



TUGAS AKHIR - MO 184804

**ANALISIS PENGARUH SUDUT GROOVE PENGELASAN GMAW BAJA
ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN PREDIKSI LAJU KOROSI**

Muhammad Farras Randyka

NRP. 04311540000148

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh November

Surabaya

2019



TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISIS PENGARUH SUDUT *GROOVE* PENGELASAN
GMAW BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
PREDIKSI LAJU KOROSI**

Muhammad Farras Randyka
NRP. 04311540000148

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknolgi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT - MO184804

**ANALYSIS EFFECT OF GROOVE ANGLE GMAW WELDING
ASTM A36 ON MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION
RATE PREDICTION**

Muhammad Farras Randyka

SRN. 04311540000148

Supervisors:

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

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2019

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH SUDUT *GROOVE* PENGELASAN GMAW BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN PREDIKSI LAJU KOROSI

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

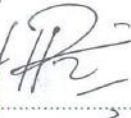

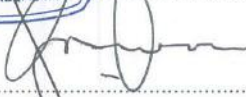



Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD FARRAS RANDYKA

NRP. 04311540000148

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 Soedjono, M.Sc.  (Penguji 1)
4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji 2)
5. Dirta Marina, S.T., M.T.  (Penguji 3)
6. Wimala Lalitya Dhanista, S.T., M.T.  (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2019

ANALISIS PENGARUH SUDUT *GROOVE* PENGELASAN GMAW BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN PREDIKSI LAJU KOROSI

Nama Mahasiswa : Muhammad Farras Randyka
NRP : 04311540000148
Departemen : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin pesat dan tidak dapat dipisahkan dari pengelasan, karena mempunyai peran penting dalam rakayasa serta reparasi logam. Salah satu nya ialah dalam bidang konstruksi bangunan apung. Dengan menggunakan baja ASTM A36 yang karakteristiknya mudah untuk dijadikan bahan pada konstruksi bangunan apung. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui variasi sudut *groove* terhadap pengujian mekanik seperti *tensile test*, *bend test*, metalografi dan perdiksi laju korosi pada baja ASTM A36 dengan menggunakan metode pengelasan *Gas Metal Arc Welding*. Variasi sudut *groove* yang digunakan ialah 50°, 70° dan 90° dengan arus yang digunakan 120 A dan 160 A. Hasil pengujian dari *bend test* menunjukkan bahwa sudut *groove* 90° memiliki hasil yang maksimum dengan hasil tidak terjadi *open defect* sama sekali. Sedangkan untuk hasil *bend test* pada sudut *groove* 50° menghasilkan *open defect* terbanyak sebanyak dengan nilai 17.83 mm dan 3.03 mm. Untuk *tensile test* didapatkan nilai terbesar pada variasi sudut *groove* 50° dan arus 160 A mendapatkan nilai 376.14 MPa untuk *yield strength* dan 485.17 MPa untuk *ultimate strength*. Dan nilai terendah didapatkan oleh sudut *groove* 90° dan arus 120 A dengan nilai 352.58 MPa untuk *yield strength* dan 459.43 MPa untuk *ultimate strength*. Serta pada prediksi laju korosi didapatakan yang terkecil dan terbaik dengan sudut *groove* 90° dengan arus 120A sebesar 0.051786 mm/tahun, serta hasil yang terburuk ialah dengan menggunakan sudut *groove* 50° dengan arus 160A dengan hasil sebesar 0.27049mm/tahun.

Kata Kunci : *Gas Metal Arc Welding*, *tensile test*, *bend test*, *Groove* dan *Baja ASTM A36*

***ANALYSIS EFFECT OF GROOVE ANGLE GMAW WELDING ASTM A36 AGAINST
MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE PREDICTION***

Student Name : **Muhammad Farras Randyka**
Reg. : **04311540000148**
Departement : **Ocean Engineering**
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Supervisor : **Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABTRACT

Technological developments in the field of construction are increasingly rapid and cannot be separated from welding, because they have an important role in engineering and metal repair. One of them is in the field of floating building construction. By using ASTM A36 steel whose characteristics are easy to be used as material in the construction of floating buildings. The purpose of this study was to determine the variation of groove angles for mechanical testing such as tensile test, bend test, metallography and the corrosion rate of corrosion on ASTM A36 steel using the method of welding of Gas Metal Arc Welding. Variations in groove angles used are 50°, 70° and 90° with currents used 120 A and 160 A. The test results of the bend test indicate that the 90° groove angle has maximum results with no open defect. Whereas the results of the bend test at the 50° groove angle produce the most open defects with values of 17.83 mm and 3.03 mm. For the tensile test, the largest value obtained in the variation of 50° groove angle and 160 A current is 376.14 MPa for yield strength and 485.17 MPa for ultimate strength. And the lowest value is obtained by 90° groove angle and 120 A current with a value of 352.58 MPa for yield strength and 459.43 MPa for ultimate strength. And the prediction of the corrosion rate is the smallest and the best with a groove angle of 90° with a current of 120A at 0.051786 mm / year, and the worst result is to use a 50° groove angle with a current of 160A with a yield of 0.27049mm / year.

Key Word : *Gas Metal Arc Welding, tensile test, bend test, Groove, ASTM A36 Steel*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar dengan judul “Analisis Pengaruh Sudut Groove Pengelasan GMAW Baja ASTM A36 Terhadap Sifat Mekanik Dan Prediksi Laju Korosi”. Pada penulisan Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Tujuan pada pengerjaan Tugas Akhir ini yakni untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut groove pada sambungan las GMAW terhadap sifat mekanik material baja ASTM A36 yang meliputi struktur mikro, makro, dan memprediksi laju korosi, hal ini juga mempengaruhi implementasi dari pada bangunan terapung dan bangunan lepas pantai.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dan kekurangan. Kritik dan saran sangatlah diharapkan untuk penulis sebagai penyempurnaan untuk penelitian selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2019

Muhammad Farras Randyka

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu, antara lain:

1. Allah SWT atas segala kasih sayang serta kemudahan yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa suatu halangan apapun.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan doa semangat dan motivasi serta kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan kesempatan dan membimbing penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan masukan guna menyempurnakan pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc., Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D., Ibu Dirta Marina C, S.T., M.T., dan Ibu Wimala Lalitya Dhanista, S.T., M.T. sebagai dosen penguji Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis guna menyempurnakan tugas akhir yang dikerjakan.
6. Bapak Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. selaku Dosen wali penulis selama 4 tahun yang dengan sabarnya memberikan bimbingan, nasihat dan saran yang membangun.
7. Teknisi Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Teknik Perkapalan ITS dan Teknisi Laboratorium Korosi Teknik Kimia yang telah membantu penulis dalam melaksanakan eksperimen tugas akhir.
8. Teman – teman “TRITONOUS” L33 – P55 yang telah banyak memberikan pengalaman dan pembelajaran yang berharga selama penulis menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan, FTK - ITS.
9. Teman – teman “RA” yang selalu memberikan semangat, perhatian dan waktu untuk mengajak penulis jalan-jalan.
10. Teman – teman bimbingan Pak Herman yang selalu memberi masukan saran kepada penulis
11. Semua orang-orang baik yang pernah hadir untuk memberikan pengalaman dan pembelajaran kepada penulis, sehingga penulis bisa menjadi pribadi lebih baik dari sebelumnya.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Hipotesa Awal.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Pengelasan.....	8
2.2.2 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding).....	9
2.2.3 Parameter Pengelasan.....	10
2.2.4 Baja.....	15
2.2.5 Baja ASTM A36.....	17
2.2.6 Pengujian Tidak Merusak (<i>Non Destructive Test</i>).....	18
2.2.7 Pengujian Merusak (<i>Destructive Test</i>).....	18
2.2.8 Pengujian Metalografi.....	22
2.2.9 Korosi.....	23
BAB III.....	27
METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	29
3.2.1 Studi Literatur.....	29
3.2.1 Pengumpulan Bahan dan Peralatan.....	29
3.2.3 Desain WPS (<i>Welding Procedure Specification</i>).....	30
3.2.4 Pengelasan GMAW pada Pelat Baja A36.....	30
3.2.5 Pengujian NDT (<i>Non Destructive Test</i>).....	31
3.2.6 Pengujian Tekuk (<i>Bend Test</i>).....	31

3.2.7	Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	31
3.2.8	Pengujian Metalografi.....	32
3.2.9	Pengujian Prediksi Laju Korosi	32
3.2.10	Analisa dan Pembahasan	32
BAB IV		33
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	<i>Welding Procedure Specification</i>	33
4.1.1	<i>Welding Procedure Specification</i> pada Spesimen 1	34
4.1.2	<i>Welding Procedure Specification</i> pada Spesimen 2	34
4.1.3	<i>Welding Procedure Specification</i> pada Spesimen 3	35
4.1.4	<i>Welding Procedure Specification</i> pada Spesimen 4	36
4.1.5	<i>Welding Procedure Specification</i> pada Spesimen 5	36
4.1.6	<i>Welding Procedure Specification</i> pada Spesimen 6	37
4.2	Pengujian <i>Non Destructive Test (Radiography Test)</i>	38
4.2.1	Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 1	38
4.2.2	Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 2	40
4.2.3	Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 3	42
4.2.4	Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 4	44
4.2.5	Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 5	46
4.2.6	Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 6	48
4.3	Pengujian Tekuk (<i>Bend Test</i>).....	50
4.3.1	Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 1	51
4.3.2	Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 2.....	52
4.3.3	Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 3.....	53
4.3.4	Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 4.....	54
4.3.5	Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 5.....	55
4.3.6	Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 6.....	56
4.3.7	Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tekuk	57
4.4	Pengujian Tarik.....	57
4.4.1	Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen 1	58
4.4.2	Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen 2	59
4.4.3	Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen 3	60
4.4.4	Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen 4	61
4.4.5	Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen 5	62
4.4.6	Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen 6	63
4.4.7	Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	64
4.5	Pengujian Metalografi.....	65
4.5.1	Hasil dan Analisa Struktur Makro Spesimen Uji.....	66
4.5.2	Hasil dan Analisa Struktur Mikro Spesimen Uji	69
4.5.3	Analisa Hasil Struktur Makro dan Mikro	77
4.6	Pengujian Korosi.....	79
4.6.1	Prediksi Laju Korosi Spesimen 1.....	80

