Studi literatur yang penulis lakukan yaitu mencari dan membaca buku yang terkait dengan topik tugas akhir, Jurnal-jurnal dari ITS maupun institusi lain yang berhubungan dengan topik tugas akhir ini, laporan tugas akhir alumni ITS, dan skripsi atau tugas akhir dari institusi lain.

B. Persiapan Penelitian

Tahapan dari prosedur penelitian yang penulis lakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahapan persiapan
2. Proses pengelasan SMAW, GTAW, dan FCAW

3. Pengecekan hasil melalui NDT
4. Pengujian micro, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik pada hasil pengelasan
5. Tahap analisa data
6. Menyimpulkan hasil analisa data

Tahap-tahap tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan selanjutnya.

C. Persiapan Peralatan

Alat yang akan digunakan untuk tahap persiapan alat, yaitu:

1. Gerinda

Alat ini digunakan untuk memotong material sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan



Gambar 3.2 Mesin Gerindra (sumber: Dokumen Pribadi)

2. Mesin Pemotong

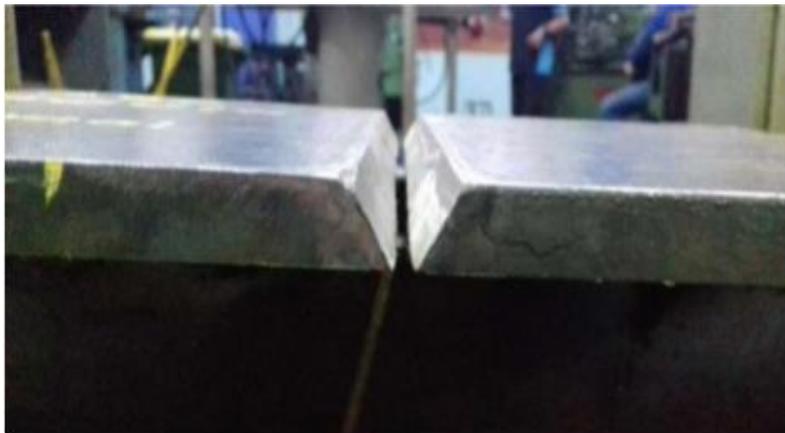
Alat mesin pemotong digunakan untuk membuat bentuk kampuh sesuai dengan sudut yang telah ditentukan. Pada penelitian tugas akhir ini, digunakan bentuk single v-groove dengan sudut bevel 60°



Gambar 3.3 Mesin pemotong (sumber: Dokumen Pribadi)

D. Persiapan Material

Material yang digunakan adalah baja A36 berbentuk persegi panjang dengan tebal 10 mm yang telah di bevel single v-groove dengan sudut 60° .



Gambar 3.4 Baja A36 dengan bentuk kampuh single v-groove sudut 60°
(sumber: dokumen pribadi)

E. Proses Pengelasan

Proses pengelasan akan dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Lab Pengelasan. Material baja A36 dengan panjang 200mm, lebar 150mm, dan tebal 10mm yang telah di bevel single v-groove dengan sudut 60° masing-masing akan di lakukan pengelasan pada metode SMAW, GTAW, dan FCAW, gambar proses pengelasan dapat dilihat pada Gambar 3.5. Pengelasan

SMAW menggunakan elektroda E-7016, pengelasan GTAW menggunakan elektroda ER 70 S-6, dan pengelasan FCAW menggunakan elektroda ER 71-T . Elektroda E-7016, ER 70 S-6, dan ER 71-T dapat dilihat pada Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8

Selanjutnya akan dipersiapkan WPS (*Welding Procedure Specification*) untuk kualifikasi tertulis dari prosedur pengelasan yang nantinya akan digunakan sebagai panduan untuk mendapatkan hasil lasan sesuai dengan yang dibutuhkan.



Gambar 3.5 Proses Pengelasan (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.6 Elektroda E-7016 (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.7 Elektroda ER 70 S-6 (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.8 Elektroda ER 71-T (sumber: Dokumen Pribadi)

F. Tahap Inspeksi NDT

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan perlu adanya pengujian terhadap kualitas hasil las tersebut untuk mengetahui apakah kualitas hasil pengelasan sudah sesuai dengan standar. Untuk mengetahui apakah hasil pengelasan sudah memenuhi standar kualitas maka dilakukan inspeksi metode

NDT (*non destructive test*). Uji NDT yang akan digunakan penulis adalah *radiography test*. Alat NDT *radiography test* dapat dilihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Alat NDT *Radiography Test* (sumber: Dokumen Pribadi)

G. Persiapan Spesimen Uji

Setelah material hasil pengelasan dilakukan uji NDT dinyatakan aman, maka berikutnya adalah pembuatan specimen uji. Spesimen akan dipotong menjadi bagian-bagian dengan ukuran yang lebih kecil. Spesimen dipersiapkan untuk uji kekerasan (metode *Vickers*), uji tarik, dan *microtest*. Spesimen-spesimen untuk pengujian tarik, pengujian kekerasan metode *Vickers* dan pengujian metalografi (mikro) dapat di lihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Untuk Uji Tarik
(sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.11 Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Untuk Uji Tarik
(sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.12 Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Untuk Uji Tarik
(sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.13 Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Untuk Uji Kekerasan dan Struktur Mikro (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.14 Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Untuk Uji Kekerasan dan Struktur Mikro (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.15 Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Untuk Uji Kekerasan dan Struktur Mikro (sumber: Dokumen Pribadi)

H. Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan metode Vickers dan akan diketahui distribusi kekerasan pada logam las (*weld metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam dasar (*base metal*). Standar yang dipakai dalam pengujian kekerasan metode Vickers adalah ASTM E92 “*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*”. Alat untuk proses uji kekerasan Vickers dapat dilihat pada Gambar 3.16 dan proses uji kekerasan Vickers dapat dilihat pada Gambar 3.17



Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan Vickers (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.17 Proses Uji Kekerasan Vickers (sumber: Dokumen Pribadi)

I. Uji Tarik

Pada pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material berupa nilai kekuatan tarik maksimal (*ultimate tensile strength*) dan nilai kekuatan luluh (*yield strength*) pada material yang sudah di las sebelumnya. Standar yang

digunakan dalam pengujian tarik adalah ASME Section IX. Alat uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.18 dan proses uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.19



Gambar 3.18 Alat Uji Tarik (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 3.19 Proses Uji Tarik (sumber: Dokumen Pribadi)

J. Pengujian Metalografi

Dalam pengujian metalografi ini akan dilakukan pengambilan foto struktur mikro pada daerah logam lasan (*weld metal*), HAZ (*Heated Affected Zone*), dan logam dasar (*base metal*). Pengambilan foto mikro akan menggunakan mikroskop electron dengan perbesaran 100x dan 500x. Standar yang digunakan adalah ASTM E3-01 “*Standard Guide for preparation of Metallographic Specimens*”.

K. Analisa Data

Pada tahap ini penulis akan melakukan analisa data yang diperoleh dan diolah dari hasil eksperimen yang telah dilakukan. Dari semua data tersebut, akan dilakukan analisa yang sesuai dengan standard yang berkaitan dan mendukung secara ilmiah. Sehingga dari hasil analisa, penulis dapat melakukan pembahasan terkait tujuan dari permasalahan yang dirumuskan. Pada tahap ini penulis akan menentukan metode pengelasan yang tepat menggunakan metode perbandingan eksponensial

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. *Welding Procedure Specification (WPS)*

Welding Procedure Specification (WPS) adalah prosedur tertulis yang telah terqualifikasi yang disiapkan sebagai pedoman/panduan untuk *welder* (operator mesin las) dalam melakukan proses pengelasan yang memenuhi semua persyaratan standard yang telah ditetapkan sebelumnya. *Welding Procedure Specification* harus dipersiapkan sebelum melakukan proses pengelasan.

Proses pengelasan dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), dengan 3 metode pengelasan yakni GTAW, FCAW, dan SMAW.

4.1.1 *Welding Procedure Specification GTAW*

Proses pengelasan pertama yang dilakukan di Lab. Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya adalah pengelasan GTAW yang dilakukan pada 3 spesimen yang berbeda (no 1-3) dengan *Welding Procedure Specification (WPS)* sebagai berikut :

Name	: MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)
Welding Procedure	: No. 1 - 3 Date, 17 Oktober 2019
Welding Process(es)	: GTAW
Joints Design (QW-402)	: Butt Joint
Groove	: Single Ve
Base Metals (QW-403)	: Plate A36 t.10 mm
Filler Metal	: ER 70 S-6 Diameter 2,4 mm
Positins (QW-405)	: 1G
GAS (es)	: Argon HP.99.999% Flow rate 20 L/mnt
Technique (QW-410)	: String or Weave
Tungsten Type	: EWTH-2
Interpass Cleaning	: Grending

1. *Welding Procedure Specification* GTAW Pada Specimen Nomor 1

Pada eksperimen proses pengelasan GTAW pada specimen 1, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda ER-70 S-6 dan *heat input* rata-rata 0,99 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 5 layer dengan menggunakan arus DCSP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama adalah 75 A dengan tegangan 20 V, arus pada layer kedua, ketiga, keempat, dan kelima adalah 110 A dengan tegangan 20 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 *Welding Procedure Specification* GTAW pada specimen no 1

No : 1

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	75	20	110 detik	0,66
2	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	117 detik	1,03
3	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	123 detik	1,08
4	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	128 detik	1,12
5	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	122 detik	1,07

2. *Welding Procedure Specification* GTAW Pada Specimen Nomor 2

Pada eksperimen proses pengelasan GTAW pada specimen 2, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda ER-70 S-6 dan *heat input* rata-rata 0,98 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 5 layer dengan menggunakan arus DCSP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama adalah 75 A dengan tegangan 20 V, arus pada layer kedua, ketiga, keempat, dan kelima adalah 110 A dengan tegangan 20 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 *Welding Procedure Specification* GTAW pada specimen no 2

No : 2

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	109 detik	0,65
2	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	113 detik	0,99
3	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	122 detik	1,07
4	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	131 detik	1,15
5	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	120 detik	1,05

3. *Welding Procedure Specification* GTAW Pada Specimen Nomor 3

Pada eksperimen proses pengelasan GTAW pada specimen 3, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda ER-70 S-6 dan *heat input* rata-rata 0,99 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 5 layer dengan menggunakan arus DCSP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama adalah 75 A dengan tegangan 20 V, arus pada layer kedua, ketiga, keempat, dan kelima adalah 110 A dengan tegangan 20 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 *Welding Procedure Specification* GTAW pada Specimen no 3

No : 3

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	132 detik	0,67
2	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	147 detik	1,04
3	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	148 detik	1,06
4	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	172 detik	1,11
5	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	178 detik	1,07

4.1.2 Welding Procedure Specification FCAW

Proses pengelasan kedua yang dilakukan di Lab. Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya adalah pengelasan FCAW yang dilakukan pada 3 spesimen yang berbeda (no 1-3) dengan *Welding Procedure Specifation* (WPS) sebagai berikut :

Name	: MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)
Welding Procedure	: No. 1 - 3 Date, 17 Oktober 2019
Welding Process(es)	: FCAW
Joints Design (QW-402)	: Butt Joint
Groove	: Single Ve
Base Metals (QW-403)	: Plate A36 t.10 mm
Filler Metal	: ER 71-T
Positins (QW-405)	: 1G
GAS (es)	: CO ² 100% ,Flow Rate : 20 L/mnt
Technique (QW-410)	: String or Weave
Interpass Cleaning	: Grending

1. Welding Procedure Specification FCAW Pada Specimen Nomor 1

Pada eksperimen proses pengelasan FCAW pada specimen 1, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda ER 71-T dan *heat input* rata-rata 0,97 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 3 layer dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama, kedua, dan ketiga adalah 160 A dengan tegangan 26 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 *Welding Procedure Specification* FCAW Pada Specimen no 1

No : 1

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class Dia		Polarity	Ampere			
1	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	54 detik	0,90
2	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	62 detik	1,03
Backweld								
3	FCAW	E-71T	1,2	DCEP	160	26	59 detik	0,98

2. *Welding Procedure Specification* FCAW Pada Specimen Nomor 2

Pada eksperimen proses pengelasan FCAW pada specimen 2, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda ER 71-T dan *heat input* rata-rata 0,99 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 3 layer dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama, kedua, dan ketiga adalah 160 A dengan tegangan 26 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5. *Welding Procedure Specification* FCAW pada Specimen no 2

No : 2

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class Dia		Polarity	Ampere			
1	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	58 detik	0,97
2	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	60 detik	0,98
BackWeld								
3	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	55 detik	1,02

3. *Welding Procedure Specification* FCAW Pada Specimen Nomor 3

Pada eksperimen proses pengelasan FCAW pada specimen 3, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda ER 71-T dan *heat input* rata-rata 0,98 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 3 layer dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus

pada layer pertama, kedua, dan ketiga adalah 160 A dengan tegangan 26 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.6 di bawah ini :

Tabel 4.6. *Welding Procedure Specification* FCAW Pada specimen no 3

No : 3

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	50 detik	0,98
2	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	68 detik	1,00
Backweld								
3	FCAW	E-71T	1,2	DCEP	160	26	48 detik	0,97

4.1.3 *Welding Procedure Specification* SMAW

Proses pengelasan ketiga yang dilakukan di Lab. Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya adalah pengelasan SMAW yang dilakukan pada 3 spesimen yang berbeda (no 1-3) dengan *Welding Procedure Specifation* (WPS) sebagai berikut:

Name : MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)
Welding Procedure : No. 1 - 3 Date, 17 Oktober 2019
Welding Process(es) : SMAW
Joints Design (QW-402) : Butt Joint
Groove : Single Ve
Base Metals (QW-403) : Plate A36 t.10 mm
Filler Metal : E 7016
Positins (QW-405) : 1G
GAS (es) : N/A
Technique (QW-410) : String or Weave
Interpass Cleaning : Grending

1. *Welding Procedure Specification* SMAW Pada Specimen Nomor 1

Pada eksperimen proses pengelasan SMAW pada specimen 1, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda E 7016 dan *heat input* rata-

rata 0,98 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 layer dengan menggunakan arus DCEN. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama adalah 65 A dengan tegangan 20 V, kemudian pada layer kedua, ketiga, dan keempat menggunakan arus 100 A dengan tegangan 22 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 *Welding Procedure Specification* SMAW pada Specimen no 1

No : 1

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	65	19	124 detik	0,64
2	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	22	120 detik	1,06
3	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	22	122 detik	1,07
4	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	20	130 detik	1,14

2. *Welding Procedure Specification* SMAW Pada Specimen Nomor 2

Pada eksperimen proses pengelasan SMAW pada specimen 2, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda E 7016 dan *heat input* rata-rata 0,96 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 layer dengan menggunakan arus DCEN. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama adalah 65 A dengan tegangan 20 V, kemudian pada layer kedua, ketiga, dan keempat menggunakan arus 100 A dengan tegangan 22 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.8 di bawah ini :

Tabel 4.8 *Welding Procedure Specification* SMAW pada Specimen no 2

No : 2

Weld Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class Dia		Polarity Ampere				
1	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	65	19	118 detik	0,61
2	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	22	112 detik	0,99
3	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	22	125 detik	1,10
4	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	20	128 detik	1,13

3. *Welding Procedure Specification* SMAW Pada Specimen Nomor 3

Pada eksperimen proses pengelasan SMAW pada specimen 2, terdiri dari penyambungan material baja A36 dengan elektroda E 7016 dan *heat input* rata-rata 0,96 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 layer dengan menggunakan arus DCEN. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama adalah 65 A dengan tegangan 20 V, kemudian pada layer kedua, ketiga, dan keempat menggunakan arus 100 A dengan tegangan 22 V. Adapun lebih jelasnya terdapat pada Tabel 4.9 berikut ini

Tabel 4.9 *Welding Procedure Specification* SMAW Pada specimen no 3

No : 3

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class Dia		Polarity Ampere				
1	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	65	19	124 detik	0,64
2	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	22	116 detik	1,02
3	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	22	121 detik	1,06
4	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	100	20	127 detik	1,11

4.2. Pengujian NDT Radiografi (*Radiography Test*)

Pengujian NDT radiografi dalam tugas akhir ini dilakukan di PT. Robutech cabang Surabaya. Pengujian ini dilakukan agar dapat mengetahui ada atau tidaknya cacat dari hasil proses pengelasan yang telah dilakukan pada specimen uji. Pengujian ini menggunakan radiasi sinar radioaktif dan film fotografi. Radiasi sinar tersebut akan dipaparkan pada benda uji, dan sinar yang telah dipaparkan akan dipantulkan kembali ke film fotografi, sehingga menghasilkan gambaran struktur hasil pengelasan dan *base metal* yang dipaparkan dalam sebuah foto film.