4.6.2	Prediksi Laju Korosi Spesimen 2.....	81
4.6.3	Prediksi Laju Korosi Spesimen 3.....	82
4.6.4	Prediksi Laju Korosi Spesimen 4.....	83
4.6.5	Prediksi Laju Korosi Spesimen 5.....	84
4.6.6	Prediksi Laju Korosi Spesimen 6.....	85
4.6.7	Analisa Hasil Prediksi Laju Korosi.....	86
4.7	Hubungan Antara Kekuatan Tekuk, Kekuatan Tarik, Struktur Makro – Mikro dan Prediksi Laju Korosi	89
4.8	Perbandingan Pengelasan GMAW dan FCAW Baja ASTM A36 dengan Sudut Groove 70° dan Arus 120 Ampere terhadap Pengujian Tekuk dan Pengujian Tarik	91
BAB V		93
PENUTUP		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA.....		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengelasan GMAW (Wirjosumarto, 2000).....	9
Gambar 2. 2 Jenis Sambungan Las (AWS, 1998)	11
Gambar 2. 3 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik (ASME Section IX, 1998).....	19
Gambar 2. 4 Face Bend pada Transversal Bending (ASME Section IX, 2015).....	21
Gambar 2. 4 Face Bend pada Transversal Bending (ASME Section IX, 2015).....	21
Gambar 2. 4 Face Bend pada Transversal Bending (ASME Section IX, 2015).....	21
Gambar 2. 4 Face Bend pada Transversal Bending (ASME Section IX, 2015).....	21
Gambar 2. 5 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tekuk (ASME Section IX, 2015)	21
Gambar 2. 6 Pengamatan Metalografi (Widharto, 2007)	22
Gambar 2. 7 Komponen Sel Tiga Elektroda (Trethwey, 1991).....	25
Gambar 4. 1 Bentuk Sambungan Pengelasan	33
Gambar 4. 2 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 50° dan Arus 120 A.....	39
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian NDT Pengelasan 50° dan Arus 120 A.....	40
Gambar 4. 4 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 50° dan Arus 160 A.....	41
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 50° dan Arus 160 A.....	42
Gambar 4. 6 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 70° dan Arus 120 A.....	43
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 70° dan Arus 120 A.....	44
Gambar 4. 8 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 70° dan Arus 160 A.....	45
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 70° dan Arus 160 A.....	46
Gambar 4. 10 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 90° dan Arus 120 A.....	47
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 90° dan Arus 120 A.....	48
Gambar 4. 12 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 90° dan Arus 160 A.....	49
Gambar 4. 13 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 90° dan Arus 160 A.....	50
Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 50° dan Arus 120 A.....	51
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 50° dan Arus 160 A.....	52
Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 70° dan Arus 120 A.....	53
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 70° dan Arus 160 A.....	54
Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 90° dan Arus 120 A.....	55
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 90° dan Arus 160 A.....	56
Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 50° dan Arus 120 A	58
Gambar 4. 21 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 50° dan Arus 160 A	59
Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 70° dan Arus 120 A	60
Gambar 4. 23 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 70° dan Arus 160 A	61
Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 90° dan Arus 120 A	62
Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 90° dan Arus 160 A	63
Gambar 4. 26 Hasil Kekuatan Tarik Variasi Sudut Groove dan Arus.....	65
Gambar 4. 27 Struktur Makro Groove 50° dan Arus 120 A.....	66

Gambar 4. 28 Struktur Makro Groove 50° dan Arus 160 A.....	67
Gambar 4. 29 Struktur Makro Groove 70° dan Arus 120 A.....	67
Gambar 4. 30 Struktur Makro Groove 70° dan Arus 160 A.....	68
Gambar 4. 31 Struktur Makro Groove 90° dan Arus 120 A.....	68
Gambar 4. 32 Struktur Makro Groove 90° dan Arus 160 A.....	69
Gambar 4. 33 Struktur Mikro Groove 50° dan Arus 120A.....	70
Gambar 4. 34 Struktur Mikro Groove 50° dan Arus 160A.....	72
Gambar 4. 35 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 120A.....	73
Gambar 4. 36 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 160A.....	74
Gambar 4. 36 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 160A.....	74
Gambar 4. 36 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 160A.....	74
Gambar 4. 36 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 160A.....	74
Gambar 4. 37 Struktur Mikro Groove 90° dan Arus 120A.....	76
Gambar 4. 38 Struktur Mikro Groove 90° dan Arus 160A.....	77
Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan Struktur Ferrite dan Pearlite pada Keenam Spesimen Uji...	79
Gambar 4. 40 Diagram Tafel	80
Gambar 4. 41 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 120 A.....	81
Gambar 4. 42 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 160 A.....	82
Gambar 4. 43 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 120 A.....	83
Gambar 4. 44 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 160 A.....	84
Gambar 4. 45 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 120 A.....	85
Gambar 4. 46 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 160 A.....	86
Gambar 4. 47 Diagram Tafel Prediksi Laju Korosi Variasi Sudut Groove	88
Gambar 4. 47 Diagram Tafel Prediksi Laju Korosi Variasi Sudut Groove.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Elektroda (AWS. 2001)	12
Tabel 2. 2 Kandungan Kimia Baja ASTM A36 (ASTM A36, 2004).....	17
Tabel 2. 3 Material Properties Baja ASTM A36 (ASTM A36, 2004).....	17
Tabel 2. 4 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Fontana, 1987)	25
Tabel 3. 1 Desain WPS	30
Tabel 4. 1 Welding Procedure Specification 50° dan Arus 120 A	34
Tabel 4. 2 Welding Procedure Specification 50° dan Arus 160 A	35
Tabel 4. 3 Welding Procedure Specification 70° dan Arus 120 A	35
Tabel 4. 4 Welding Procedure Specification 70° dan Arus 160 A	36
Tabel 4. 5 Welding Procedure Specification 90° dan Arus 120 A	37
Tabel 4. 6 Welding Procedure Specification 90° dan Arus 160 A	37
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen Uji	57
Tabel 4. 8 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 50° dan Arus 120 A	58
Tabel 4. 9 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 50° dan Arus 160 A	59
Tabel 4. 10 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 70° dan Arus 120 A	60
Tabel 4. 11 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 70° dan Arus 160 A	61
Tabel 4. 12 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 90° dan Arus 120 A	62
Tabel 4. 13 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 90° dan Arus 160 A	63
Tabel 4. 14 Persentase Pearliite dan Ferrite Groove 50° dan Arus 120 A.....	69
Tabel 4. 15 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 50° dan Arus 120A	71
Tabel 4. 16 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 70° dan Arus 120A	72
Tabel 4. 17 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 70° dan Arus 160A	74
Tabel 4. 18 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 90° dan Arus 120A	75
Tabel 4. 19 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 90° dan Arus 160A	76
Tabel 4. 20 Persentase Pearlite dan Ferrite pada Semua Spesimen.....	78
Tabel 4. 21 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 120 A.....	81
Tabel 4. 22 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 160 A.....	82
Tabel 4. 23 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 120 A.....	83
Tabel 4. 24 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 160 A.....	84
Tabel 4. 25 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 120 A.....	85
Tabel 4. 26 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 160 A.....	86
Tabel 4. 27 Prediksi Laju Korosi	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin pesat dan tidak dapat dipisahkan dari pengelasan, karena mempunyai peran penting dalam rakayasa serta reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan, terutama dalam bidang rancang bangunan karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi *engineering*, misalnya pesawat terbang, otomotif, industri perkapalan serta pipa *onshore* maupun *offshore* (Gery dkk., 2005) dan sebagainya

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Menurut definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN), pengelasan adalah penyambungan logam dengan ikatan metalurgi atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Definisi lain menyatakan bahwa sebagai teknik penyambungan logam pengelasan pada dasarnya merupakan ikatan metalurgi pada sambungan antar logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Teknologi pengelasan banyak digunakan dalam bidang kontruksi karena proses yang relatif cepat, ringan, biaya yang murah serta bentuk kontruksi dapat lebih variatif.

Faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah prosedur pengelasan, yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan kontruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi. Untuk memperoleh hasil pengelasan yang sesuai maka perlu menentukan semua hal yang diperlukan dalam proses pengelasan antara lain, pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, dan penggunaan jenis kampuh *groove* (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2008).

Untuk mengetahui kualitas hasil sambungan las dari proses pengelasan, maka diperlukan uji sifat mekanik material antara lain *bend test*, *tensile test*, metalografi yang bertujuan untuk mengetahui struktur makro dan mikro dari hasil pengelasan tersebut dan prediksi laju korosi. *bend test* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan keuletan hasil sambungan las di *weld metal* maupun HAZ (Sayed, 2016). Dan kekuatan Tarik merupakan salah satu sifat mekanik yang sangat penting dan dominan dalam satu perancangan mesin, konstruksi dan proses manufaktur (Prasojo, B. 2016).