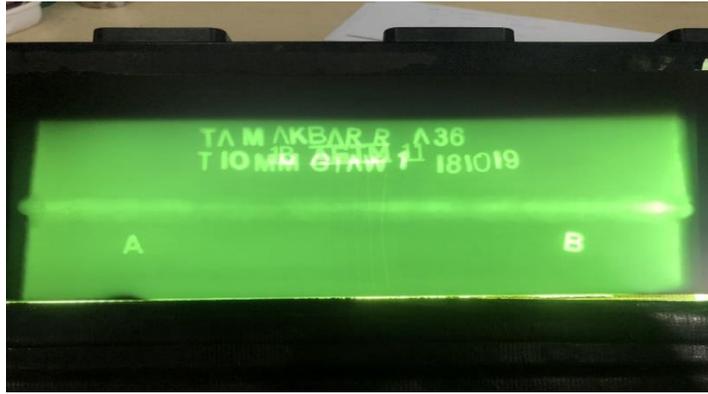
4.2.1 Pengujian NDT radiografi pada specimen hasil pengelasan GTAW

1. Pengujian NDT Pada Spesimen GTAW Nomor 1

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen GTAW no 1 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan GTAW specimen nomor 1 dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.2



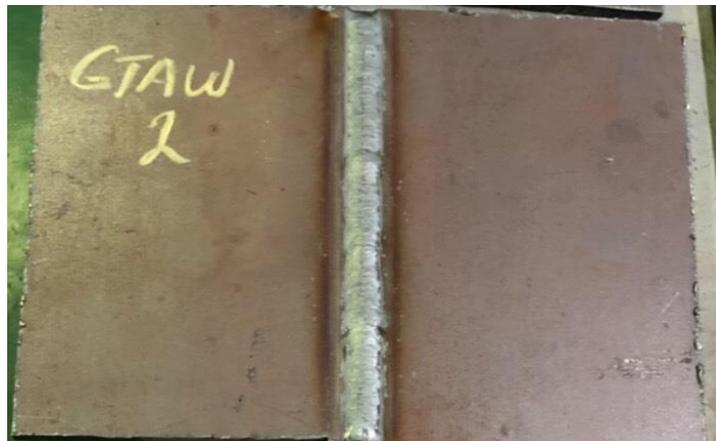
Gambar 4.1 Hasil Pengelasan GTAW Spesimen No 1 (sumber: Dokumen Pribadi)



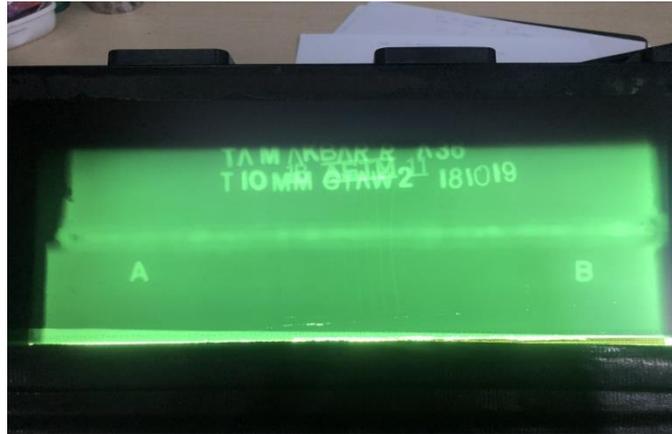
Gambar 4.2 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1 (sumber: Dokumen Pribadi)

2. Pengujian NDT Pada Spesimen GTAW Nomor 2

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen GTAW no 2 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan GTAW specimen nomor 2 dapat dilihat pada Gambar 4.3, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.4



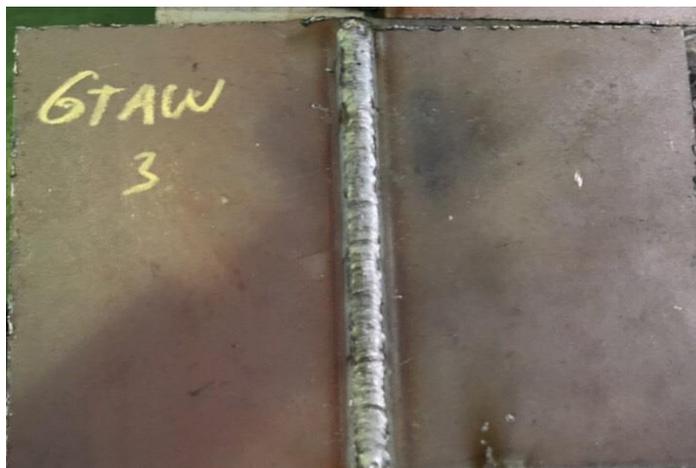
Gambar 4.3 Hasil Pengelasan GTAW Spesimen No 2 (sumber: Dokumen Pribadi)



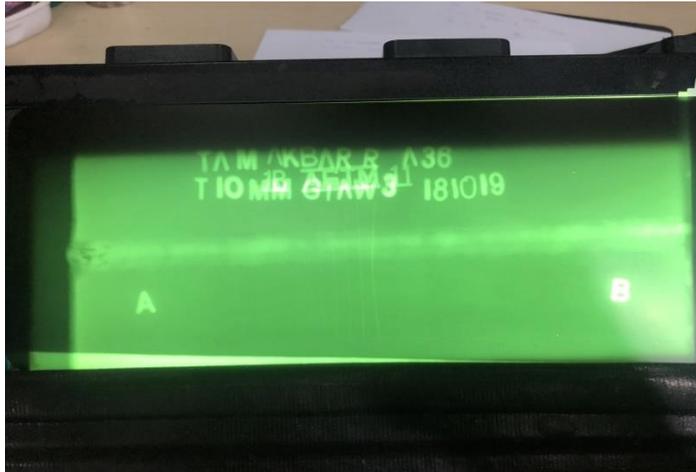
Gambar 4.4 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 2 (sumber: Dokumen Pribadi)

3. Pengujian NDT Pada Spesimen GTAW Nomor 3

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen GTAW no 3 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan GTAW specimen nomor 3 dapat dilihat pada Gambar 4.5, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.5 Hasil Pengelasan GTAW Spesimen No 3 (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 4.6 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 3 (Sumber: Dokumen Pribadi)

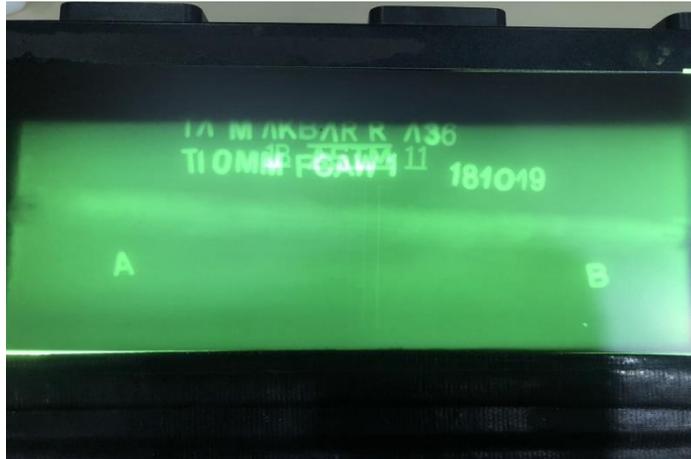
4.2.2 Pengujian NDT radiografi pada specimen hasil pengelasan FCAW

1. Pengujian NDT Pada Spesimen FCAW Nomor 1

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen FCAW no 1 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan FCAW specimen nomor 1 dapat dilihat pada Gambar 4.7, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.7 Hasil Pengelasan FCAW Spesimen No 1 (sumber: Dokumen Pribadi)



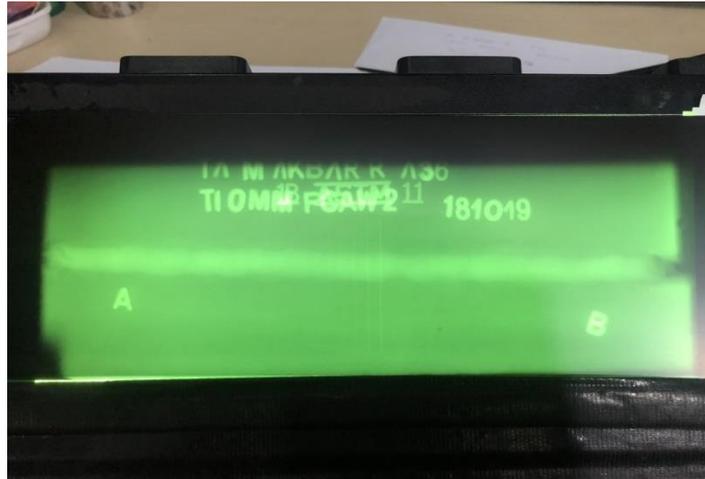
Gambar 4.8 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 1

2. Pengujian NDT Pada Spesimen FCAW Nomor 2

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen FCAW no 2 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan FCAW specimen nomor 2 dapat dilihat pada Gambar 4.9, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.9 Hasil Pengelasan FCAW Spesimen No 2 (sumber: Dokumen Pribadi)



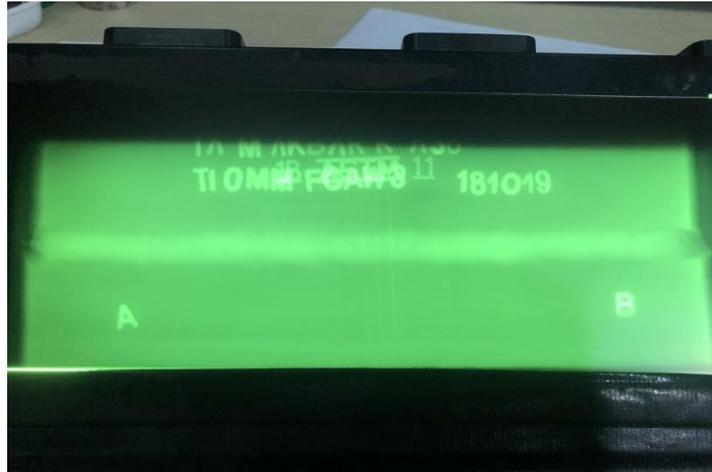
Gambar 4.10 Hasil NDT *Radiography Test* pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 2 (sumber: Dokumen Pribadi)

3. Pengujian NDT Pada Spesimen FCAW Nomor 3

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen FCAW no 3 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan FCAW specimen nomor 3 dapat dilihat pada Gambar 4.11, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.12



Gambar 4.11 Hasil Pengelasan FCAW Spesimen No 3 (sumber: Dokumen Pribadi)

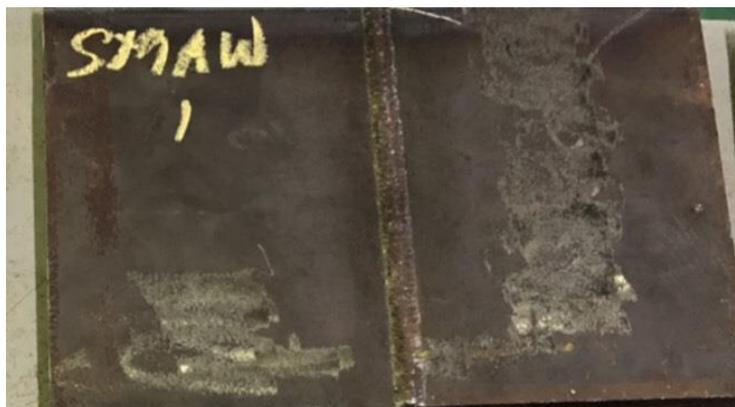


Gambar 4.12 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 3 (sumber: Dokumen Pribadi)

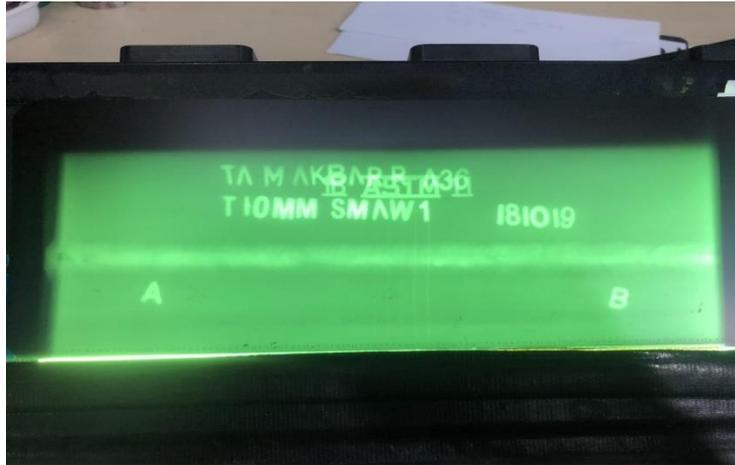
4.2.3 Pengujian NDT radiografi pada specimen hasil pengelasan SMAW

1. Pengujian NDT Pada Spesimen SMAW Nomor 1

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen SMAW no 1 tidak terdapat cacat las sehingga dapat disimpulkan pengelasan pada specimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan SMAW specimen nomor 1 dapat dilihat pada Gambar 4.13, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.14



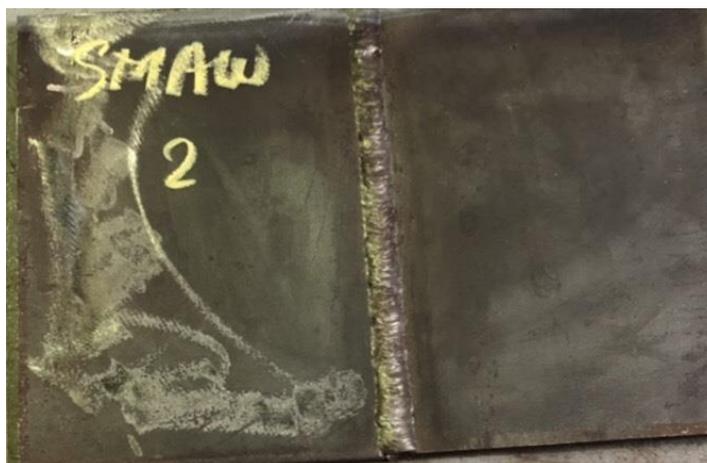
Gambar 4.13 Hasil Pengelasan SMAW Spesimen No 1 (sumber: Dokumen Pribadi)