Salah satu jenis pengelasan nya adalah GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), merupakan proses penyambungan dua buah logam atau lebih yang sejenis dengan menggunakan bahan tambah yang berupa kawat gulungan dan gas pelindung melalui proses pencairan. Gas pelindung dalam proses pengelasan ini berfungsi sebagai pelindung dari dari proses oksidasi, yaitu pengaruh udara luar yang dapat mempengaruhi kualitas las. Gas yang digunakan dalam proses pengelasan ini dapat menggunakan gas argon, helium, CO₂, argon + helium. GMAW memiliki beberapa parameter las yaitu *Voltage*, *Wire Feed Speed*, *Welding Speed*, sudut dan jenis *Groove*, serta *Type of Shielding Gas*.

Marinda (2017) dalam penelitiannya telah mengkaji perihal pengaruh sudut groove terhadap sifat mekanik pada baja karbon ASTM A36 di lingkungan laut. Ramadani (2016) dalam penelitiannya telah mengkaji perihal Analisa pengaruh variasi sudut bevel akibat kombinasi pengelasan FCAW dan SMAW terhadap kekuatan impact butt joint pada spesiman pipa API 5L Grade X42. Soehita (1990) mengatakan bahwa pengelasan semi otomatis seperti GMAW dan FCAW sangat membantu dalam proses pengelasan bangunan lepas pantai, menurutnya besarnya kapal yang dibangun mempengaruhi tebalnya pelat yang digunakan sehingga proses pengisian kampuh las makin besar pula, oleh karena itu dibutuhkan pengelasan tersebut. Yanhong, dkk (2015) dalam penelitian nya juga menyebutkan bahwa sudut *groove* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tegangan sisa pada pengelasan, serta dapat mempengaruhi nilai dari uji mekanik.

Suyono (2011) dalam penelitiannya yaitu pengaruh gas argon pada pengelasan GMAW terhadap kekuatan tarik dan impact pada baja karbon menengah menyatakan bahwa gas argon mempengaruhi sifat mekanik dari suatu pengelasan. Dalam penelitiannya terdapat dua variasi gas CO₂-Ar yaitu 0%:100% dan 50%:50%. Hasil pada penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai tarik dan nilai impact tertinggi yaitu dengan menggunakan gas dengan perbandingan CO₂-Ar 50%:50%. Hal ini dikarenakan gas CO₂ cocok digunakan pada pengelasan baja rendah dan menengah, dan Argon digunakan untuk penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan gas CO₂. Serta pada penelitian Hilmy (2018) menyatakan bahwa komposisi Ar+CO₂ menghasilkan sifat mekanis lebih baik dibandingkan dengan gas 100% CO₂. Hal ini dikarenakan argon memiliki daya penetrasi yang lebih merata dibandingkan CO₂. Dalam penelitiannya terdapat variasi gas yaitu dengan komposisi gas CO₂ 100% dan gas CO₂+Ar (10%+90%, 20%+80% dan 25%+75%). Namun pada hasil mekanik didapatkan bahwa banyaknya kandungan karbon tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Oleh karena itu, tugas akhir ini dibuat bertujuan agar membahas mengenai pengaruh variasi sudut groove pengelasan GMAW pada weldjoint baja ASTM A36 terhadap uji sifat mekanik serta prediksi laju korosi. Dalam eksperimen ini menggunakan baja ASTM A36 dimana material tersebut sering digunakan sebagai material konstruksi pada industri kemaritiman. Bentuk *groove* yang digunakan adalah *groove V* dengan variasi sudut berupa 50°, 70°, 90° serta digunakan arus pengelasan sebesar 120A dan 160A dengan gas pelindung berupa 80% Ar + 20% CO₂. Yang nantinya ketiga variasi *groove* tersebut akan diuji sifat mekanis agar mengetahui hasil kekuatan tekuk (*bending*) dan nilai *tensile* pada masing-masing pengelasan serta mendapatkan nilai laju korosi pada masing-masing spesimen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut *groove* terhadap ketahanan *bending* pada sambungan pengelasan baja ASTM A36?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut *groove* terhadap nilai kekuatan tarik pada sambungan pengelasan baja ASTM A36?
3. Bagaimana pengaruh variasi sudut *groove* terhadap struktur makro dan mikro pada sambungan pengelasan baja ASTM A36?
4. Bagaimana pengaruh variasi sudut *groove* terhadap nilai laju korosi pada sambungan pengelasan baja ASTM A36?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mendapatkan ketahanan *bending* terhadap pengaruh variasi sudut *groove* pada pengelasan baja ASTM A36
2. Mendapatkan nilai kekuatan tarik terhadap pengaruh variasi sudut *groove* pada pengelasan baja ASTM A36
3. Mendapatkan struktur makro dan mikro terhadap pengaruh variasi sudut *groove* pada pengelasan baja ASTM A36
4. Mendapatkan nilai laju korosi terhadap pengaruh variasi sudut *groove* pada pengelasan baja ASTM A36

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini ialah untuk memberikan pengetahuan mengenai pengelasan GMAW terhadap variasi sudut *groove* pada material baja ASTM A36 terhadap sifat mekanik serta prediksi laju korosi. Beberapa sifat mekanik diantaranya ialah metalografi, pengujian tekuk, serta pengujian tarik. Sehingga dalam penelitian ini dapat mengetahui metode pengelasan pada pipa dengan material ASTM A36.

1.5 Batasan Masalah

Untuk dapat memfokuskan pokok permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian dan batasan masalah sebagai berikut :

1. Proses pengelasan yang digunakan adalah metode GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)
2. Posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G
3. Bentuk groove yang digunakan single V *groove* dengan variasi sudut sebesar 50°, 70°, 90°
4. Pengujian yang dilakukan ialah *Radiography Test (Non Destructive Test)*, sedangkan pengujian *Destructive Test* berupa *Tensile Test* (Uji Tarik), *Bend Test* (Uji Tekuk), *Metalography Test* (Struktur Makro dan Mikro) serta dilakukan uji Prediksi laju korosi
5. Pengelasan dilakukan tanpa *pre-heating* dan *post heating*
6. Arus yang digunakan sebesar 120 A dan 160 A
7. Gas pelindung pada proses GMAW berupa 80% Argon + 20% CO₂
8. Jenis elektroda yang digunakan ialah ER70S0-G

1.6 Hipotesa Awal

Hipotesa awal yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi besar sudut *groove* berpengaruh terhadap kekuatan bending pada sambungan las, disebabkan apabila semakin besar groove pada pengelasan tersebut maka akan semakin baik.
2. Variasi besar sudut *groove* berpengaruh pada pengujian tarik, dikarenakan hasil kekuatan dari hasil pengujian tarik semakin berkurang apabila sudut groove yang digunakan semakin besar. Serta semakin tinggi arus yang diberikan maka semakin besar nilai tariknya.
3. Pengaruh variasi sudut groove akan berpengaruh pada nilai laju korosi dikarenakan semakin besar sudut groove maka laju korosi semakin baik.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan dalam tugas akhir ini, disusun sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan beberapa hal dalam penelitian tugas akhir, antara lain :

- a. Latar Belakang
- b. Rumusan Masalah
- c. Tujuan
- d. Manfaat
- e. Batasan Masalah
- f. Hipotesa Awal
- g. Sistematika Penulisan

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini berisi mengenai tinjauan pustaka dan landasan teori yang dijadikan pedoman penulis untuk melakukan penelitian tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini memaparkan metode dalam melakukan pengujian, meliputi persiapan dan cara kerja dan percobaan.

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Bab ini berisi mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil percobaan dan kemudian memberikan analisis permasalahan hingga menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan dari tugas akhir

BAB V Kesimpulan

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil analisis pada tugas akhir ini dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan untuk penelitian kedepannya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setiawan (2016) pada penelitiannya melakukan eksperimen tentang pengaruh variasi sudut kampuh V dan kuat arus dengan metode SMAW pada baja ASTM A36 terhadap sifat mekanik. Penelitian ini menggunakan kuat arus sebesar 60, 90, dan 120 A serta variasi kampuh V sebesar 50°, 70° dan 90°. Sedangkan elektroda yang digunakan ialah E7018. Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil bahwa semakin besar arus listrik yang diberikan maka masukan panas (*heat input*) yang diberikan pada spesimen akan semakin besar. Lalu semakin besar kuat arus pengelasan menyebabkan semakin besar nilai kekerasannya. Serta semakin tinggi kuat arus maka semakin besar juga tegangan tariknya. Hasil dari analisa besaran sudut kampuh dengan dipadukan dengan kuat arus ditengah antara 70 ampere sampai 110 ampere, mempunyai kekuatan tarik terbesar yang menggunakan sudut 70° nilai kekuatan tariknya sebesar 495.84 MPa dan untuk besaran sudut 90° nilai kekuatan tariknya terendah yaitu sebesar 482.71 Mpa. Dan sudut 50° nilai kekuatan tarik 494.2 Mpa.