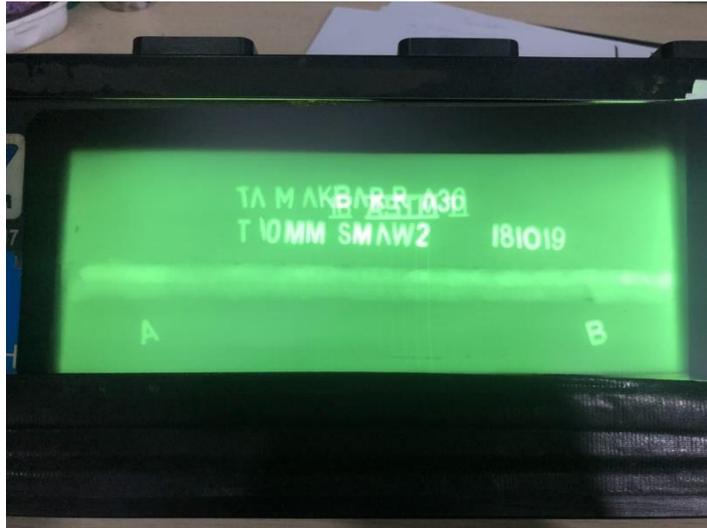
Gambar 4.14 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 1 (sumber: Dokumen Pribadi)

2. Pengujian NDT Pada Spesimen SMAW Nomor 2

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen SMAW no 2 terdapat *porosity* diluar interest area yang mana tidak menjadi masalah karena bagian tersebut tidak akan digunakan untuk specimen uji, Pada *ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification* tertulis bagian yang digunakan untuk specimen uji adalah di *interest area* saja. Dapat disimpulkan bahwa specimen SMAW no 2 memenuhi kriteria untuk dapat melanjutkan ke pengujian berikutnya. Gambar hasil pengelasan FCAW specimen nomor 3 dapat dilihat pada Gambar 4.15, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.16



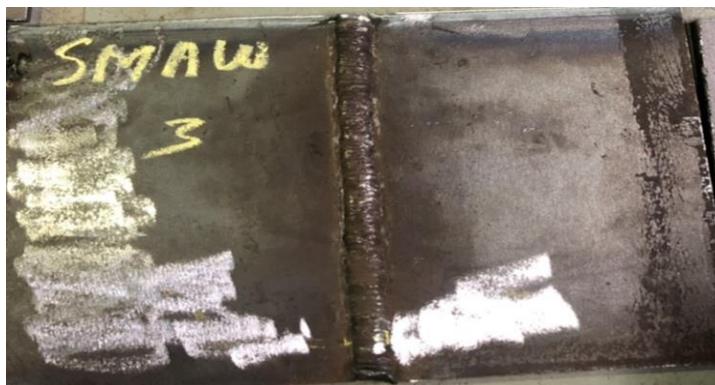
Gambar 4.15 Hasil Pengelasan SMAW Spesimen No 2 (sumber: Dokumen Pribadi)



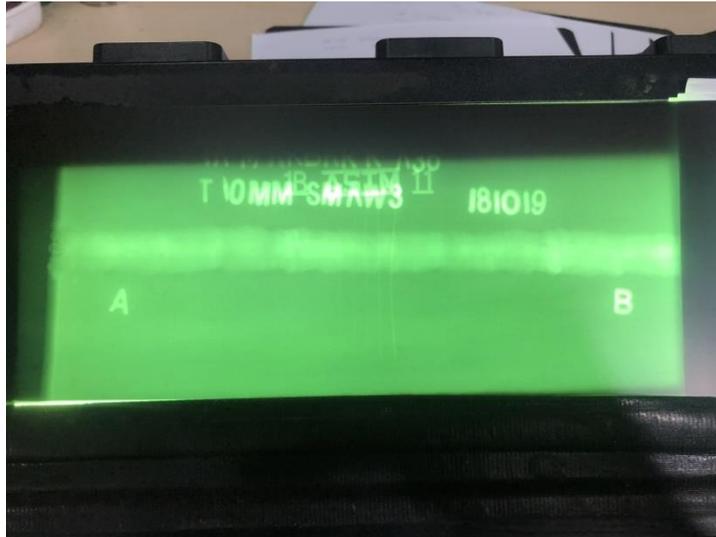
Gambar 4.16 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1 (sumber: Dokumen Pribadi)

3. Pengujian NDT Pada Spesimen SMAW Nomor 3

Pada pengujian NDT radiografi pada specimen SMAW no 3 terdapat *porosity* diluar interest area yang mana tidak menjadi masalah karena bagian tersebut tidak akan digunakan untuk specimen uji, Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification* tertulis bagian yang digunakan untuk specimen uji adalah di *interest area* saja. Dapat disimpulkan bahwa specimen SMAW no 3 memenuhi kriteria untuk dapat melanjutkan ke pengujian berikutnya. Gambar hasil pengelasan FCAW specimen nomor 3 dapat dilihat pada Gambar 4.17, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.18



Gambar 4.17 Hasil Pengelasan SMAW specimen No 3 (sumber: Dokumen Pribadi)



Gambar 4.18 Hasil NDT Radiography Test pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1 (sumber: Dokumen Pribadi)

4.3. Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian tarik di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Uji tarik pada tugas akhir ini mengacu pada standar dari ASME *Section IX*. Tujuan dari pengujian kekuatan tarik adalah mendapatkan nilai kekuatan tarik dari sambungan pengelasan pada specimen uji. Pengujian tarik mengukur ketahanan specimen uji terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Pengujian tarik juga dapat berguna untuk mengetahui gaya yang bekerja pada saat batas plastis dan elastis logam.

4.3.1 Hasil Uji Tarik Pada Specimen Hasil Pengelasan GTAW

1. Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW No 1

Pada specimen hasil pengelasan GTAW nomor 1, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,01 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 188,77 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 56,56 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 87,80 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 299,63 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 465,11 MPa. Bagian dari specimen uji yang mengalami patahan adalah

base metal. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.19

Tabel 4.10 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen GTAW nomor 1

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
GTAW 1	188,7	56,56	87,80	299,63	465,11	BM



Gambar 4.19 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1

2. Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW No 2

Pada specimen hasil pengelasan GTAW nomor 2, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,01 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 188,77 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 55,12 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 87,71 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 291,97 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 464,61 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.20

Tabel 4.11 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen GTAW nomor 2

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
GTAW 2	188,7	55,12	87,71	297,97	464,61	BM



Gambar 4.20 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 2

3. Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW No 3

Pada specimen hasil pengelasan GTAW nomor 3, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,33 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 191,95 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 51,57 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 82,34 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 268,69 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 428,97 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.21

Tabel 4.12 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen GTAW nomor 3

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
GTAW 3	191,95	51,57	82,34	268,69	428,97	BM



Gambar 4.21 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 3

4.3.2 Hasil Uji Tarik Pada Specimen Hasil Pengelasan FCAW

1. Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW No 1

Pada specimen hasil pengelasan FCAW nomor 1, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,50 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 193,63 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 54,60 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 84,53 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 281,97 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 436,52 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.2

Tabel 4.13 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen FCAW nomor 1

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
FCAW 1	193,63	54,60	84,53	281,97	436,52	BM



Gambar 4.22 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 1

2. Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW No 2

Pada specimen hasil pengelasan FCAW nomor 2, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,58 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 194,43 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 57,03 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 90,30 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 293,32 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 464,46 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.23

Tabel 4.14 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen FCAW nomor 2

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
FCAW 2	194,93	57,03	90,30	293,32	464,46	BM



Gambar 4.23 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 2

3. Hasil Uji Tarik Pada Hasil Pengelasan Spesimen FCAW No 3

Pada specimen hasil pengelasan FCAW nomor 3, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,23 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 190,95 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 59,31 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 83,55 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 310,60 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 437,56 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.24

Tabel 4.15 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen FCAW nomor 3

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
FCAW 3	190,95	59,31	83,55	310,60	437,56	BM



Gambar 4.24 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 3

4.3.3 Hasil Uji Tarik Pada Specimen Hasil Pengelasan SMAW

1. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW No 1

Pada specimen hasil pengelasan SMAW nomor 1, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,28 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 191,45 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 57,05 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 84,73 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 298,00 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 442,50 MPa. Bagian dari specimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.25

Tabel 4.16 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen SMAW nomor 1

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
SMAW 1	191,45	57,05	84,73	298,00	442,58	BM



Gambar 4.25 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 1

2. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW No 2

Pada specimen hasil pengelasan SMAW nomor 2, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,55 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 194,13 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 57,03 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 83,54 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 293,77 MPa dan nilai dari *ultimate strength* sebesar 430,32 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.26

Tabel 4.17 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen SMAW nomor 2

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
SMAW 2	194,13	57,03	83,54	293,77	430,32	BM



Gambar 4.26 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 2

3. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 3

Pada specimen hasil pengelasan SMAW nomor 3, ukuran lebar daerah uji material adalah 18,95 mm dan ketebalan daerah uji 9,93 mm sehingga didapatkan luas permukaan uji adalah 176,80 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 55,42 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 82,23 kN sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 313,45 MPa dan nilai dari *ultimate strength*

sebesar 465,11 MPa. Bagian dari spesimen uji yang mengalami patahan adalah *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan untuk daerah yang mengalami patahan dapat dilihat pada Gambar 4.27

Tabel 4.18 Hasil Kekuatan Tarik Spesimen SMAW nomor 2

Spesimen	Luas permukaan uji (mm ²)	Yield force (kN)	Ultimate force (kN)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Daerah patahan
SMAW 3	176,80	55,42	82,23	313,45	465,11	BM



Gambar 4.27 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 3 (sumber: Dokumen Pribadi)

4.3.4 Analisis Hasil Pengujian Tarik

Dalam pengujian tarik kriteria hasil pengujian yang dapat diterima adalah hasil *yield strength* dan *ultimate strength* yang lebih besar dari kekuatan tarik minimum dari logam dasar yang telah ditetapkan. Pada baja A36 kriteria *yield strength* minimum adalah 250 MPa dan kriteria *ultimate strength* minimum adalah 400 MPa.

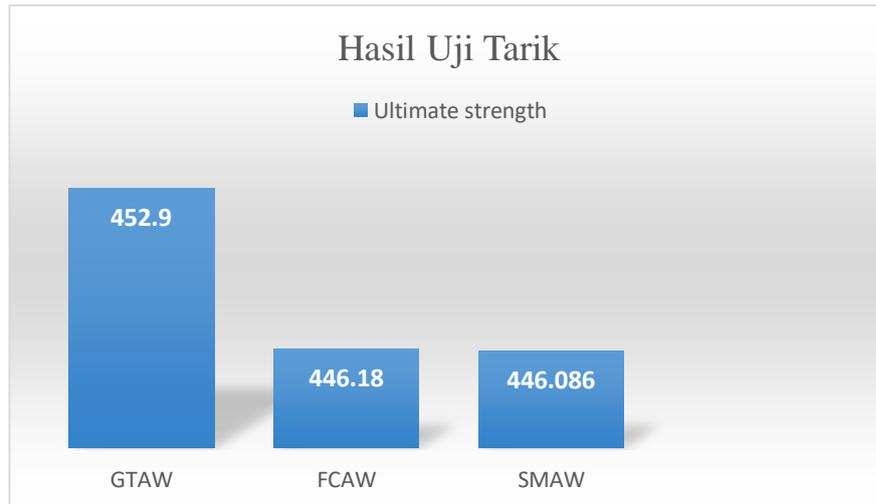
Pada spesimen hasil pengelasan GTAW nomor 1 didapatkan nilai *yield strength* 299,63 MPa dan nilai *ultimate strength* 465,11 MPa. Pada spesimen hasil

pengelasan GTAW nomor 2 didapatkan nilai yield strength 291,97 MPa dan nilai *ultimate strength* 464,61 MPa. Pada spesimen hasil pengelasan GTAW nomor 3 didapatkan nilai yield strength 268,69 MPa dan nilai *ultimate strength* 428,97 MPa. Didapatkan rata-rata dari *yield strength* pada pengelasan GTAW adalah 286,76 MPa dan rata-rata dari *ultimate strength* adalah 452,90 Mpa

Pada spesimen hasil pengelasan FCAW nomor 1 didapatkan nilai yield strength 281,97 MPa dan nilai *ultimate strength* 436,52 MPa. Pada spesimen hasil pengelasan FCAW nomor 2 didapatkan nilai yield strength 293,32 MPa dan nilai *ultimate strength* 464,46 MPa. Pada spesimen hasil pengelasan FCAW nomor 3 didapatkan nilai yield strength 310,60 MPa dan nilai *ultimate strength* 437,56 MPa. Didapatkan rata-rata dari *yield strength* pada pengelasan FCAW adalah 295,26 MPa dan rata-rata dari *ultimate strength* adalah 446,180 Mpa

Pada spesimen hasil pengelasan SMAW nomor 1 didapatkan nilai yield strength 298,00 MPa dan nilai *ultimate strength* 442,50 MPa. Pada spesimen hasil pengelasan SMAW nomor 2 didapatkan nilai yield strength 293,77 MPa dan nilai *ultimate strength* 430,32 MPa. Pada spesimen hasil pengelasan SMAW nomor 3 didapatkan nilai yield strength 313,45 MPa dan nilai *ultimate strength* 465,11 MPa. Didapatkan rata-rata dari *yield strength* pada pengelasan SMAW adalah 301,74 MPa dan rata-rata dari *ultimate strength* adalah 446,086 Mpa

Dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan GTAW pada baja A36 mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih bagus daripada proses pengelasan FCAW sebesar 1,48% dan SMAW sebesar 1,51% pada baja A36, perbedaan ini tidak signifikan dikarenakan perbedaan heat input yang juga tidak signifikan. Grafik hasil perbandingan nilai kekuatan tarik *ultimate strength* dapat dilihat pada Gambar 4.28



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Hasil Uji Tarik Ultimate Strength

4.4. Pengujian Kekerasan Metode Vickers (*Vickers Hardness Test*)

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Uji kekerasan pada penelitian ini mengacu pada ASTM E-92. Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada 3 titik di daerah HAZ, *Weld Metal*, dan *Base Metal* pada setiap spesimen uji yang telah dibentuk sebelumnya. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan perbedaan nilai kekerasan antara spesimen dengan pengelasan GTAW, FCAW, dan SMAW.

4.4.1 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW

1. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan GTAW nomor 1

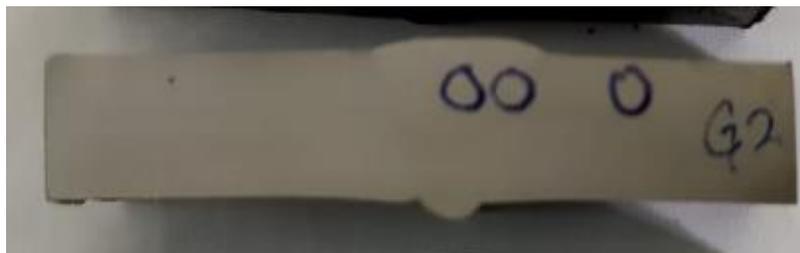
Pada spesimen hasil pengelasan GTAW nomor 1 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.29. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 136,49, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 139,93, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 154,73.



Gambar 4.29 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 1

2. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan GTAW nomor 2

Pada spesimen hasil pengelasan GTAW nomor 2 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.30. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 155,05, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 153,62, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 199,50.



Gambar 4.30 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 2

3. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan GTAW nomor 3

Pada spesimen hasil pengelasan GTAW nomor 3 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.31. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 141,60, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 138,71, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 176,82.

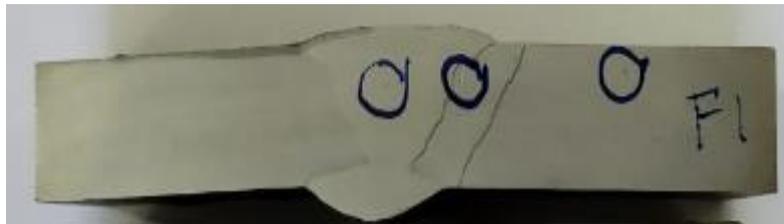


Gambar 4.31 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan GTAW Nomor 3

4.4.2 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW

1. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan FCAW nomor 1

Pada spesimen hasil pengelasan FCAW nomor 1 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.32. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 138,44, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 142,78, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 172,54.



Gambar 4.32 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 1

2. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan FCAW nomor 2

Pada spesimen hasil pengelasan FCAW nomor 2 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.33. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 140,33, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 146,42, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 170,48.



Gambar 4.33 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 2

3. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan FCAW nomor 3

Pada spesimen hasil pengelasan FCAW nomor 3 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.34. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 138,26, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 142,58, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 165,20.

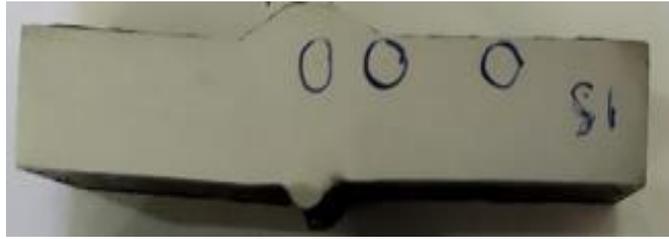


Gambar 4.34 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan FCAW Nomor 3

4.4.3 Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW

1. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan SMAW nomor 1

Pada spesimen hasil pengelasan SMAW nomor 1 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.35. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 140,70, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 143,08, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 155,00.



Gambar 4.35 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 1

2. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan SMAW nomor 1

Pada spesimen hasil pengelasan SMAW nomor 2 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.36. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 136,80, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 142,82, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 158,42.



Gambar 4.36 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil Pengelasan SMAW Nomor 2

3. Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Hasil pengelasan SMAW nomor 1

Pada spesimen hasil pengelasan SMAW nomor 3 uji titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.37. Hasil uji kekerasan pada *Base Metal* adalah 152,26, Hasil uji kekerasan pada HAZ adalah 151,65, Hasil uji kekerasan pada *Weld Metal* adalah 155,70.

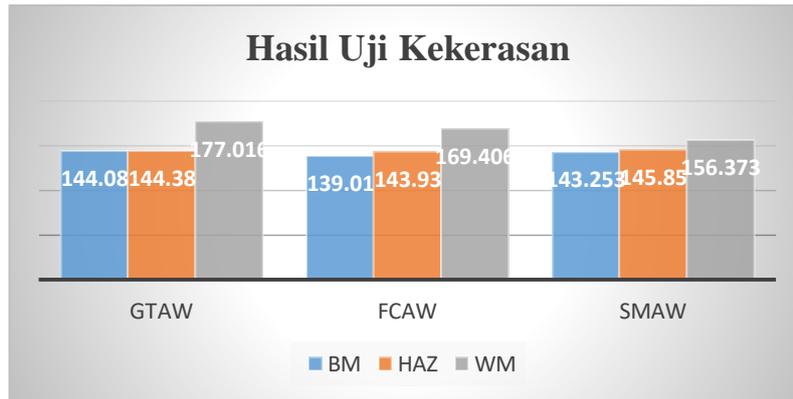


Gambar 4.37 Titik Pengujian Kekerasan pada Spesimen Hasil .Pengelasan SMAW Nomor 3

4.4.4 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil Pengujian kekerasan metode Vickers didapat dari 3 titik pengujian yaitu Base Metal, HAZ, dan Weld Metal pada masing-masing spesimen. Hasil pengujian kekerasan metode *Vickers* pada spesimen hasil pengelasan GTAW mendapatkan nilai rata-rata pada *Base Metal* adalah 144,38, HAZ 144,08, dan pada *Weld Metal* adalah 177,02. Hasil pengujian kekerasan metode *Vickers* pada spesimen hasil pengelasan FCAW mendapatkan nilai rata-rata pada *Base Metal* adalah 139,01, HAZ 143,93, dan pada *Weld Metal* adalah 169,05. Hasil pengujian kekerasan metode *Vickers* pada spesimen hasil pengelasan SMAW mendapatkan nilai rata-rata pada *Base Metal* adalah 143,25, HAZ 145,85, dan pada *Weld Metal* adalah 156,73.

Dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi adalah uji kekerasan pada spesimen hasil pengelasan GTAW pada daerah *weld metal* dengan rata-rata nilai kekerasan adalah 177,02 HVN lebih besar sebanyak 4,5% dibandingkan hasil pengelasan FCAW pada daerah *weld metal* dan lebih besar sebanyak 11,5% dibandingkan hasil pengelasan SMAW pada daerah *weld metal*, hal ini dikarenakan masukan panas yang diterima oleh material hasil pengelasan GTAW lebih banyak sehingga material yang terbentuk pada daerah *weld metal* lebih solid. Grafik hasil perbandingan uji kekerasan terdapat pada Gambar 4.38



Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Hasil Uji Kekerasan

4.5. Pengujian Metalografi Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui persentase pearlite dan ferrite pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada pengujian mikrostruktur ini perbesaran dilakukan sebanyak 200x karena fokus dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan detail fase yang terjadi setelah adanya pengaruh proses metode pengelasan.

4.5.1 Pengujian Struktur Mikro Pada Hasil Pengelasan GTAW

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan GTAW digunakan perbesaran 200x pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada daerah *base metal* didapatkan presentase pearlite adalah 30% dan ferrite adalah 70%, pada daerah HAZ didapatkan presentase pearlite adalah 31% dan ferrite adalah 69%, dan pada daerah *weld metal* didapatkan presentase pearlite adalah 33% dan ferrite adalah 67%. Tabel persentase ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.39, 4.40, dan 4.41

Tabel 4.19 Hasil Uji Struktur Mikro Pengelasan GTAW

Daerah	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
Base Metal	70%	30%
HAZ	69%	31%
Weld Metal	67%	33%



Gambar 4.39 Hasil Foto Mikro Spesimen GTAW daerah *Base Metal*



Gambar 4.40 Hasil Foto Mikro Spesimen GTAW daerah HAZ



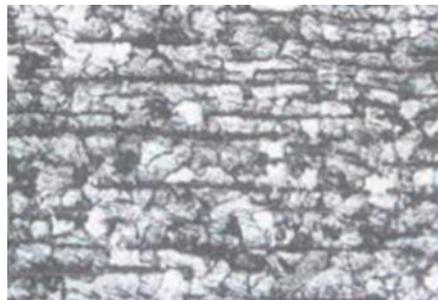
Gambar 4.41 Hasil Foto Mikro Spesimen GTAW daerah *Weld Metal*

4.5.2 Pengujian Struktur Mikro Pada Hasil Pengelasan FCAW

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan FCAW digunakan perbesaran 200x pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada daerah *base metal* didapatkan presentase pearlite adalah 28% dan ferrite adalah 72%, pada daerah HAZ didapatkan presentase pearlite adalah 29% dan ferrite adalah 71%, dan pada daerah *weld metal* didapatkan presentase pearlite adalah 30% dan ferrite adalah 70%. Tabel persentase ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.42, 4.43, dan 4.44

Tabel 4.20 Hasil Uji Struktur Mikro Pengelasan FCAW

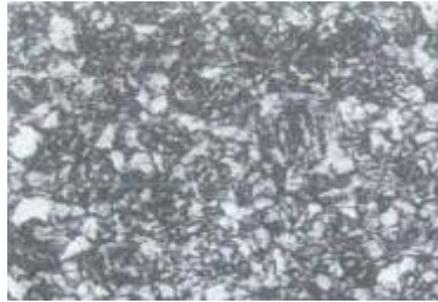
Daerah	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
Base Metal	72%	28%
HAZ	71%	29%
Weld Metal	70%	30%



Gambar 4.42 Hasil Foto Mikro Spesimen FCAW Daerah *Base Metal*



Gambar 4.43 Hasil Foto Mikro Spesimen FCAW Daerah HAZ



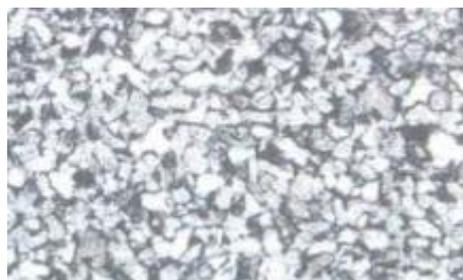
Gambar 4.44 Hasil Foto Mikro Spesimen FCAW daerah *Weld Metal*

4.5.3 Pengujian Struktur Mikro Pada Hasil Pengelasan SMAW

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen hasil pengelasan SMAW digunakan perbesaran 200x pada daerah *base metal*, HAZ, dan weld metal. Pada daerah base metal didapatkan presentase pearlite adalah 27% dan ferrite adalah 73%, pada daerah HAZ didapatkan presentase pearlite adalah 28% dan ferrite adalah 72%, dan pada daerah *weld metal* didapatkan presentase pearlite adalah 29% dan ferrite adalah 71%. Tabel persentase ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.45, 4.46, 4.47

Tabel 4.21 Hasil Uji Struktur Mikro Pengelasan SMAW

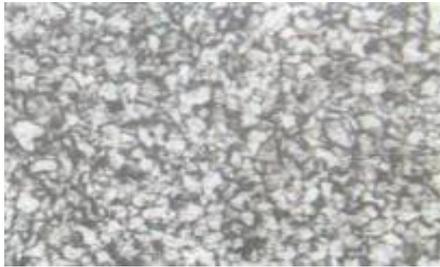
Daerah	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
Base Metal	73%	27%
HAZ	72%	28%
Weld Metal	71%	29%



Gambar 4.45 Hasil Foto Mikro Spesimen SMAW daerah *Base Metal*



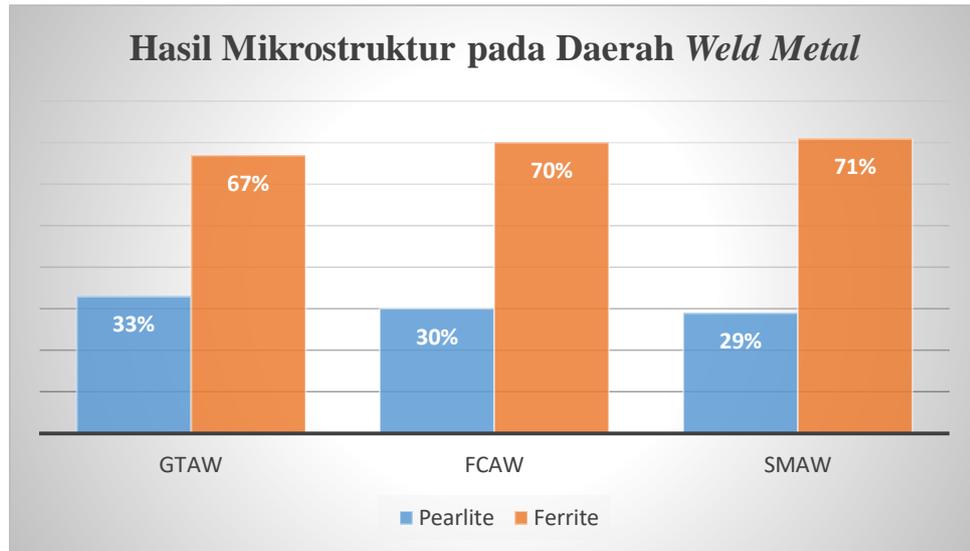
Gambar 4.46 Hasil Foto Mikro Spesimen SMAW daerah HAZ



Gambar 4.47 Hasil Foto Mikro Spesimen SMAW daerah *Weld Metal*

4.5.4 Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Hasil pengamatan mikro pada spesimen hasil pengelasan GTAW, FCAW, dan SMAW mempunyai hasil yang tidak jauh berbeda, hal ini sejalan dengan hasil kekuatan tarik rata-rata dan kekuatan kekerasan rata-rata yang juga tidak jauh berbeda. Pada penelitian ini hasil dari pengamatan mikro yang paling baik adalah pada spesimen hasil pengelasan GTAW di daerah *weld metal* yaitu pearlite 33% dan ferrite 67% sehingga dengan banyaknya struktur pearlite yang terbentuk maka membuat hasil lasan lebih kuat terhadap beban tarik dan beban kekerasan. Sedangkan hasil pengamatan mikro paling buruk adalah pada spesimen hasil pengelasan SMAW di daerah *base metal* yaitu pearlite 27% dan ferrite 73%. Grafik perbandingan hasil struktur mikro pada daerah *weld metal* terdapat pada Gambar 4.48



Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Hasil Uji Struktur Mikro Pada Daerah *Weld Metal*

4.6. Pemilihan Metode Pengelasan yang Tepat pada Baja A36

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa perbandingan hasil metode pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW pada baja A36 dengan parameter-parameter hasil uji mekanik dan biaya untuk dapat menentukan metode pengelasan yang tepat pada baja A36. Untuk dapat menentukan metode pengelasan yang tepat secara sistematis, terstruktur, dan matematis maka digunakan metode perbandingan eksponensial (MPE).

4.6.1 Hasil Metode Pengelasan GTAW

1. Hasil Uji Mekanik

Hasil uji mekanik dari metode pengelasan GTAW memiliki rata-rata kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 452,90 MPa, rata-rata kekerasan metode Vickers sebesar 177,02 HVN pada *weld metal*, dan struktur ferrite 67% dan struktur pearlite 33% pada *weld metal*.

2. Biaya

Pada penelitian ini pengelasan dilakukan di laboratorium pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengelasan GTAW pada baja A36 dengan tebal 10mm dan panjang 200mm dikenakan biaya sebesar Rp. 800.000.

Biaya ini sudah termasuk dengan argon, electrode, dan biaya pengerjaan.

4.6.2 Hasil Metode pengelasan FCAW

1. Hasil Uji Mekanik

Hasil uji mekanik dari metode pengelasan FCAW memiliki rata-rata kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 446,180 MPa, rata-rata kekerasan metode Vickers sebesar 169,05 HVN pada *weld metal*, dan struktur ferrite 70% dan struktur pearlite 30% pada *weld metal*.

2. Biaya

Pada penelitian ini pengelasan dilakukan di laboratorium pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengelasan FCAW pada baja A36 dengan tebal 10mm dan panjang 200mm dikenakan biaya sebesar Rp. 450.000. Biaya ini sudah termasuk dengan electrode dan biaya pengerjaan. Biaya untuk mengerjakan proses pengelasan FCAW lebih murah sekitar 43,75% daripada biaya untuk mengerjakan proses pengelasan GTAW

4.6.3 Hasil Metode pengelasan SMAW

1. Hasil Uji Mekanik

Hasil uji mekanik dari metode pengelasan SMAW memiliki rata-rata kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 446,086 MPa, rata-rata kekerasan metode Vickers sebesar 156,73 HVN pada *weld metal*, dan struktur ferrite 72% dan struktur pearlite 28% pada *weld metal*.