Naufal (2016) pada penelitiannya melakukan eksperimen tentang pengaruh kuat arus listrik dan sudut kampuh V terhadap kekuatan tarik dan tekuk aluminium 5083 pengelasan GTAW. Penelitian ini menggunakan variasi sudut kampuh V 50° dan 70° serta menggunakan kuat arus sebesar 120, 140, 160 dan 180 A. Dari penelitian tersebut, hasil dari pengujian kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada arus 180 amper dengan sudut kampuh 50° dengan nilai sebesar 150,4 N/mm dengan nilai sebesar 150,4 N/mm², sedangkan untuk hasil terendah pada arus 120 amper dengan sudut kampuh 70° dengan nilai sebesar 63.36 N/mm². Sedangkan untuk pengujian tekuk tertinggi dihasilkan pada arus 120 amper dengan sudut kampuh 70° dengan nilai sebesar 591,38 N/mm², sedangkan kekuatan tekuk terendah sebesar 321,78 N/mm² dengan arus sebesar 180 amper dan sudut kampuh 50°. Berdasarkan hasil pengujian tarik dan tekuk pada aluminium 5083 dengan variasi arus listrik dan sudut kampuh maka didapat variasi

sudut terbaik pada penelitian ini adalah kuat arus 120 A dengan variasi sudut kampuh 70°.

Revaldo (2017) pada penelitiannya melakukan eksperimen tentang pengaruh variasi sudut kampuh V las TIG terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro *stainless steel AISI 304*. Penelitian ini menggunakan variasi kampuh V sebesar 40°, 50°, 60°, 70° dan 80°. Serta dengan bahan pengisi/filler *ER308L* menggunakan arus 130 A. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa sudut kampuh 50° letak butir-butir *ferrite* lebih besar daripada sudut kampuh lainnya. Hal ini menyebabkan nilai tegangan tertinggi rata-rata untuk sudut 50° sebesar 605,1 MPa. Dikarenakan pengaruh sudut HAZ, logam dasar yang terpengaruh HAZ mengalami perubahan struktur dan mengurangi kekuatan tarik, sehingga sudut kampuh yang lebih besar dari 50°, semakin besar HAZ yang dihasilkan pada logam dasar, dan sudut kampuh yang lebih kecil dari 50° semakin kecil HAZ yang dihasilkan namun hasil las-an tidak menembus sempurna.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan dana tau menggunakan tekanan untuk mendapatkan sebuah sambungan yang kontinyu. Wiryosumarto dan Okamura (2000) menyebutkan bahwa pengelasan adalah penyambungan setempat dan beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pada saat ini hamper semua proses pembangunan dan pembuatan suatu barang tidak luput dari proses pengelasan. Hal ini terlihat dari semakin tingginya tingkat kebutuhan material logam yang digunakan. Dalam proses penyambungan dua buah logam tidak bisa dilakukan tanpa menggunakan metode pengelasan. Oleh karena itu, dikarenakan hasil pengelasan berpengaruh terhadap daya tahan suatu struktur maka mulai banyak penelitian serupa yang diadakan untuk memperdalam ilmu pengelasan ini.

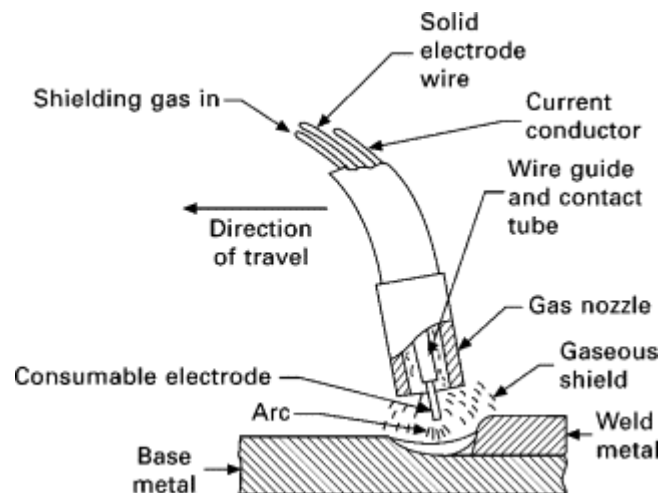
Pengertian pengelasan menurut Deutch Industrie Normen (DIN) las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau

cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu cara menyambungkan dua buah logam dengan cara pemanasan (Widharto, 2003).

Wirjosumarto dan Okumura (2000) pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambahan maupun tidak, dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Selain berfungsi untuk menyambungkan dua buah logam, pengelasan juga berfungsi sebagai pemertebal bagian yang aus cacat logam.

2.2.2 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Gas metal arc welding (GMAW) adalah proses pengelasan sebagai upaya penyambungan dua buah material logam dengan menggunakan busur listrik (*electrical arc*) yang tercipta akibat interaksi *wire* (elektroda) dengan benda kerja (logam yang akan dilas). Proses pengelasan GMAW ini terjadi karena adanya perpindahan ion anoda dan katoda pada base metal dan logam pengisi sehingga menyebabkan timbulnya energi panas yang menyebabkan logam induk dan filler metal mencair.



Gambar 2. 1 Pengelasan GMAW (Wirjosumarto, 2000)

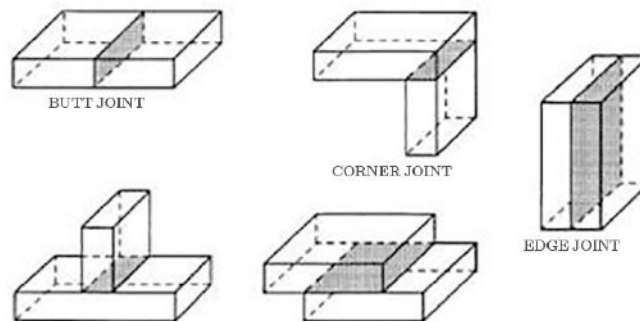
GMAW disebut juga sebagai MIG (*Metal Inert Gas*) apabila menggunakan gas mulia sebagai pelindung selama proses pengelasan. Dalam las logam gas mulia, kawat las pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda diumpankan secara terus menerus. Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Dalam banyak hal penggunaan las MIG sangat menguntungkan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifatnya yang baik, salah satunya adalah Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).

2.2.3 Parameter Pengelasan

A. Sambungan Las

Sambungan las (*weldjoint*) merupakan tempat bertemunya dua bagian logam yang disambungkan melalui proses pengelasan. Terdapat lima jenis dari sambungan las, yaitu:

1. *Butt joint* (sambungan tumpul), merupakan sambungan pada dua komponen yang memiliki kesamaan bidang.
2. *T-joint* (sambungan T), merupakan sambungan pada dua komponen yang bidangnya diletakkan secara tegak lurus, sehingga membentuk huruf T.
3. *Edge joint* (sambungan sisi), merupakan sambungan pada dua komponen dimana kedua komponen berada pada posisi yang sejajar.
4. *Corner joint* (sambungan sudut), merupakan sambungan pada dua komponen dimana ujung-ujung bidangnya bertemu pada satu garis dan membentuk sudut tertentu.
5. *Lap joint* (sambungan tumpang), merupakan sambungan pada dua komponen yang saling bertumpukkan pada bidang yang parallel.



Gambar 2. 2 Jenis Sambungan Las (AWS, 1998)

B. Kampuh Las

Agar mendapatkan kualitas sambungan yang baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah kampuh las (*groove*). Kampuh las ini mempunyai kegunaan untuk menampung bahan pengisi agar lebih banyak yang merekat pada benda kerja, sehingga kualitas las akan terjamin. Terdapat beberapa bentuk kampuh las yang digunakan dalam proses pengelasan. Las alur (*groove welds*), ujung bagian yang akan disambung dibuat alur dalam beberapa bentuk, antara lain bentuk V, U, dan X pada sisi tunggal atau ganda. Pengisi (*filler*) biasanya dilakukan dengan pengelasan busur atau pengelasan gas. Sambungan las dengan bentuk *single V groove* merupakan bentuk *groove* yang paling umum digunakan dalam proses penyambungan material logam / pelat dengan ketebalan 6 mm hingga 16 mm dan sudut kampuh rata-rata 60° .

C. Posisi Pengelasan

Dalam proses pengelasan, posisi pengelasan dan kualifikasi juru las sangat menentukan kualitas dari hasil lasan. Posisi pengelasan dapat diatur dan disesuaikan dengan letak dari sambungan material. Posisi pengelasan dibagi menjadi empat macam, diantaranya:

- a. Posisi datar (1G), yakni posisi pengelasan yang dilakukan tepat di atas sambungan, dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las menghadap ke atas. Seringkali posisi ini disebut juga sebagai posisi bawah tangan (*downhand*).

- b. Posisi horizontal (2G), yakni posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal namun muka las tidak menghadap ke atas seperti pada posisi datar.
- c. Posisi vertikal (3G), yakni 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*).
- d. Posisi di atas kepala (4G), yakni posisi pengelasan dimana sumbu las berada pada bidang horizontal dan muka las menghadap ke bawah.

D. Elektroda

GMAW (Gas Metal Arc Welding) adalah salah satu jenis proses las cair (fusion welding) yang banyak digunakan pada pengerjaan konstruksi ringan sampai berat. Hasil maksimal akan dapat dicapai apabila jenis kawat elektroda yang digunakan sama dengan jenis logam yang di las. Logam-logam yang dapat dilas dengan las gas metal adalah aluminium dan paduannya, magnesium paduan, tembaga dan paduannya, nikel dan paduannya, titanium dan paduannya, baja tahan karat austenit, serta baja karbon dengan kadar karbon rendah serta baja karbon paduan rendah maupun baja karbon dengan kekuatan yang lebih tinggi. Tabel di bawah memberikan data baik jenis bahan dasar yang akan dilas dengan bahan tambah yang akan diberikan berikut dengan klasifikasi AWS, ukuran elektroda, berikut dengan arus yang akan digunakan (AWS, 2001).