2. Biaya

Pada penelitian ini pengelasan dilakukan di laboratorium pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengelasan SMAW pada baja A36 dengan tebal 10mm dan panjang 200mm dikenakan biaya sebesar Rp. 100.000. Biaya ini sudah termasuk dengan electrode dan biaya pengerjaan. Biaya untuk mengerjakan pengelasan SMAW lebih murah 87,5% daripada biaya untuk mengerjakan pengelasan GTAW

4.6.4 Penentuan Metode Pengelasan Berdasarkan MPE

Setelah melakukan pembahasan mengenai hasil uji mekanik dan biaya pada setiap metode pengelasan, maka telah diketahui persentase selisih hasil uji pada tiap metode pengelasan, adapun kriteria uji lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.22 dibawah ini

Tabel 4.22 Kriteria Uji Metode Perbandingan Eksponensial

Kriteria	FCAW	GTAW	SMAW
Uji Tarik	446,180 MPa	452,90 MPa	446,086 MPa
Uji Kekerasan	169,046 HVN	177,016 HVN	156,373 HVN
Struktur Pearlite	30%	33%	29%
Biaya	Rp. 450.000	Rp. 800.000	Rp. 100.000

Setelah mengetahui kriteria uji, maka akan ditarik penilaian terhadap tiap kriteria uji sesuai dengan persentase perbandingan tiap kriteria uji. Pada hal ini nilai terbesar adalah 5 dan nilai terkecil adalah 1. Pada pembobotannya setiap hasil uji mekanik memiliki bobot nilai sebesar 3, dan biaya adalah 4, nilai pembobotan ini adalah asumsi menurut penulis. Penilaian terhadap kriteria uji lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.23 berikut ini

Tabel 4.23 Penilaian Kriteria Uji dengan Metode Perbandingan Eksponensial

Alternatif	Uji Tarik	Uji Kekerasan	Struktur Pearlite	Biaya	Nilai Keputusan
GTAW	5,000	5,000	5,000	1,000	376,00
FCAW	4,926	4,775	4,545	2,813	344,55
SMAW	4,924	4,425	4,400	5,000	416,21
Bobot	3	3	3	3	

Setelah melakukan penilaian tiap metode pengelasan dengan metode

perbandingan eksponensial maka didapatkan hasil terbaik adalah metode pengelasan SMAW, hal ini dikarenakan selisih hasil uji mekanik yang tidak terlalu jauh, tetapi memiliki selisih yang sangat jauh pada biaya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai perbandingan hasil pengelasan GTAW, FCAW, dan SMAW pada baja A36 terhadap uji tarik, uji kekerasan, dan struktur mikro menghasilkan 4 kesimpulan. Adapun kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tarik terbaik adalah hasil pengelasan GTAW dengan rata-rata *ultimate strength* adalah 452,90 MPa, memiliki selisih sebesar 6,72 MPa (1,48%) dengan FCAW dan selisih sebesar 6,81 MPa (1,51%) dengan SMAW, perbedaan antara tiap metode pengelasan tidak signifikan dikarenakan perbedaan masukan panas yang juga tidak signifikan.
2. Hasil pengujian kekerasan terbaik adalah hasil pengelasan GTAW pada daerah *weld metal* dengan rata-rata 177,02 HVN, memiliki selisih sebesar 7,97 HVN (4,5%) dengan FCAW dan selisih sebesar 20,29 HVN (11,5%) dengan SMAW. Hal ini dikarenakan pada pengelasan GTAW masukan panas yang diterima oleh material lebih banyak dibandingkan pengelasan FCAW dan SMAW, semakin tinggi masukan panas yang diterima oleh material maka bagian yang menerima panas tersebut akan semakin *solid*.
3. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa hasil pengelasan GTAW dengan struktur *pearlite* terbanyak dibandingkan dengan pengelasan FCAW dan SMAW hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak struktur *pearlite* yang terbentuk maka semakin besar hasil uji tarik dan kekerasan.
4. Melalui hasil perhitungan metode perbandingan eksponensial, Metode pengelasan yang tepat pada baja A36 adalah metode pengelasan SMAW dengan nilai keputusan 416,21 dikarenakan hasil uji mekanik yang tidak jauh berbeda dengan metode pengelasan GTAW dan FCAW tetapi memiliki selisih perbedaan biaya yang cukup besar.

5.2 Saran

Dalam laporan tugas akhir ini, penulis ingin memberikan saran untuk penyempurnaan dan penelitian lebih dalam pada Tugas Akhir selanjutnya, yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan metode lain seperti GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) atau OAW (*Oxy Arc Welding*)
2. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan material jenis lain seperti baja A53 atau *Stainless Steel SS304*
3. Pada penelitian selanjutnya dapat membandingkan hasil pada uji lainnya seperti uji bending, uji *impact* atau laju korosi
4. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode pengambilan keputusan lainnya seperti metode AHP atau metode Bayes.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah, H. 2019. “**Analisis Pengaruh Variasi Elektroda dan Heat Input Pengelasan SMAW pada Weld Joint Baja A53 dan Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik dan Prediksi Laju Korosi**”. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- ASME Section IX, 1995. **Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators**, ASME, New York
- ASTM. 2004. **Metals Mechanical Testing Elevated and Low Temperature Tests Metallograph**, Annual Book of ASTM Standard, Vol 03.01, E-8M
- AWS, 2000, **Structural Welding Code Steel**, AWS Standard Vol. D1.1
- Balan, A., Kumar, G., Oscar, J., M. Ramesh, R. Ragnath, S. Saravanan. 2019. “Influence of FCAW Process Parameters in Super Duplex Stainless Steel Claddings”. **Journal of Materialstoday, Vol: 1, July**
- Bouaziz, Z., Chayoukhi, S., Zghal, A. 2006. “Cost Evaluation for Welding Process by Using Preparing Features”. **IFAC Proceedings Volumes, Vol: 39. Pages 813-818**
- Basavarajappa S, Kumar, P., Pai, A., Sogalad, I. 2019. “Results of Tensile, Hardness, and Bend Tests of Modified 9Gr 1Mo Steel Welds: Comparison Between Cold Wire and Hot Wire GTAW Processes”. **International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol: 169, Januari, Pages 125-141**
- Da Silva, A.C., Artur, C.P., Fabio, G.C., Fernanda, S.L., Leandro, J.J., Sergio, N.M., Veronica, S.C. 2018. “Mechanical Properties and Microstructure of SMAW Welded and Thermically Treated HSLA-80 Steel”. **Journal of Materials Research and Technology, Vol: 7, October, Pages 598-605**
- Fei, X., Hui, L., Jin, H., Minyu, F., Weiwei, Y., Xu, C.. 2018. “A Comparison between fracture toughness at different locations of SMAW and GTAW Welded Joints of Primary Coolant Piping”. **Engineering Fracture Mechanics, Vol: 202, Oktober, Page 135-146**

- Firmansyah, D.R. 2017. **“Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Gas Pelindung Hasil Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan Mekanik dan Mikro Alumunium Seri 5083”**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ghazvinloo, H.R, and Raouf, A.H. 2010. “Effect of Gas-Shielded Flux Cored Arc Welding Parameters on Weld Width and Tensile Properties of Weld Metal in a Low Carbon Steel”. **Journal of Applied Sciences, Vol: 10, Pages 658-663**
- Hadiwianata, A.Y. 2017. **“Analisis Sifat Mekanis dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Laut dari Material Baja Karbon ASTM A131 Grade AH 36”**. Surabaya : Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kumaraswamy A, Madhu, V., Reddy, M., Saxena, A. 2018. “Influence of Welding Consumables on Tensile and Impact Properties of Multi-pass SMAW ArmoX 500T Steel Joints Vis-à-vis Base Metal”. **Defence Technology, Vol: 14. June. Pages 188-195**
- Indiarsa, A.B. 2018. **“Analisis Sifat Mekanik Pada Sambungan Pelat Baja AH 36 dan ASTM A 53 Menggunakan Pengelasan Flux Core Arc Welding (FCAW) Dengan Variasi Heat Input dan Jenis Elektrode”**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Jaya, D.B. 2018. **“Analisis Pengaruh Sudut Groove pada Pengelasan SMAW terhadap Sifat Mekanis dan Prediksi Laju Korosi ASTM A131 AG36 di Lingkungan Laut”**. Surabaya : Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Khotasa, M. S. 2016. **“Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh pada Pengelasan SMAW terhadap Kekuatan Impact Sambungan Butt Joint pada Plat Baja A36”**. Surabaya : Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kumar, H and Kumar, R. 2018. “Research on Diffusion of Ti-Based Stabilizer through Flux Coated GTAW to Reduce Carbide Precipitation in SS304 Weldment”. **Journal of Materialstoday, Vol: 5, Pages 18689-18696**

- Marinda, G. S. 2017. **“Pengaruh Sudut Groove Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi pada Baja Karbon ASTM A 36 di Lingkungan Laut”**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Najiyullah, R. 2018. **“Analisa Pengaruh Variasi Heat Input pada Pengelasan GTAW dan SMAW Terhadap Struktur Mikro, Sifat Mekanis, dan Pitting Corrosion pada Material Super Duplex SA790 S32750”**. Surabaya : Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prasad, S.S., and Thorat, R. 2001. “Analysis and Optimization of Structural Integrity of Welded Joint”. **International Research Journal of Engineering and Technology, Vol: 3, Pages 1599-1604**
- Parekke, S. 2017. “Pengaruh Variasi Arus pada Pengelasan GTAW terhadap Sifat Mekanis dan Fisis pada Logam Berbeda Baja Karbon Sedang Dengan Baja Tahan Karat Austenit”. **Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 9, No. 1, November.**
- Perdana, D. 2017. **“Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW pada Material Plat SS 400 Disambung Dengan Material Plat SUS 304 Terhadap Sifat Mekanis”**. Sidoarjo : Skripsi Teknik Mesin FT, Universitas Maarif Hasyim Latif.
- Prasojo, B. 2012. **Modul Ilmu Pengetahuan Bahan**. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Pratikno, H. 2010. “Pengaruh Jenis Proses Las FCAW/SMAW dan salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja Pada Underwater Welding di Lingkungan Laut”. **Neptunus Jurnal Teknik Kelautan, Vol. 16, No.1, Januari.**
- Rangkuti, A H. 2011. “Teknik Pengambilan Keputusan Multi Kriteria Menggunakan Metode Bayes, MPE, CPI, dan AHP”. **ComTech Vol.2 No.1 Juni, hal: 229-238**
- Rudy, T.O. 2018. **“Analisis Pengaruh Parameter Pengelasan GTAW pada Stainless Steel AISI 304 Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro”**. Jakarta: Skripsi Teknik Mesin FT, Universitas Tarumanagara.

- Setyawan, A. 2002. **“Analisa Perbandingan Proses Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Untuk Tebal Plat Pipa 10mm dan 15mm”**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sidhu, G.S and Chatha, S.S. 2012. **“Role of Shielded Metal Arc Welding Consumables on Pipe Weld Joint”**. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol: 2, Pages 746-750**
- Situmorang, Y. 2018. **“Analisis Pengaruh Variasi Temperature Post Weld Heat Treatment pada Pengelasan GTAW Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Tensile Strength pada Stainless Steel 304”**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syahrani, A. 2017. **“Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Mekanis pada Pipa Baja Karbon ASTM A 106”**. **Jurnal Mekanikal, Vol. 8, No. 1, Januari, hal. 721-729.**
- Tarigan, E K. 2016. **“Analisa Hasil Pengelasan SMAW Pada Stainlees Steel 304 Dengan Variasi Arus Dan Diameter Elektroda”**. Medan: Skripsi Teknik Mesin FT, Universitas Sumatera Utara.
- Zetce, B. 2017. **“Analisa Resiko dan Biaya pada Pengelasan Pipa Bawah Laut ASTM A333 Gr6 Dengan Metode GTAW dan SMAW”**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Kelautan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN A
SURAT PENGANTAR PEMINJAMAN LABORATORIUM UJI



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS, Gedung WA, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5928105, 5994251-4 PABX: 1104, 1105, 1107, Fax: 031-5928105
E-mail : tu_kelautan@its.ac.id

Nomor : 85234 /IT2.VI.6.3/PP.05.02/2019
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

15 OCT 2019

Yth. Pimpinan PT. Robutech
Di Tempat

Dalam rangka pencarian data dan materi untuk Tugas Akhir mata kuliah (MO 141326) yang merupakan salah satu persyaratan kurikulum pada Departemen kami, mohon bantuan bagi mahasiswa Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember berikut ini:

No.	Data Mahasiswa	
1.	Nama	M.Akbar Refoputra
2.	NRP	04311640000117
3.	Judul Tugas Akhir	Analisa perbandingan hasil pengelasan FCAW, GTAW dan SMAW pada baja A 36 terhadap uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro
4.	Pembimbing	Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D

Dengan ini memohon berupa: Uji Non - Destructive (NDT) untuk keperluan penyelesaian Penelitian Tugas Akhir tersebut.

Demikian surat permohonan ini, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Kepala Departemen,

Dr. Eng. Rudi Walujo P., S.T., M.T.
NIP. 49710508/199703 1 00 v/h
DEPARTEMEN
TEKNIK KELAUTAN



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS, Gedung WA, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5928105, 5994251-4 PABX: 1104, 1105, 1107, Fax: 031-5928105
E-mail : tu_tkelautan@its.ac.id

Nomor : 87579 /IT2.VI.6.3/PP.05.02/2019
Perihal : Permohonan Data Tugas Akhir

23 OCT 2019

Yth. Kepala Labotarium Pengelasan Politeknik Perkapalan
Negeri Surabaya

Dalam rangka pencarian data dan materi untuk Tugas Akhir mata kuliah (MO 184804) yang merupakan salah satu persyaratan kurikulum pada Departemen kami, mohon bantuan bagi mahasiswa Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember berikut ini:

No.	Data Mahasiswa	
1.	Nama	M. Akbar Refoputra
2.	NRP	04311640000117
3.	Judul Tugas Akhir	Analisa perbandingan hasil pengelasan FCAW, GTAW dan SMAW pada Baja A 36 terhadap uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro
4.	Pembimbing	Herman Pratikno, ST.,MT.,Ph.D

Dengan ini memohon berupa: uji mekanik (Uji Tarik, Kekerasan, Mikro) untuk keperluan penyelesaian Penelitian Tugas Akhir tersebut.

Demikian surat permohonan ini, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.



Tembusan

1. Lab. Uji Bahan PPNS
2. Arsip

LAMPIRAN B
SERTIFIKAT BAJA A36

LAMPIRAN C
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/ SMAW-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 purging gas) <i>Auxiliaries (e.g. backing gas)</i>	--	N/A
Tipe arus dan polaritas <i>Type of current and polarity</i>	CCCP	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. BAKI KUALIFIKASI 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 sampai : 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 <i>Revalidation of validity period for a further 2 (two) years</i>	
Tanggal : <i>Date</i>	Berlaku s/d : <i>Valid until</i>
Tanda tangan : <i>Signature</i>	Tanggal : <i>Date</i>
	Tanda tangan : <i>Signature</i>
	Berlaku s/d : <i>Valid until</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

LAMPIRAN D
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM WELDING CENTER

Jl. Teknik Kimia - Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
 Telp. 031-5947186 Fax. 031-5925524
 www.ppns.ac.id

Name : MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)
 Welding Procedure : No. 1 - 3 Date, 17 Oktober 2019
 Welding Process(es) : FCAW
 Joints Design (QW-402) : Butt Joint
 Groove : Single Ve
 Base Metals (QW-403) : Plate A36 t.10 mm
 Filler Metal : ER 71-T
 Positins (QW-405) : 1G
 GAS (es) : CO² 100% ,Flow Rate : 20 L/mnt
 Technique (QW-410) : String or Weave
 Interpass Cleaning : Grending

**Single Ve 60°
 No : 1**

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	54 detik	0,90
2	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	62 detik	1,03
Backweld								
3	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	59 detik	0,98

No : 2

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	58 detik	0,97
2	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	60 detik	0,98
BackWeld								
3	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	55 detik	1,02

No : 3

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	50 detik	0,98
2	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	68 detik	1,00
Backweld								
3	FCAW	E -71T	1,2	DCEP	160	26	48 detik	0,97



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM WELDING CENTER

Jl. Teknik Kimia - Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
 Telp. 031-5947186 Fax. 031-5925524
 www.ppns.ac.id

Name : MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)
 Welding Procedure : No. 1 - 3 Date, 17 Oktober 2019
 Welding Process(es) : GTAW
 Joints Design (QW-402) : Butt Joint
 Groove : Single Ve
 Base Metals (QW-403) : Plate A36 t.10 mm
 Filler Metal : ER 70 S-6 Diameter 2,4 mm
 Positins (QW-405) : 1G
 GAS (es) : Argon HP.99.999% Flow rate 20 L/mnt
 Technique (QW-410) : String or Weave
 Tungsten Type : EWTH-2
 Interpass Cleaning : Grending

**Single Ve 60°
 No : 1**

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	75	20	110 detik	0,66
2	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	117 detik	1,03
3	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	123 detik	1,08
4	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	128 detik	1,12
5	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	122 detik	1,07

No : 2

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	109 detik	0,65
2	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	113 detik	0,99
3	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	122 detik	1,07
4	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	131 detik	1,15
5	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	120 detik	1,05

No : 3

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	132 detik	0,67
2	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	147 detik	1,04
3	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	148 detik	1,06
4	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	172 detik	1,11
5	GTAW	E 70S-6	2,4	DCSP	110	20	178 detik	1,07



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM WELDING CENTER

Jl. Teknik Kimia - Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
 Telp. 031-5947186 Fax. 031-5925524
 www.ppns.ac.id

Name : MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)
 Welding Procedure : No. 1 - 3 Date, 17 Oktober 2019
 Welding Process(es) : SMAW
 Joints Design (QW-402) : Butt Joint
 Groove : Single Ve
 Base Metals (QW-403) : Plate A36 t.10 mm
 Filler Metal : E 7016 & E 7018
 Positins (QW-405) : 1G
 GAS (es) : N/A
 Technique (QW-410) : String or Weave
 Interpass Cleaning : Grending

Single Ve 60°

No : 1

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	65	19	124 detik	0,64
2	SMAW	E 7018	3,2	DCEN	100	22	120 detik	1,06
3	SMAW	E 7018	3,2	DCEN	100	22	122 detik	1,07
4	SMAW	E 7018	3,2	DCEN	100	20	130 detik	1,14

No : 2

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	65	19	118 detik	0,61
2	SMAW	E 7016	3,2	DCEN	100	22	112 detik	0,99
3	SMAW	E 7016	3,2	DCEN	100	22	125 detik	1,10
4	SMAW	E 7016	3,2	DCEN	100	20	128 detik	1,13

No : 3

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed	Heat Input (kj/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6	DCEN	65	19	124 detik	0,64
2	SMAW	E 7016	3,2	DCEN	100	22	116 detik	1,02
3	SMAW	E 7016	3,2	DCEN	100	22	121 detik	1,06
4	SMAW	E 7016	3,2	DCEN	100	20	127 detik	1,11

LAMPIRAN E
LAPORAN HASIL UJI NDT

ROBOTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT										Sheet 1 of 1			
Customer		M AKBAR R				Report No.		01-RT/RBT-TA/X/19							
Project Name		TA				Drawing No.									
Location		SURABAYA				Procedure No.		RBT - P-05							
Work Order No.						Applicable Code		ASME IX							
PART		RADIATION SOURCE				RADIOGRAPHIC FILM				LEAD SCREEN					
Name		Plate				Isotope Type		Ir-192		Brand		AGFA		Thickness: 0.125 mm	
OD						Activity		37		Film Type		D7		Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front	
Base Mat'l Type		A 36				X-ray Equipment				Dimension		4x10		Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Back	
Base Mat'l Thk.		10 mm				Voltage				No. of Film in a Cassette		1		MARKER	
Reinforcement		3 mm				Current				Lead letter "B" used				Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Source Side	
Backing		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				Source Size (mm)		2 x 3		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				Film Side <input type="checkbox"/>	
TECHNIQUE		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH										IMAGE QUALITY INDICATOR			
Exposure		<input checked="" type="checkbox"/> Single Wall				<input type="checkbox"/> Double Wall				Wire Set: 1B Wire ID: 7					
Viewing		<input checked="" type="checkbox"/> Single Wall				<input type="checkbox"/> Double Wall				Hole Designation: -					
Exposure Time		0.9 Min				Panoramic <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>				Visible Hole					
Ug		0.5 mm				DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>				1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>					
SOD		12 Inch				Note for sketch:				Placement:					
SSOF		13 mm				1. SWSV: Single Wall Single Viewing				Source Side <input checked="" type="checkbox"/>					
Note:		SOD: Source to Object Distance				2. DWSV: Double Wall Single Viewing				Film Side <input type="checkbox"/>					
SSOF:		Source side to Object Film				3. Other than listed (Please Sketch)				DENSITY: Min: 2 Max: 4					
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity						Result		Remark / Comment		
		Joint No.	Interest Area		IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	Acc		Rej	
18-10 2019		1	A - B										ACC		
		2	B - C										ACC		
		3	C - D										ACC		
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC: Undercut, RC: Root Concavity, P: Porosity, INC: Inclusion, CR: Crack															
Welding Process(es) : FCAW															
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: 21/10/2019			Date:			Date:							

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT				Sheet 1 of 1								
Customer	: M AKBAR R	Report No.	: 01-RT/RBT-1A/X/19											
Project Name	: TA	Drawing No.	:											
Location	: SURABAYA	Procedure No.	: RBT - P-05											
Work Order No.	:	Applicable Code	: ASME IX											
PART		RADIATION SOURCE		RADIOGRAPHIC FILM		LEAD SCREEN								
Name	: Plate	Isotope Type	: Ir-192	Brand	: AGFA	Thickness	: 0.125 mm							
OD	:	Activity	: 37	Film Type	: D7	Placement	: <input type="checkbox"/> Front <input checked="" type="checkbox"/> Back							
Base Mat'l Type	: A 36	X-ray Equipment	:	Dimension	: 4x10	MARKER								
Base Mat'l Thk.	: 10 mm	Voltage	:	No. of Film in a Cassette	: 1	Placement: <input type="checkbox"/> Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side								
Reinforcement	: 3 mm	Current	:	Lead letter "B" used	:									
Backing	: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm)	: 2 x 3	Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" 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: 7							
Viewing	: Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/> Panoramic <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>					Hole Designation	:							
Exposure Time	: 0.9 Min					Visible Hole	:							
Ug	: 0.5 mm					1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>								
SOD	: 12 Inch					Placement:								
SSOF	: 13 mm					Source Side <input checked="" type="checkbox"/>								
Note:		DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>				Film Side <input type="checkbox"/>								
SOD	: Source to Object Distance	Notes for sketch:				DENSITY:	Min : 2							
SSOF	: Source side to Object Film	1. SWSV: Single Wall Single Viewing				Max : 4								
		2. DWSV: Double Wall Single Viewing												
		3. Other than listed (Please Sketch)												
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity						Result		Remark / Comment	
		Joint No.	Interest Area		Weld ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR		ACC
18-10 2019		1	A - B									ACC		
		2	B - C									ACC		
		3	C - D									ACC		
Type of Discontinuity:		IF: Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC: Undercut, RC: Root Concavity, P: Porosity, INC: Inclusion, CR: Crack												
Welding Process(es):		GTAW												
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: 21/10/2019		Date:			Date:			Date:						

RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT

Sheet 1 of 1

Customer : M AKBAR R		Report No. : 01-RT/RBT-TA/X/19	
Project Name : TA		Drawing No. :	
Location : SURABAYA		Procedure No. : RBT - P -05	
Work Order No. :		Applicable Code : ASME IX	

PART		RADIATION SOURCE	RADIOGRAPHIC FILM	LEAD SCREEN
Name :	Plate	Isotope Type : Ir-192	Brand : AGFA	Thickness: 0.125 mm
OD :		Activity : 37	Film Type : D7	Placement: <input type="checkbox"/> Front
Base Mat'l Type :	A 36	X-ray Equipment : -	Dimension: 4x10	<input type="checkbox"/> Back
Base Mat'l Thk. :	10 mm	Voltage : -	No. of Film in a Cassette: 1	MARKER
Reinforcement :	3 mm	Current : -	Lead letter "B" used :	Placement: Source Side <input type="checkbox"/>
Backing :	Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm) : 2 x 3	Yes <input 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: 7
Viewing :	Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>			Hole Designation: -
Exposure Time :	0.9 Min			Visible Hole
Ug :	0.5 mm			1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>
SOD :	12 Inch			Placement:
SSOF :	13 mm			Source Side <input type="checkbox"/>
Note: SOD : Source to Object Distance SSOF : Source side to Object Filat		Note for sketch: 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 2. DWSV: Double Wall Single Viewing 3. Other than listed (Please Sketch)		Film Side <input type="checkbox"/>
				DENSITY: Min : 2 Max : 4

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		Rej	
18-10 2019		1	A - B											ACC	-	
		2	B - C											ACC	-	
		3	C - D											ACC	-	P: 4mm

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,
NOI Level II Date: 21/10/2019	Date:	Date:	Date:

LAMPIRAN F
HASIL UJI MEKANIK FCAW



LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor : 1363 /PL19/BJP/2019
 Number

PELANGGAN / Customer		
1.	Nama Name	: M. AKBAR REFOPUTRA
2.	Alamat Address	: FTK – ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya
BENDA UJI / Test Specimen		
1.	Tanggal Diterima Date of Received	: 15 November 2019
2.	Spesimen Uji Test Specimen	: Sambungan las plat
3.	Identifikasi Material Identification of Material	: Plat SA36 tebal 10 mm
4.	Proses Las /Posisi Las/Juru Las Weld Process/Position/Welder	: FCAW / 1G / M. FAUZI
5.	Proyek Project	: -
PENGUJIAN / Testing		
1.	Tanggal Pengujian Date of Testing	: 21 November 2019, 22 November 2019, 26 November 2019
2.	Lokasi Pengujian Location of Testing	: Lab. Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
3.	Jenis Pengujian Type of Testing	: Tensile Test, Hardness Test, Microstructure Test
4.	Kondisi Lingkungan Environmental Condition	: Suhu 26°C
5.	Acuan Reference	: ASME IX:2019
ALAT / Equipment		
1.	Nama Name	: 1. Universal Testing Machine 2. Mesin Uji Kekerasan Vickers 3. Olympus Metallurgical Microscope
2.	Tipe/Model Type/Model	: 1. UH-600kNI 2. FLC50UV 3. BX 51M
3.	Kapasitas Capacity	: 1. 600kN 2. Sampai dengan 700 HV 3. up to 1000x magnifying
4.	Merek/Buatan Manufacturer	: 1. Shimadzu / Japan 2. Future Tech / Japan 3. Olympus, Japan
5.	Nomor Seri Serial Number	: 1. I 21064600004 2. FLC0033V 3. 3E149010
6.	Nilai Ketidak pastian Number of uncertainty	: -
7.	Keterelusuran Traceability	: 1. - 2. Caltesys, Surabaya 3. -
HASIL PENGUJIAN / Result of Testing		: (Terlampir) (Attached)
DITERBITKAN TANGGAL Date of Issue		: 26 November 2019

Kalab. Uji Bahan
 Head of DT & NDT Laboratory

Mohammad Thoriq Wahyudi, ST, MT
 NIP. 196008031988031004

Keterangan / Notes :

- 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
- Hasil pengujian ini tidak untuk ditumunkan 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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1363 /PL19/BJP/2019
 Number

No. SPK 26-XI/PL19/BJP/2019
 F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
F1	9.93	19.50	-	193.63	60.00	54.60	84.53	-	-	-
F2	9.93	19.58	-	194.43	60.00	57.03	90.30	-	-	-
F3	9.93	19.23	-	190.95	60.00	59.31	83.55	-	-	-
Hasil pengujian										
No	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penampang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)	Remark			
F1	-	74.00	-	23.33	281.97	436.52	BM SA36			
F2	-	74.50	-	24.17	293.32	464.46	BM SA36			
F3	-	80.00	-	33.33	310.60	437.56	BM SA36			
Catatan : WM : Weld Metal BM : Base Metal FL : Fusion Line HAZ : Heat Affected Zone										

Surabaya, 21 November 2019
 Diuji oleh,  Diverifikasi oleh, 


F.03-LUB-PPNS

II. PENGUJIAN KEKERASAN / HARDNESS TEST							
Metode: <input type="checkbox"/> Brinell <input checked="" type="checkbox"/> Vickers <input type="checkbox"/> Rockwell ...-... (konversi)							
Indenter: <input type="checkbox"/> Ball Ø2.5mm <input type="checkbox"/> Ball Ø10mm		<input type="checkbox"/> Ball Ø5mm <input checked="" type="checkbox"/> Diamond pyramid 136°		Beban	: 10	kgf	
				Waktu	: 10	detik	
No.	Penandaan	Posisi	Lokasi	Nilai Kekerasan	Rerata	Keterangan	
1	F1	BM	-	138.44	-		
2	F2	BM	-	140.33			
3	F3	BM	-	138.26			
4	F1	HAZ	-	142.78	-		
5	F2	HAZ	-	146.42			
6	F3	HAZ	-	142.58			
7	F1	WM	-	172.54	-		
8	F2	WM	-	170.48			
9	F3	WM	-	165.20			
Catatan: WM= Weld metal BM= Base Metal FL= Fusion Line HAZ= Heat Affected Zone							

Surabaya, 22 November 2019
 Diuji oleh,  Diverifikasi oleh, 


Halaman
 2 dari 4

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 diumumkan 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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1363 /PL19/BJP/2019
Number

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019

III. PENGUJIAN METALOGRAPHY

Etching Reagent : 5% Nital
Magnification : 200x

Micro-etch Test
 Macro-etch Test

Photograph:



Gambar 1. Struktur mikro benda uji Butt joint FCAW di daerah logam induk (Base Metal)



Gambar 2. Struktur mikro benda uji Butt joint FCAW di daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone)

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 diumumkan 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





Gambar 3. Struktur mikro benda uji Butt joint FCAW di daerah logam las (Weld Metal)

Surabaya, 26 November 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
	
Agus	M. F. M. W.

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 diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang ditujikan dalam pengujian ini
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

LAMPIRAN G
GRAFIK TEGANGAN-REGANGAN HASIL UJI TARIK FCAW

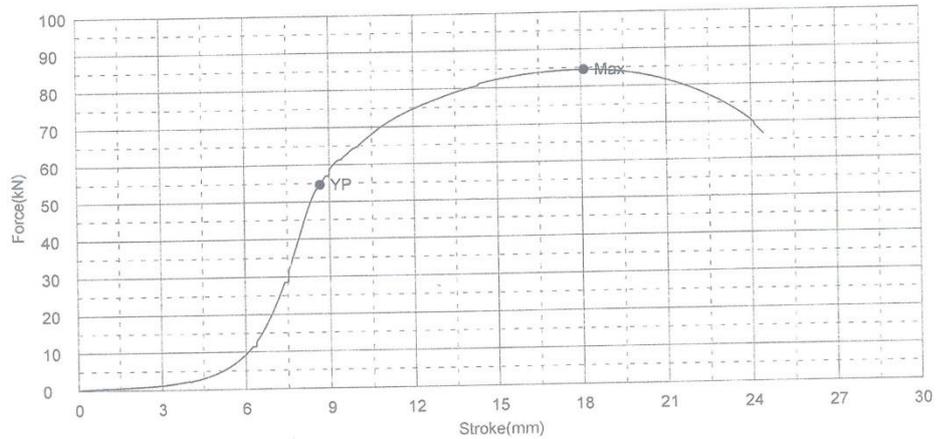
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
F1	9,9300	19,5000	60,0000

Name	Area	YP Force	Max Force	YP Stress	Max Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
F1	193,63	54,60	84,53	281,97	436,52

Name	Elongation
Units	%
F1	23,33



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
 Spesimen: WELD BUTT JOINT
 Material: PLATE SA36 T=10mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: FCAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



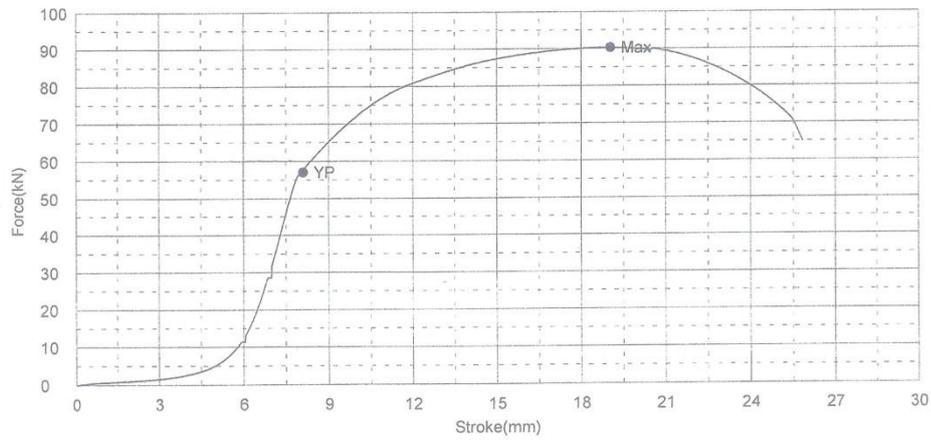
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
F2	9,9300	19,5800	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
F2	194,43	57,03	90,30	293,32	464,46