Tabel 2. 1 Jenis Elektroda (AWS. 2001)

Logam Dasar	Elektroda yang Direkomendasi		Spesifikasi AWS	Kisaran arus	
	Type Bahan	Klasifikasi Elektroda		mm	Arus (A)
Baja	Baja karbon rol panas atau pembentukan dingin	ER70S-3, ER70S-1 ER70S-2, ER70S-4 ER70S-5, ER70S-6	A5.18	0,5 0,6 0,8 0,9 1,2 1,6 2,0 2,4 2,8 3,2	- - 40-220 60-280 125-380 260-460 275-450 - - -

Standardisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada jenis *fluks*, posisi pengelasan, dan arus las yang dinyatakan dengan tanda ER70S-X, yang artinya sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik (Elektroda)
- R : Huruf setelah E menyatakan *rod*, elektroda tanpa *flux*
- 70 : Kekuatan Tarik minimum KSI (70, 80, 90, 100)
- S : Menyatakan elektroda jenis *solid*, tanpa flux
- X : Angka terakhir yang menyatakan komposisi kimia

Elektroda untuk pengelasan MIG (metal inert gas) mempunyai berbagai jenis atau model elektroda (kawat elektroda). Hal ini disebabkan pengelasan menggunakan las MIG (metal inert gas) banyak sekali dibutuhkan tidak hanya untuk pengelasan baja karbon saja melainkan juga di gunakan untuk pengelasan stainless steel maupun aluminium.

E. Masukan Panas (*Heat Input*)

Pada proses pengelasan, pencairan logam induk dan logam pengisi terjadi akibat adanya energi panas. Energi panas terbentuk dari sumber energi yang digunakan selama proses pengelasan. Pada penelitian ini, menggunakan proses pengelasan busur listrik, sehingga sumber energi yang berasal dari energi listrik diubah menjadi energi panas. Energi panas yang terjadi diakibatkan oleh tiga parameter, yaitu arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Parameter kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi besarnya energi panas yang dihasilkan selama proses pengelasan dikarenakan pada saat pengelasan, proses pemanasannya tidak hanya diam (*statis*), melainkan bergerak dengan kecepatan tertentu. Hubungan antara ketiga parameter tersebut dinamakan masukan panas (*heat input*). Semakin meningkatnya *heat input* maka *fusion zone* dan area HAZ juga akan meningkat (Kumar, 2011). Untuk menghitung besarnya *heat input* pada proses pengelasan dapat digunakan persamaan sebagai berikut (ASME, 2002) :

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{Travel\ Speed} \quad (2.1)$$

Keterangan:

HI = Masukan panas / *heat input* (J/mm atau J/in)

V = Tegangan busur las (Volt)

I = Arus las (Ampere)

Travel speed = Kecepatan pengelasan (mm/min atau in/min)

F. Gas Pelindung

Gas pelindung adalah suatu gas yang berfungsi melindungi cairan logam las (bahan logam pengisi maupun logam induk) dari udara lingkungan sekitar untuk mencegah terjadinya proses oksidasi antara logam las dengan udara luar. Berdasarkan jenisnya, terdapat empat macam gas pelindung, yaitu:

- Argon (Ar)
Adalah gas inert yang monoatomik dengan berat molekul 40 yang dapat diperoleh dengan mencairkan udara. Digunakan untuk pengelasan merupakan gas argon murni (min 99,95 %) untuk metal yang tidak reaktif, namun untuk metal reaktif dan metal tahan panas, tingkat kemurniannya lebih tinggi (99,997%).
- Helium (He)
Helium adalah gas inert yang monoatomik dan sangat ringan, memiliki berat atom 4, didapat dari pemisahan gas alam, jika digunakan untuk pengelasan harus dimurnikan menjadi 99,99%. Lebih banyak menghantarkan panas daripada argon. Dengan tenaga panas yang lebih tinggi tersebut, helium banyak digunakan untuk pengelasan menggunakan tenaga mekanis.
- Campuran Argon dan Helium
Argon mempunyai berat sekitar 10 x helium, karena beratnya begitu meninggalkan moncong obor, argon akan langsung menyelimuti jalur cairan logam las, sedangkan helium yang lebih ringan dari argon akan naik keatas menghalangi penetrasi udara ke

dalam lingkungan nyala las. Jadi dengan dikombinasikannya kedua jenis gas ini akan menghasilkan campuran yang fungsi lindungnya sangat optimal.

- Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida memiliki sifat perpindahan panas yang baik. Menghasilkan penetrasi las sangat dalam tetapi dengan busur yang tidak stabil dan, karena kereaktifannya banyak terdapat percikan atau spatter. Karbon dioksida dapat digunakan murni atau atau campuran dengan 5 sampai 25 argon%, kadang-kadang sampai dengan 50%.

2.2.4 Baja

Baja merupakan material logam yang terdiri dari campuran antara besi (Fe) dan karbon (C), serta beberapa unsur tambahan seperti chromium (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), dan beberapa unsur lainnya. Kadar unsur tambahan pada baja ditekan serendah mungkin agar tidak mempengaruhi kualitas dari baja. Kadar unsur karbon (C) yang terdapat dalam kandungan baja berkisar antara 0,008% hingga 2%. Prosentase unsur karbon dalam baja akan mempengaruhi sifat mekanik dari baja tersebut, misalnya sifat kekerasan, keuletan, kekuatan tarik, dan beberapa sifat mekanik lainnya.

Berdasarkan komposisi kimianya, baja dibedakan menjadi 3, yaitu :

- a. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon merupakan baja dengan campuran antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit tambahan beberapa unsur seperti Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat-sifat pada baja karbon tergantung pada kadar karbon yang terkandung didalamnya. Besar kecilnya kadar karbon pada baja sangat mempengaruhi struktur mikro baja pada saat diberikan perlakuan panas yang diperlihatkan pada diagram keseimbangan fasa Fe-Fe₃C sebagai berikut:

Oleh karena itu baja dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon dibagi menjadi 3, yaitu:

- a. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel / Mild Steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,30%. Baja karbon rendah biasanya digunakan untuk konstruksi bangunan, rangka kendaraan, pipa, pelat, dan lain-lain. Baja karbon rendah mempunyai

struktur yang terdiri dari ferrite dan pearlite, untuk jumlah pearlite nya hanya sedikit sehingga baja ini mempunyai kekuatan yang relatif rendah dan lunak, namun keuletannya tinggi dan mudah ditempa dan di mesin.

b. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah merupakan baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,30% hingga 0,60%. Baja karbon menengah biasanya digunakan untuk konstruksi mesin, seperti roda gigi, pegas, dan lain-lain. Baja karbon menengah mempunyai struktur yang terdiri dari ferrite dan pearlite, untuk jumlah pearlite nya cukup banyak, sehingga mempunyai sifat yang lebih kuat dan keras, namun sulit untuk dilas dan dipotong.

c. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang memiliki kandungan karbon lebih dari 0,60%. Baja karbon tinggi biasanya digunakan sebagai peralatan-peralatan seperti obeng, pisau meja, gunting, dan lain-lain. Baja karbon tinggi mempunyai sifat yang lebih kuat dan lebih keras dari baja karbon menengah, namun keuletan dan ketangguhannya rendah.

b. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan merupakan baja yang sudah mengalami proses penambahan unsur-unsur paduan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat kekerasan dan keuletan dari baja. Beberapa unsur paduan tersebut adalah :

- c. Nikel (Ni) : Menjadikan sifat baja karbon menjadi lebih ulet, kuat, dan mencegah baja karbon terhadap karat.
- d. Mangan (Mn): Menjadikan baja menjadi lebih bersih dan mengkilap, selain itu juga kekuatan dan ketahanan panas dari baja karbon menjadi lebih baik.
- e. Silicon (Si): Meningkatkan sifat elastis pada baja karbon.
- f. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan karat bersifat memberikan perlawanan terhadap karat. Pada baja tahan karat ini terdapat kandungan nikel (Ni) dan chromium (Cr). Kandungan chromium pada baja tahan karat sekitar 9% sampai 18%.

2.2.5 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah (mild steel) yang memiliki sifat kekuatan yang baik dan bisa dirubah bentuk serta dilas. Baja ASTM A36 ini biasa digunakan dalam industri perkapalan dan juga sebagai kontruksi anjungan lepas pantai, seperti pembuatan deck, kaki jacket, dan lain-lain. Kandungan kimia dari baja ASTM A36 dapat dilihat pada Tabel 2.2, serta untuk material properties nya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 2 Kandungan Kimia Baja ASTM A36 (ASTM A36, 2004)

Product	Shapes	Plates				
		To 3/4 [20] Inch	Over 3/4 To 1 1/2 [20 to 40] Inch	Over 1 1/2 To 2 1/2 [40 to 65] Inch	Over 2 1/2 To 4 [65 to 100] Inch	Over 4 [100] Inch
Thickness, in [mm]	All	To 3/4 [20] Inch	Over 3/4 To 1 1/2 [20 to 40] Inch	Over 1 1/2 To 2 1/2 [40 to 65] Inch	Over 2 1/2 To 4 [65 to 100] Inch	Over 4 [100] Inch
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.80- 1.20	0.80- 1.20	0.85- 1.20	0.85- 1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15- 0.04	0.15- 0.40	0.15- 0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabel 2. 3 Material Properties Baja ASTM A36 (ASTM A36, 2004)

Properties	Value
Tensile Strength, psi [MPa]	58000-80000 [400-550]
Yield Strength, min, psi [MPa]	36000 [250]

2.2.6 Pengujian Tidak Merusak (*Non Destructive Test*) - *Radiography Test* (RT)

Non Destructive Test merupakan metode pengujian material tanpa merusak bagian-bagian dari spesimen yang diuji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ada atau tidak adanya cacat yang terdapat di bagian permukaan maupun di dalam hasil pengelasan dari spesimen yang diuji. Pada umumnya, terdapat empat jenis NDT, yaitu *penetrant test* (PT), *magnetic test* (MT), *radiography test* (RT), dan *ultrasonic test* (UT), dimana masing-masing jenis NDT mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Pengujian radiografi merupakan pengujian tak merusak yang dilakukan terhadap spesimen uji melalui penyinaran dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma yang dapat menembus logam. Alat yang sangat penting untuk penilaian hasil penyinaran adalah penetrometer, alat pengukur penembusan sinar dan kontrasmeter, alat pengukur perbedaan ketajaman sinar. Selain itu juga diperlukan film yang digunakan sebagai media cetak hasil dari pengujian radiografi. Penetrometer dibuat dari pelat dengan lubang-lubang tertentu dan kontrasmeter dibuat dari pelat dengan ketebalan yang berbeda.