Name	Elongation
Units	%
F2	24,17



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
Spesimen: WELD BUTT JOINT
Material: PLATE SA36 T=10mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: FCAW / 1G / M, FAUZI
Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



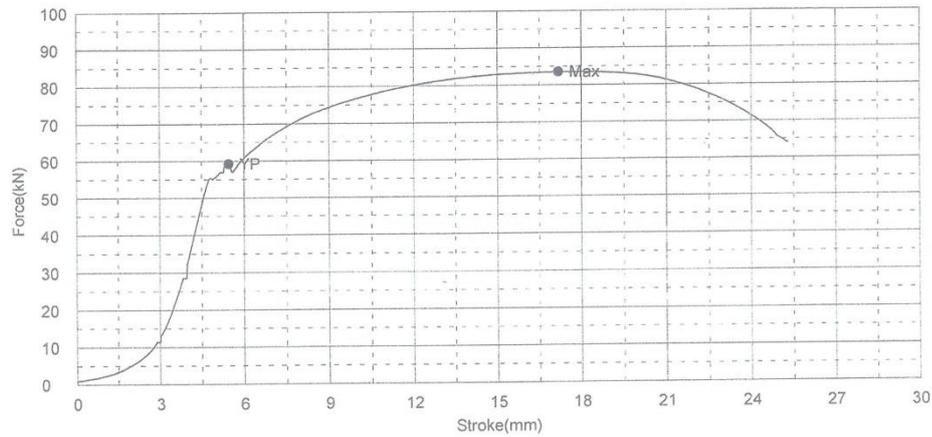
**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
F3	9,9300	19,2300	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
F3	190,95	59,31	83,55	310,60	437,56

Name	Elongation
Units	%
F3	33,33



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
 Spesimen: WELD BUTT JOINT
 Material: PLATE SA36 T=10mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: FCAW / 1G / M. FAWA
 Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



LAMPIRAN H
HASIL UJI MEKANIK GTAW



LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor : 1364 /PL19/BJP/2019
 Number

PELANGGAN / Customer	
1. Nama / Name	: M. AKBAR REFOPUTRA
2. Alamat / Address	: FTK – ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya
BENDA UJI / Test Specimen	
1. Tanggal Diterima / Date of Received	: 15 November 2019
2. Spesimen Uji / Test Specimen	: Sambungan las plat
3. Identifikasi Material / Identification of Material	: Plat SA36 tebal 10 mm
4. Proses Las / Posisi Las / Juru Las / Weld Process / Position / Welder	: GMAW / 1G / M. FAUZI
5. Proyek / Project	: -
PENGUJIAN / Testing	
1. Tanggal Pengujian / Date of Testing	: 21 November 2019, 22 November 2019, 26 November 2019
2. Lokasi Pengujian / Location of Testing	: Lab. Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
3. Jenis Pengujian / Type of Testing	: Tensile Test, Hardness Test, Microstructure Test
4. Kondisi Lingkungan / Environmental Condition	: Suhu 26°C
5. Acuan / Reference	: ASME IX:2019
ALAT / Equipment	
1. Nama / Name	: 1. Universal Testing Machine 2. Mesin Uji Kekerasan Vickers 3. Olympus Metallurgical Microscope
2. Tipe/Model / Type/Model	: 1. UH-600kNI 2. FLC50UV 3. BX 51M
3. Kapasitas / Capacity	: 1. 600kN 2. Sampai dengan 700 HV 3. up to 1000x magnifying
4. Merek/Buatan / Manufacturer	: 1. Shimadzu / Japan 2. Future Tech / Japan 3. Olympus, Japan
5. Nomor Seri / Serial Number	: 1. I 2106460004 2. FLC0033V 3. 3E149010
6. Nilai Ketidakpastian / Number of uncertainty	: -
7. Ketertelusuran / Traceability	: 1. - 2. Caltesys, Surabaya 3. -
HASIL PENGUJIAN / Result of Testing	: (Terlampir) / (Attached)
DITERBITKAN TANGGAL / Date of Issue	: 26 November 2019

Kalab. Uji Bahan
 Head of DT & NDT Laboratory

Mohammad Thoriq Wahyudi, ST., MM.
 NIP. 196008031988031064

Keterangan / Notes :

- 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
- Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan 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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1364 /PL19/BJP/2019
 Number

No. SPK 26-XI/PL19/BJP/2019
 F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
G1	9.93	19.01	-	188.77	60.00	56.56	87.80	-	-	-
G2	9.93	19.01	-	188.77	60.00	55.12	87.71	-	-	-
G3	9.93	19.33	-	191.95	60.00	51.57	82.34	-	-	-

Hasil pengujian							
No	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)	Remark
G1	-	79.00	-	31.67	299.63	465.11	BM SA36
G2	-	78.00	-	30.00	297.97	464.61	BM SA36
G3	-	79.00	-	31.67	268.69	428.97	BM SA36

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

Surabaya, 21 November 2019
 Diuji oleh,  Agus
 Diverifikasi oleh,  Moch. Theoris W

F.03-LUB-PPNS

II. PENGUJIAN KEKERASAN / HARDNESS TEST										
Metode: <input type="checkbox"/> Brinell <input checked="" type="checkbox"/> Vickers <input type="checkbox"/> Rockwell ... (konversi)					Beban : 10 kgf					
Indenter: <input type="checkbox"/> Ball Ø2.5mm <input type="checkbox"/> Ball Ø5mm <input checked="" type="checkbox"/> Diamond pyramid 136°					Waktu : 10 detik					
No.	Penandaan	Posisi	Lokasi	Nilai Kekerasan	Rerata	Keterangan				
1	G1	BM	-	136.49	-					
2	G2	BM	-	155.05	-					
3	G3	BM	-	141.60	-					
4	G1	HAZ	-	139.93	-					
5	G2	HAZ	-	153.62	-					
6	G3	HAZ	-	138.71	-					
7	G1	WM	-	154.73	-					
8	G2	WM	-	199.50	-					
9	G3	WM	-	176.82	-					

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

Surabaya, 22 November 2019
 Diuji oleh,  Moch. Theoris W
 Diverifikasi oleh,  Agus

Halaman
 2 dari 4

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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor Number	:	/PL19/BJP/2019
-----------------	---	----------------

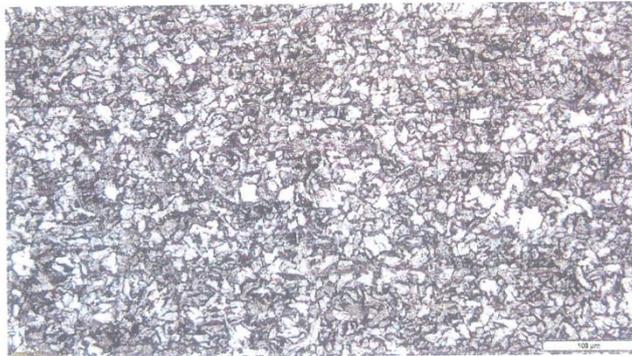
No. SPK. 26-XI/PL19/BJP/2019

III. PENGUJIAN METALOGRAPHY

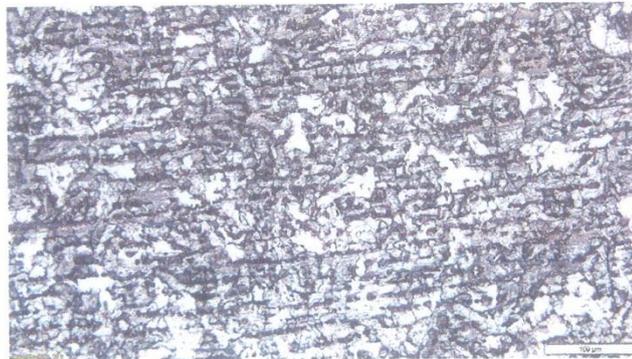
Etching Reagent : 5% Nital
Magnification : 200x

Micro-etch Test
 Macro-etch Test

Photograph:



Gambar 1. Struktur mikro benda uji Butt joint GMAW di daerah logam induk (Base Metal)

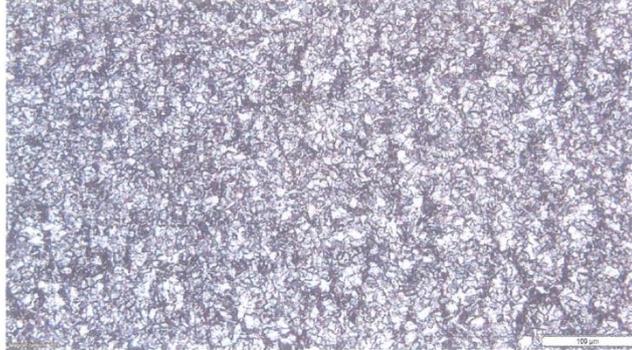


Gambar 2. Struktur mikro benda uji Butt joint GMAW di daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone)

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 diumumkan 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





Gambar 3. Struktur mikro benda uji Butt joint GMAW di daerah logam las (Weld Metal)

Surabaya, 26 November 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
	
AGUS	M.H. THORIS W



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 diumumkan 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

LAMPIRAN I
GRAFIK TEGANGAN-REGANGAN HASIL UJI TARIK
GTAW

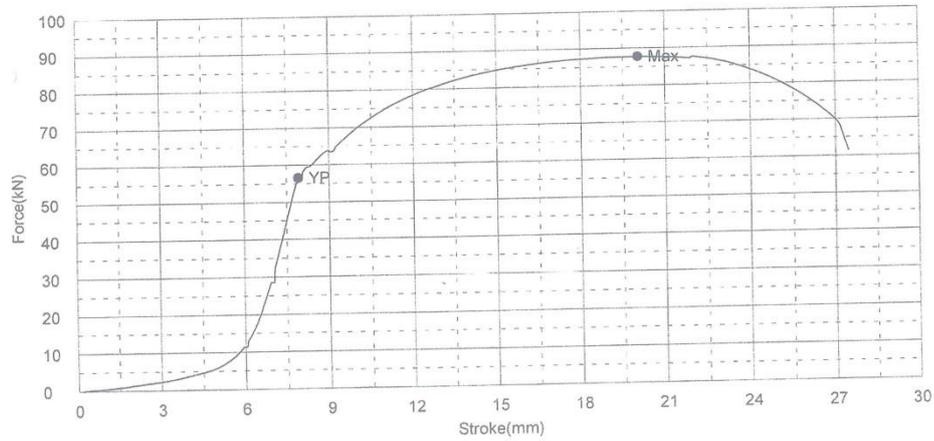
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
G1	9,9300	19,0100	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
G1	188,77	56,56	87,80	299,63	465,11

Name	Elongation
Units	%
G1	31,67



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
Spesimen: WELD BUTT JOINT
Material: PLATE SA36 T=10mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: GMAW / 1G / M. ~~FABRI~~
Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019

(..... Agus

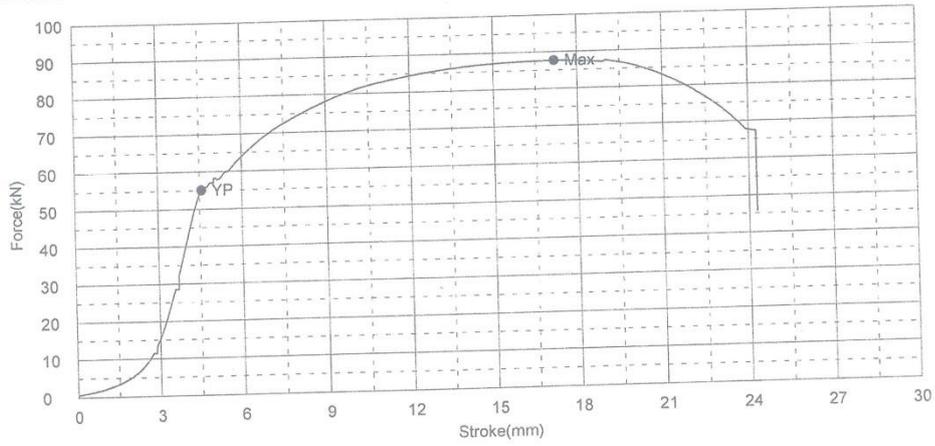
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
G2	9,9300	19,0100	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
G2	188,77	55,12	87,71	291,97	464,61

Name	Elongation
Units	%
G2	30,00



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
Spesimen: WELD BUTT JOINT
Material: PLATE SA36 T=10mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: GMAW / 1G /
Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



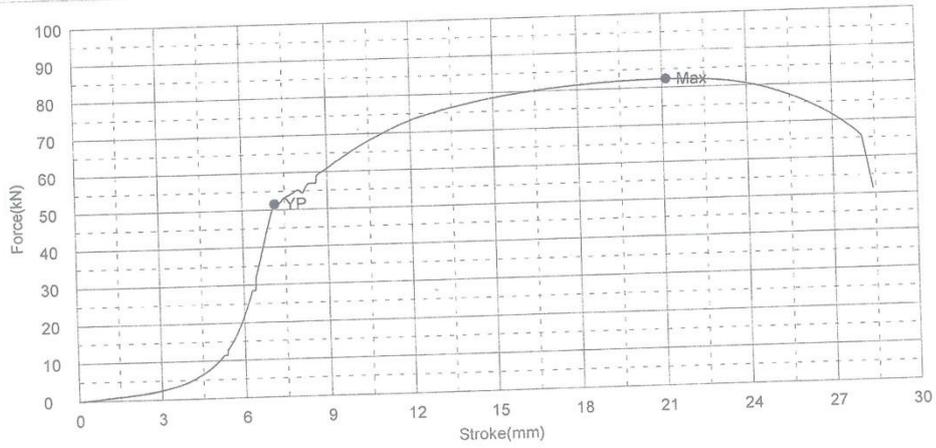
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
G3	9,9300	19,3300	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
G3	191,95	51,57	82,34	268,69	428,97

Name	Elongation
Units	%
G3	31,67



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
Spesimen: WELD BUTT JOINT
Material: PLATE SA36 T=10mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: GMAW / 1G / M: FAUZI
Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



LAMPIRAN J
HASIL UJI MEKANIK SMAW



LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor : 1362 /PL19/BJP/2019
 Number

PELANGGAN / Customer		
1.	Nama Name	: M. AKBAR REFOPUTRA
2.	Alamat Address	: FTK – ITS, Kampus ITS Sukolilo Surabaya
BENDA UJI / Test Specimen		
1.	Tanggal Diterima Date of Received	: 15 November 2019
2.	Spesimen Uji Test Specimen	: Sambungan las plat
3.	Identifikasi Material Identification of Material	: Plat SA36 tebal 10 mm
4.	Proses Las /Posisi Las/Juru Las Weld Process/Position/Welder	: SMAW / 1G / M. FAUZI
5.	Proyek Project	: -
PENGUJIAN / Testing		
1.	Tanggal Pengujian Date of Testing	: 21 November 2019, 22 November 2019, 26 November 2019
2.	Lokasi Pengujian Location of Testing	: Lab. Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
3.	Jenis Pengujian Type of Testing	: Tensile Test, Hardness Test, Microstructure Test
4.	Kondisi Lingkungan Environmental Condition	: Suhu 26°C
5.	Acuan Reference	: ASME IX:2019
ALAT / Equipment		
1.	Nama Name	: 1. Universal Testing Machine 2. Mesin Uji Kekerasan Vickers 3. Olympus Metallurgical Microscope
2.	Tipe/Model Type/Model	: 1. UH-600kNI 2. FLC50UV 3. BX 51M
3.	Kapasitas Capacity	: 1. 600kN 2. Sampai dengan 700 HV 3. up to 1000x magnifying
4.	Merek/Buatan Manufacturer	: 1. Shimadzu / Japan 2. Future Tech / Japan 3. Olympus, Japan
5.	Nomor Seri Serial Number	: 1. I 21064600004 2. FLC0033V 3. 3E149010
6.	Nilai Ketidak pastian Number of uncertainty	: -
7.	Ketertelusuran Traceability	: 1. - 2. Caltesys, Surabaya 3. -
HASIL PENGUJIAN / Result of Testing		: (Terlampir) (Attached)
DITERBITKAN TANGGAL Date of Issue		: 26 November 2019