2.2.7 Pengujian Merusak (*Destructive Test*)

Destructive test merupakan pengujian pada material yang mengakibatkan material mengalami kerusakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dari suatu material. Beberapa contoh dari kegiatan *destructive test* ini antara lain : uji tumbukan (*impact test*), uji tarik (*tensile test*), uji bengkok (*bending test*), dan lain-lain.

2.2.7.1 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik merupakan kemampuan maksimum material dalam menahan beban. Pembuatan spesimen uji pada pengujian ini harus sesuai dengan standar. Titik luluh (*yield point*) yakni dimana logam mengalami pertambahan panjang tanpa pertambahan beban. Dapat diartikan bahwa titik luluh merupakan keadaan dimana spesimen terdeformasi dengan beban minimum.

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari material. Alat eksperimen untuk uji tarik harus mempunyai cengkaman yang kuat dan kekakuan yang tinggi. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk yang sesuai standar. Pada bagian tengah dari spesimen uji merupakan bagian yang menerima tegangan dan pada bagian ini diukurkan “panjang uji” (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pengaruh dari pembebanan, serta bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian berlangsung. Dari pengujian tarik ini, hasil yang dapat diketahui adalah sebagai berikut :

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

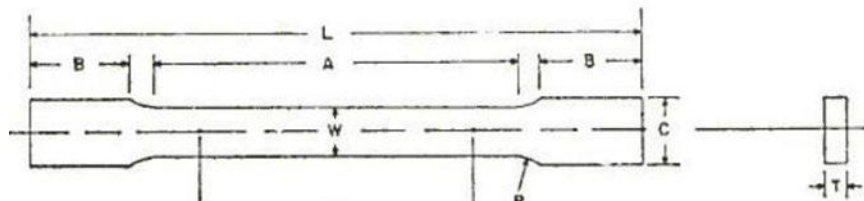
Tegangan, dalam persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\sigma = F/A \quad (2.2)$$

Keterangan:

F = Beban (kg)

A_o = Luas penampang (mm²)



Gambar 2. 3 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik (*ASME Section IX*, 1998)

Keterangan:

G = *gauge length* (mm)

A = *length reduced section* (mm)

R = *radius of fillet* (mm)

C = *grip width* (mm)

T = *thickness* (mm)

L = *length* (mm)

B = *grip length* (mm)

W = *specimen width* (3/4 in)

Pada perencanaan konstruksi, nilai tegangan luluh ini sangat penting, karena nilai ini menjadi acuan untuk desain sebuah konstruksi, sehingga beban yang diterima konstruksi tersebut berada di bawah kisaran nilai tegangan luluh dari material. Apabila material tersebut menerima beban yang melebihi tegangan luluh, maka akan terjadi deformasi plastis hingga pada akhirnya material tersebut mengalami kepecahan. Sifat mekanik setelah proses pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut:

$$\sigma_{Ultimate} = \frac{P_{Ultimate}}{A} \text{ N/m}^2 \quad (2.3)$$

$$\sigma_{yield} = \frac{P_{Yield}}{A} \text{ N/m}^2 \quad (2.4)$$

Keterangan:

A = Initial cross sectional area (mm^2)

P *Ultimate* = Maximum load (N)

P *Yield* = Yield Load (N)

2.2.7.2 Uji Tekuk (*Bend Test*)

Sifat kemampuan suatu material diperlukan pengujian terhadap sampel yang disiapkan sebagai spesimen dengan ukuran dan bentuk yang ditentukan dalam standar pengujian. Teori pengujian *bending* dipaparkan mengingat teori tersebut berkaitan dengan judul penelitian yang akan diteliti.

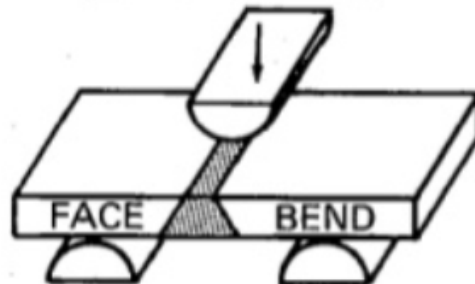
Pengujian lengkung (*bending test*) adalah salah satu cara pengujian yang digunakan untuk menentukan kemampuan bentuk dari suatu pelat atau kekuatan sambungan las (Surdia, T., dan Shinroku Saito, 1999). Pengujian Bending digunakan untuk menganalisa adanya *open defect* pada saat material mendapat beban lentur

Untuk mengetahui kekuatan lentur (*bending*) suatu material dapat dilakukan dengan pengujian lentur terhadap spesimen tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau gagal. Besar kekuatan *bending*

tergantung pada jenis spesimen dan pembebanan. Akibat pengujian lengkung, bagian dari spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah mengalami tegangan tarik. Hasil dari pengujian tekuk dapat dipengaruhi oleh besarnya sudut pengelasan, apabila semakin besar groove tersebut maka semakin kecil kemungkinan terjadinya *open defect* atau *crack* pada sambungan pengelasan tersebut (Ipek, 2012). Pengujian ini menggunakan *three point bending* serta menggunakan metode *face bend*.

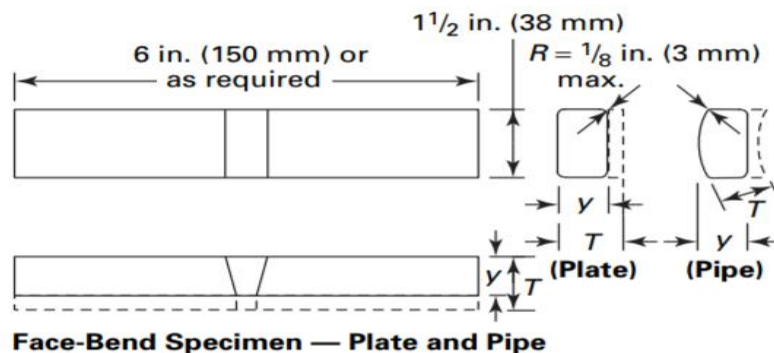
Face Bend (Bending pada permukaan las)

Dikatakan Face Bend jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul *open defect* atau tidak.



Gambar 2. 4 Face Bend pada Transversal Bending (*ASME Section IX, 2015*)

Dimensi spesimen pada pengujian ini serta kriteria kelulusan pada pengujian ini mengacu dalam *ASME Section IX* dengan open defect tidak boleh melebihi $\frac{1}{8}$ inci (3.175 mm).

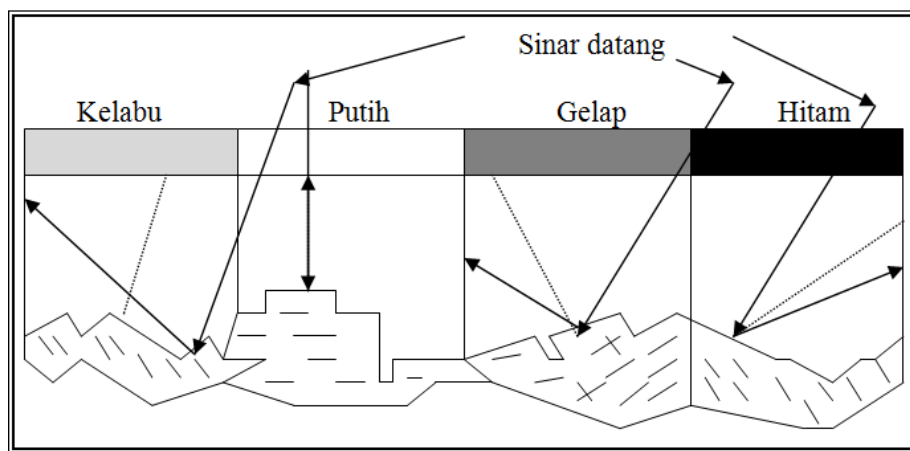


Gambar 2. 8 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tekuk (*ASME Section IX, 2015*)

2.2.8 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mempelajari karakteristik struktur makro dan mikro dari suatu logam, dalam hal ini *weld metal*, HAZ dan *base metal*. Karakteristik dari struktur makro dan mikro ini sangat berhubungan dengan sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur akan dapat diketahui morfologi dan fase-fase apa saja yang terbentuk pada suatu logam dan paduannya. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pengujian metalografi antara lain: difraksi (sinar-X, elektron, dan neutron), mikroskop (optik maupun elektron), analisis (*X-ray fluorescence* maupun elektron mikroprobe), dan juga stereometric metalografi. Pada penelitian ini digunakan pengujian metalografi dengan metode mikroskop optik

Mikroskop optik merupakan mikroskop sederhana yang dilengkapi bagian-bagian seperti cermin, *slide* mikroskop, lensa obyektif, dan lensa okuler. Cermin cekung berfungsi untuk mengumpulkan cahaya pada sampel yang ditempatkan pada slide. Cahaya tersebut akan dipantulkan dan difokuskan oleh lensa obyektif menuju lensa okuler. Pada lensa okuler inilah dibentuk sebuah gambar yang dapat diamati oleh mata atau kamera.



Gambar 2. 9 Pengamatan Metalografi (Widharto, 2007)

2.2.9 Korosi

Korosi adalah proses degradasi mutu material, baik logam maupun nonlogam akibat pengaruh lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991). Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses kembalinya suatu material ke dalam bentuk senyawa awalnya secara ilmiah. Berdasarkan teori kimia, pada suatu peristiwa korosi akan disertai oleh reaksi oksidasi dan reaksi reduksi atau biasa disebut sebagai reaksi redoks. Pada peristiwa korosi, akan ada material yang bertindak sebagai anoda dan ada juga yang bertindak sebagai katoda.

2.2.9.1 Laju Korosi

Laju korosi merupakan fenomena perambatan korosi yang terjadi pada suatu material. Laju korosi sering digunakan pada pengujian korosi dikarenakan dapat mengukur ketahanan terhadap korosi pada suatu material sehingga dapat diperkirakan kapan material tersebut dikatakan layak atau tidak layak. Terdapat dua metode untuk menghitung laju korosi, yaitu metode kehilangan berat (*weight loss*) dan metode elektrolisis.

Pada metode kehilangan berat, berat mula-mula material sebelum terjadi korosi dihitung dan kemudian dikurangi berat material setelah terjadi korosi. Sehingga selisih dari kedua nilai tersebut merupakan berat material yang hilang dan terurai akibat adanya korosi. Sedangkan pada metode elektrolisis, laju korosi dihitung dengan bantuan sel elektrokimia yang dalam penelitian ini menggunakan jenis sel tiga elektroda. Sel elektrokimia ini akan memberikan potensial pada material uji sehingga akan terjadi korosi akibat adanya reaksi katodik dan anodik. Kelebihan dari metode ini adalah tidak dibutuhkannya waktu yang lama untuk mengetahui laju korosi dikarenakan nilai tersebut akan langsung diketahui pada saat pengujian dilakukan.

2.2.9.2. Pengujian Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi material berdasarkan metode elektrolisis. Konfigurasi sel tiga elektroda tersebut terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut :

a. Elektroda kerja (*working electrode*)

Komponen ini merupakan elektroda yang diteliti. Istilah elektroda digunakan sebagai pengganti dari anoda. Elektroda kerja dapat disiapkan dengan berbagai cara, salah satunya cukup dengan memasang sebuah spesimen kecil dalam resin pendingin. Spesimen harus mempunyai aliran listrik dan hal ini dapat disiapkan sebelum pemasangan. Permukaan spesimen harus rata dan halus dengan cara digerinda atau diampelas.

b. Elektroda bantu (*auxiliary electrode*)

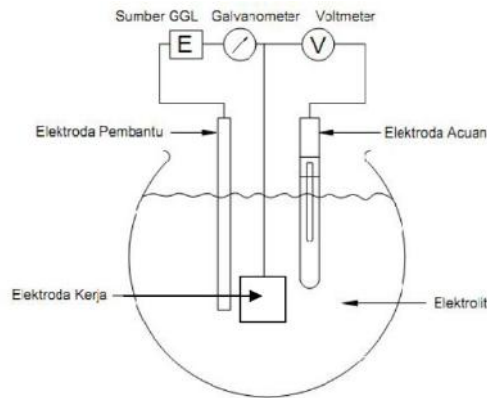
Elektroda bantu berfungsi untuk memberikan potensial pada elektroda kerja serta untuk mengangkut arus listrik yang timbul akibat reaksi kimia.

c. Elektroda acuan (*reference electrode*)

Elektroda acuan yaitu elektroda yang berfungsi sebagai pembanding potensial yang diberikan pada elektroda kerja serta potensial yang diberikan pada elektroda bantu. Arus yang mengalir pada elektroda ini diusahakan sekecil mungkin sehingga dapat diabaikan.

d. Larutan elektrolit (*electrolyte solution*)

Larutan elektrolit berfungsi sebagai penghantar arus ionic dalam reaksi korosi. Oleh karena itu, persiapan larutan elektrolit harus dilakukan dengan cermat. Larutan elektrolit yang digunakan sebanyak 1 liter.



Gambar 2. 10 Komponen Sel Tiga Elektroda (Trethwey, 1991)

Satuan yang digunakan adalah mpy (*mils per year*), mmpy (*millimeter per year*) dll. Ketahanan terhadap korosi umumnya nilai laju korosi antara 1-200 mpy. Dapat dilihat pada Table 2.4 di bawah ini yang menggolongkan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya. Pada tabel dapat tersebut diketahui tingkat ketahanan material mulai dari yang paling baik ketahanannya sampai yang buruk ketahanannya terhadap korosi.

Tabel 2. 4 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Fontana, 1987)

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

Data yang didapat selama pengujian berupa arus dan potensial kemudian diolah dengan Analisa Tafel untuk mendapatkan arus korosi dan laju korosi. Analisa Tafel dilakukan dengan mengekstrapolasi bagian linier dari suatu plot log arus versus potensial pada pertemuan arus anodik dan katodik. Dari perpotongan ini bisa didapat densitas arus

korosi (*I_{corr}*). Lalu setelah densitas arus korosi maka didapatkan *Corrosion Rate* (laju korosi) dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Lajur Korosi} = \frac{K \times a \times i}{n \times D} \quad (2.5)$$

Keterangan :

K = Konstanta (0.00327)

D = Massa jenis (g/cm³)

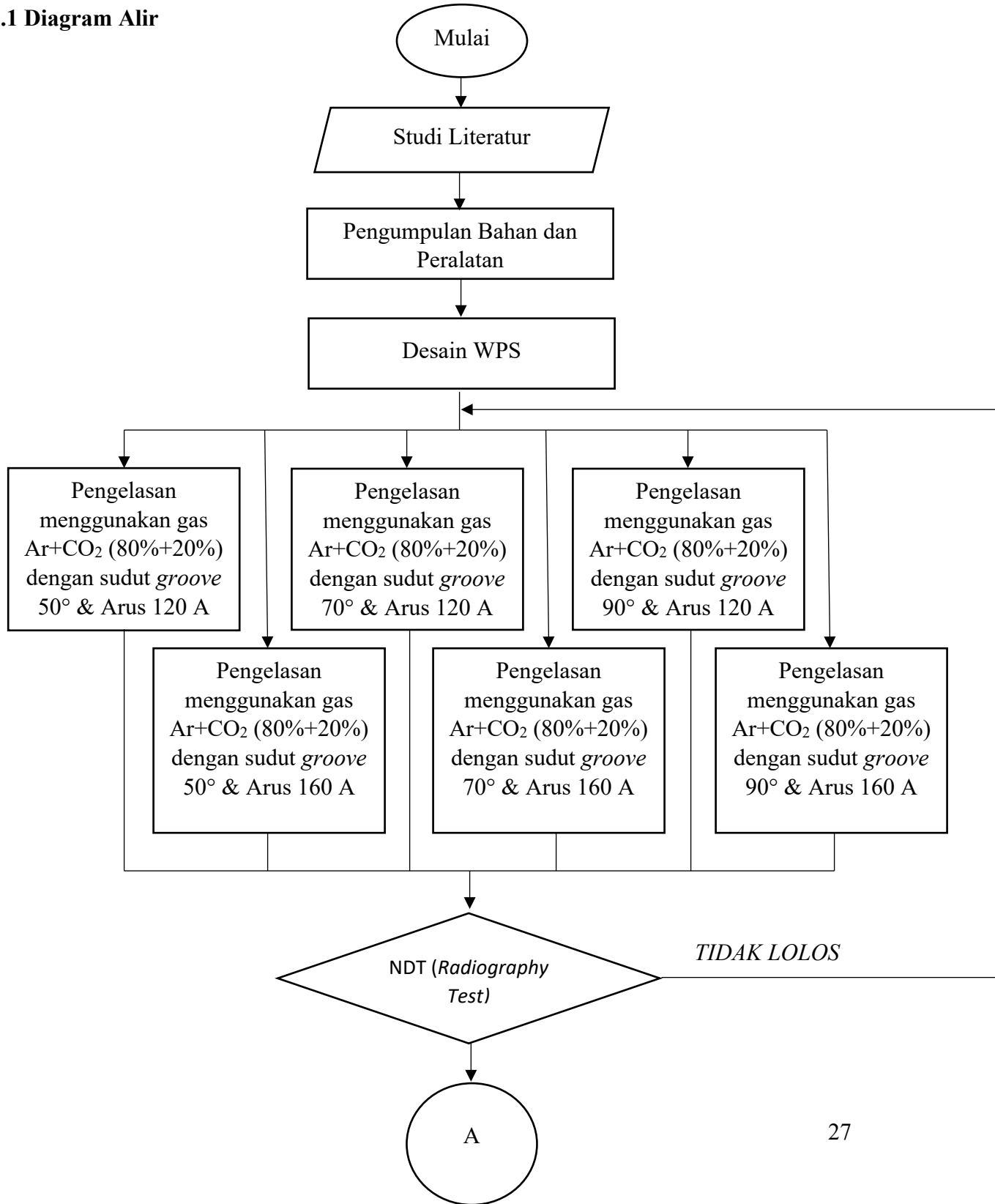
a = Berat molekul (g/mol)