Kalab. Uji Bahan
 Head of DT & NDT Laboratory

Mohammad Thoriq Wahyudi, ST, MM.
 NIP. 196008031988031004

Keterangan / Notes :

- 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
- Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan 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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1362 /PL19/BJP/2019
 Number

No. SPK 26-XI/PL19/BJP/2019
 F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t ₀ (mm)	Lebar w ₀ (mm)	Diameter d ₀ (mm)	Luas A ₀ (mm ²)	L ₀ (mm)	Beban Yield F _y (kN)	Beban Max. F _u (kN)	Tebal t ₁ (mm)	Lebar w ₁ (mm)	Diameter d ₁ (mm)
S1	9.93	19.28	-	191.45	60.00	57.05	84.73	-	-	-
S2	9.93	19.55	-	194.13	60.00	57.03	83.54	-	-	-
S3	9.93	18.95	-	176.80	60.00	55.42	82.23	-	-	-

Hasil pengujian							
No	Luas A ₁ (mm)	L ₁ (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ε (%)	Tegangan Yield σ _y (MPa)	Tegangan Ult. σ _u (MPa)	Remark
S1	-	77.00	-	28.33	298.00	442.58	BM SA36
S2	-	79.00	-	31.67	293.77	430.32	BM SA36
S3	-	77.00	-	28.33	313.45	465.11	BM SA36

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

Surabaya, 21 November 2019
 Diuji oleh,  Diverifikasi oleh, 


F.03-LUB-PPNS

II. PENGUJIAN KEKERASAN / HARDNESS TEST							
Metode: <input type="checkbox"/> Brinell		<input checked="" type="checkbox"/> Vickers		<input type="checkbox"/> Rockwell ...-... (konversi)			
Indenter: <input type="checkbox"/> Ball Ø2.5mm		<input type="checkbox"/> Ball Ø5mm		Beban	: 10	kgf	
<input type="checkbox"/> Ball Ø10mm		<input checked="" type="checkbox"/> Diamond pyramid 136°		Waktu	: 10	detik	
No.	Penandaan	Posisi	Lokasi	Nilai Kekerasan	Rerata	Keterangan	
1	S1	BM	-	140.70	-		
2	S2	BM	-	136.80			
3	S3	BM	-	152.26			
4	S1	HAZ	-	143.08	-		
5	S2	HAZ	-	142.82			
6	S3	HAZ	-	151.65			
7	S1	WM	-	155.00	-		
8	S2	WM	-	158.42			
9	S3	WM	-	155.70			

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

Surabaya, 22 November 2019
 Diuji oleh,  Diverifikasi 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 diumumkan 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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1362 /PL19/BJP/2019
Number

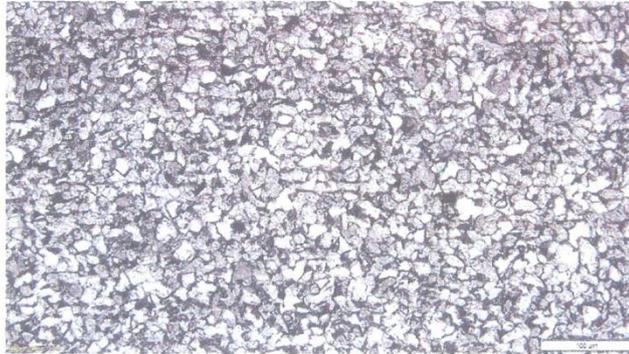
No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019

III. PENGUJIAN METALOGRAPHY

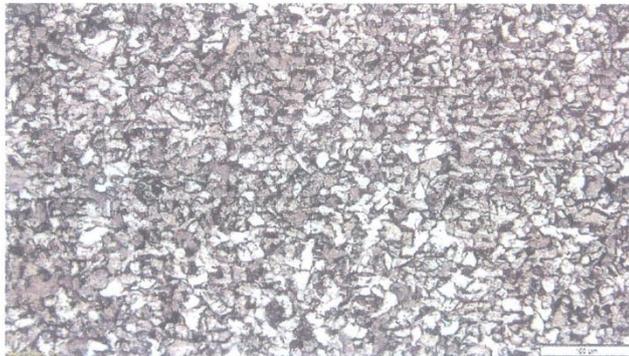
Etching Reagent : 5% Nital
Magnification : 200x

Micro-etch Test
 Macro-etch Test

Photograph:



Gambar 1. Struktur mikro benda uji Butt joint SMAW di daerah logam induk (Base Metal)



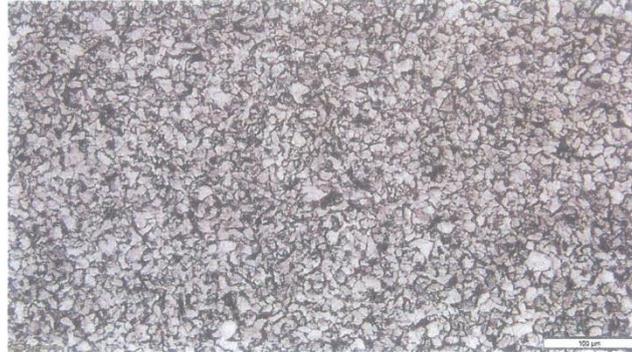
Gambar 2. Struktur mikro benda uji Butt joint SMAW di daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone)

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 diumumkan 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 4



Gambar 3. Struktur mikro benda uji Butt joint SMAW di daerah logam las (Weld Metal)

Surabaya, 26 November 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
 Agnis	 Meoic Teoria W

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 diumumkan 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

LAMPIRAN K
GRAFIK TEGANGAN-REGANGAN HASIL UJI TARIK
SMAW

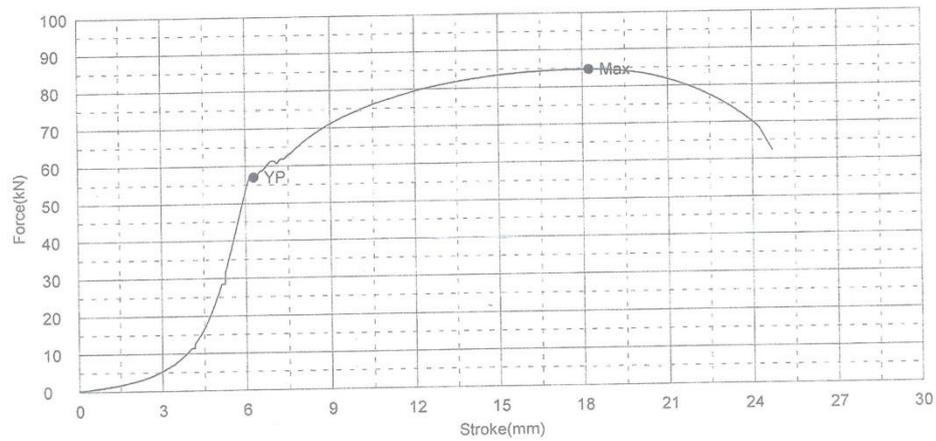
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
S1	9,9300	19,2800	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm2	kN	kN	MPa	MPa
S1	191,45	57,05	84,73	298,00	442,58

Name	Elongation
Units	%
S1	28,33



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
Spesimen: WELD BUTT JOINT
Material: PLATE SA36 T=10mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: SMAW / 1G / M. FAUZI
Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



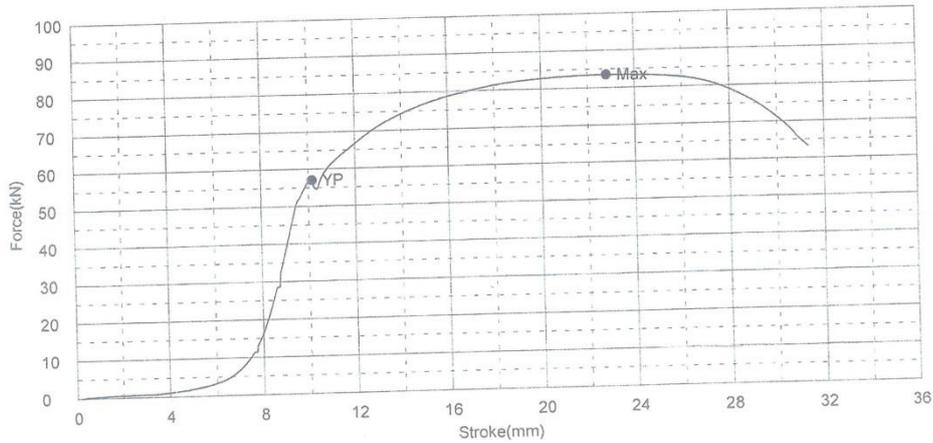
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
S2	9,9300	19,5500	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
S2	194,13	57,03	83,54	293,77	430,32

Name	Elongation
Units	%
S2	31,67



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
 Spesimen: WELD BUTT JOINT
 Material: PLATE SA36 T=10mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: SMAW / 1G / M. FAWA1
 Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019

(Signature)
 Agms

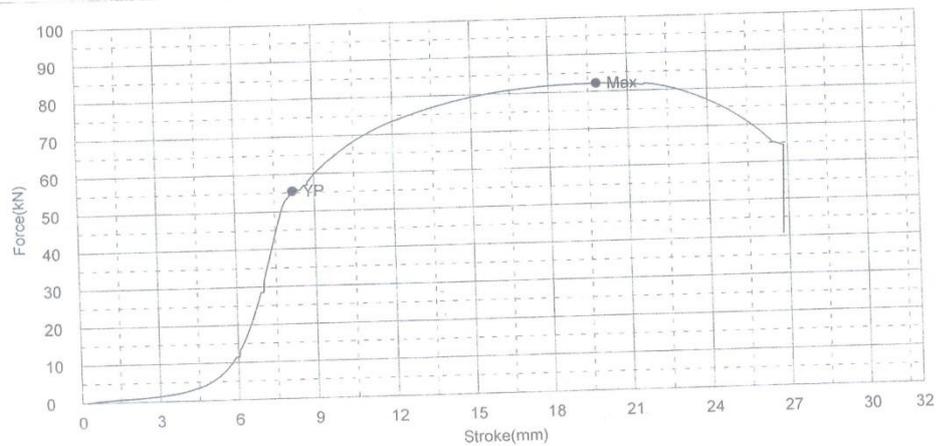
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
S3	9,3300	18,9500	60,0000

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
S3	176,80	55,42	82,23	313,45	465,11

Name	Elongation
Units	%
S3	28,33



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 26-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: M. AKBAR REFOPUTRA / FTK-ITS
Spesimen: WELD BUTT JOINT
Material: PLATE SA36 T=10mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: SMAW / 1G / M. FAUZI
Referensi: ASME IX

Surabaya, 21 November 2019



LAMPIRAN L
LAPORAN BIAYA Pengerjaan Tugas Akhir



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM WELDING CENTER

Jl. Teknik Kimia - Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. 031-5947186 Fax. 031-5925524
www.ppns.ac.id

INVOICE

SUDAH TERIMA DARI :

Nama : MUHAMMAD AKBAR REFOPUTRA (FTK)

JUMLAH UANG SENILAI : Rp. 4.050.000 (EMPAT JUTA LIMA PULUH RIBU
RUPIAH)

PADA TANGGAL : 18 OKTOBER 2019

DI BAYAR MELALUI : TUNAI

UNTUK PENGELASAN, DENGAN SPESIFIKASI :

Welding DATE : 17 Oktober 2019
Welding Process(es) : FCAW, GTAW, SMAW
Joints Design (QW-402) : Butt Joint
Base Metals (QW-403) : Plate A36 t.10 mm
Positins (QW-405) : 1G
Qty : 9

TTD

KEPALA LABORATORIUM PENGELASAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA



Technical Testing and Inspection Services
Semolowaru Selatan V / 25 Surabaya 60119
T. +62 31 5967609, +62 31 5967608
F. +62 31 5963810
E-mail : robutech@robutech.com

KWITANSI

No. : / /

Telah terima dari : Akbar 'ITS'

Uang Sejumlah : * Sembilan Ratus Ribu Rp. *

Untuk Pembayaran : Pekerja Radiografi Test (9 piece)
- film 4x10 = 9 br. @ Rp 100.000 = Rp 900.000

Surabaya, 21 Oktober 2019

No. Rekening :
Bank BCA : 130 214 0248
Bank Mandiri : 141-00-1220380-8

Rp. 900.000

UNLI LAYANAN PPNPNS, SASA, & ERUPSI/2013
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo Surabaya
Telp. 5999444
Email: jassaproduksi@ppns.ac.id
PPNS

Kwitansi No: 256/2019 M. Akbar Pefoputra, Mhs ITS- FTK.
Sudah Terima dari :
Jumlah Uang # Dua juta empat ratus sembilan puluh tujuh ribu lima ratus rupiah

F.BJP.12
00/01-03-2019

Buat Pembayaran :
- Ubi batik 9 pas x Rp 200.000 x 50% = Rp 900.000
- Ubi handless 27 kibi x Rp 35.000 x 50% = 472.500
- Ubi mikro 9 pas x Rp 250.000 x 50% = 1.125.000



Tunai Transfer Bank Cek/Giro

Surabaya, 02-12-2019



Terbilang Rp. # 2.497.500,- 1

BIODATA PENULIS



Penulis tugas akhir ini bernama Muhammad Akbar Refoputra Riyadi lahir di Tangerang, 15 Mei 1998. Penulis mempunyai orang tua yang bernama Yudi Riyadi dan Delta Fitri Natalia. Riwayat pendidikan penulis, SD Islam Al-Azhar BSD, Selain itu penulis melanjutkan pada jenjang pendidikan menengah pertama dan atas di SMP Islam Al-Azhar BSD dan SMA Islam Al-Azhar BSD. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Masuk dalam salah satu perguruan favorit di Indonesia, penulis menjadi salah satu mahasiswa angkatan tahun 2016 melalui jalur Seleksi Mandiri ITS. Selain daripada itu penulis telah memiliki pengalaman kerja bersama salah satu perusahaan *owner* yang bergerak di bidang pelayaran yaitu PT. Samudera Indonesia di Semarang selama kurang lebih 2 bulan pada tahun 2019. Penulis juga pernah mengikuti Latihan Dasar Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Pra-Dasar (LKMM Pra TD). Selain itu Penulis pernah mengikuti organisasi Society Of Petroleum Engineers (SPE) ITS Student Chapter pada 2017-2019, mengikuti kepanitiaan Petroleum Integrated Day (Petrolida) pada 2017-2019, dan pernah menjadi ketua divisi internal affairs di SPE ITS SC. Pada semester ke-7 penulis mengambil tugas akhir dalam bidang Pengelasan Material Bangunan Laut dengan judul tugas akhir “Analisis Perbandingan Hasil Pengelasan FCAW, GTAW, dan SMAW Pada Baja A36 Terhadap Uji Tarik, Uji Kekerasan, dan Struktur Mikro”. selama pengerjaan tugas akhir tersebut, penulis dibimbing oleh Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. Dalam rangka menyelesaikan pendidikan jenjang Sarjana, maka penulis telah menulis tugas akhir ini sebagai kelengkapan sistem kredit siswa.