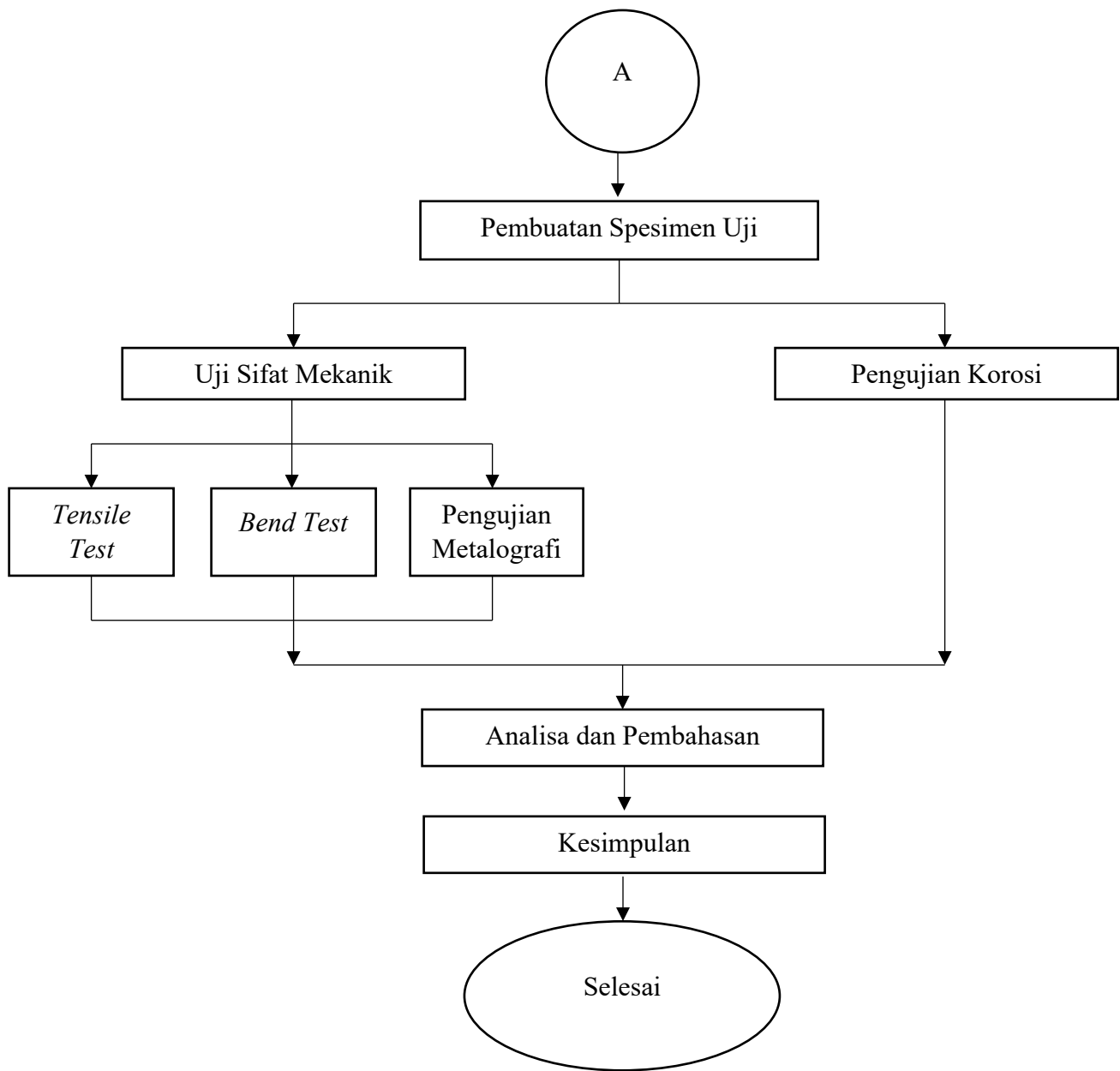
i = Rapat arus (μA/cm²)

n = Elektron yang dilepas (1)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





3.2 Penjelasan Diagram Alir

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan meliputi pencarian dan pemahaman mengenai referensi jurnal nasional maupun internasional, buku referensi, buku diktat, prosiding, dan kumpulan tugas akhir yang berkaitan dengan rumusan masalah, dasar teori, dan data-data yang digunakan sebagai pedoman dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.2.1 Pengumpulan Bahan dan Peralatan

Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa bahan dan peralatan yang harus digunakan, antara lain :

- a. Pelat baja A36 dengan ukuran 300 mm x 150 mm x 10 mm sebanyak 12 buah
- b. Elektroda ER70S-G
- c. Penggaris
- d. Sarung tangan las
- e. Masker
- f. Helm las
- g. *Holder*
- h. Kacamata las
- i. *Stopwatch*
- j. Mesin las GMAW
- k. Penjepit baja
- l. Mesin Gerinda
- m. *Cattlepack*

3.2.3 Desain WPS (*Welding Procedure Specification*)

Dalam pembuatan WPS, peneliti dan *welder* mempersiapkan rancangan proses dan *procedure* pengelasan agar proses pengelasan yang dilakukan dapat berjalan dengan baik dan mendapatkan hasil yang sesuai. Parameter yang ditentukan dalam desain WPS antara lain:

Tabel 3. 1 Desain WPS

Jenis Material	ASTM A36
Dimensi (panjang x lebar x tebal)	300 mm x 150 mm x10 mm
Jenis Elektroda	ER70S-G
Diameter Elektroda	1.2 mm
Panjang Jalur Las	300 mm
Posisi Pengelasan	1G
<i>Single V - Groove</i>	50°,70°,90°

3.2.4 Pengelasan GMAW pada Pelat Baja A36

Setelah bahan dan peralatan disiapkan, proses pengelasan dapat dimulai dengan mengacu pada WPS yang telah dibuat. Spesimen yang dibuat dalam ukuran utama nantinya akan menjadi 6 buah sebelum dilakukan beberapa pengujian menjadi potongan spesimen yang kecil. Proses pengelasan ini dilakukan di PT. Kampuh Welding Indonesia. Tipe sambungan yang digunakan ialah *butt joint* dengan posisi pengelasan 1G atau pengelasan mendatar. Pada eksperimen ini menggunakan material berupa baja ASTM A36 serta menggunakan Arus sebesar 120 A dan 160 A. Gas pelindung yang digunakan ialah Ar + CO₂ (80%+20%) serta menggubakan variasi *groove V* sebesar 50°, 70° dan 90°.

3.2.5 Pengujian NDT (*Non Destructive Test*)

Setelah melalui proses pengelasan, maka akan dilakukan proses NDT dengan menggunakan metode RT (*Radiography Test*) dengan penembakan sinar gamma (*X-ray*) pada 6 buah spesimen yang sudah di las untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan. Apabila 6 buah spesimen telah dilakukan proses NDT dan tidak ditemukan cacat las, maka pengujian mekanik dapat dilaksanakan.

3.2.6 Pengujian Tekuk (*Bend Test*)

Pengujian tekuk dilakukan agar dapat mengetahui kekuatan lengkung dari material yang sudah di las pada saat diberikan tekanan. Pengujian tekuk ini mengacu pada standar ASME *section IX*. Proses pengujian tekuk adalah sebagai berikut:

- Spesimen uji dibuat menjadi material dengan bentuk yang sesuai dengan standar ASME *Section IX*.
- Kemudian, spesimen uji dihaluskan dan dibersihkan pada bagian *base metal* yang dekat dengan *weld metal*, dan pada bagian *weld metal*.
- Kemudian, spesimen uji diletakkan di atas tumpuan dari alat uji.
- Lalu, spesimen uji diberikan tekanan dengan alat penampang yang mempunyai *angle of bend* 180° dan diameter 40 mm, hingga spesimen tersebut melekung dan dapat diketahui apakah spesimen tersebut mengalami *open defect* atau tidak

3.2.7 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik dilakukan agar dapat mengetahui nilai kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) dan nilai kekuatan tarik luluh (*yield strength*) pada material baja yang sudah di las. Untuk standar yang digunakan pada pengujian tarik adalah ASME *section IX*. Proses pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- Spesimen uji dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk sesuai standar.
- Kemudian, spesimen uji dipasang pada mesin pengujian tarik.
- Lalu, spesimen uji dijepit dengan pencekram (*grip*) dari mesin tarik pada ujung-ujungnya.

- Kemudian, spesimen ditarik memanjang secara perlahan hingga spesimen menjadi patah.

Selama proses pengujian tarik akan tercatat setiap saat dengan grafik yang tersedia pada mesin pengujian tarik, dimana besarnya gaya tarik yang bekerja sebagai akibat dari gaya tarik tersebut.

3.2.8 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan agar dapat mengetahui struktur permukaan hasil pengelasan, baik secara makro maupun mikro. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*.

Untuk perbesaran yang digunakan, pada foto makro digunakan perbesaran 7x dengan menggunakan mikroskop optik. Sedangkan untuk foto mikro digunakan perbesaran 100x dan 400x dengan menggunakan mikroskop elektron. Daerah yang diamati adalah pada bagian *base metal*, daerah HAZ, dan *weld metal*

3.2.9 Pengujian Prediksi Laju Korosi

Pengujian prediksi laju korosi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan metode elektrolisis menggunakan alat sel tiga elektroda yang terhubung dengan peralatan *potensiostat Autolab PGSTAT128N*. Larutan uji yang digunakan adalah larutan elektrolit dengan salinitas NaCl 3,5% sebagai pengganti dari air laut.

Pengujian korosi ini mengacu pada standar ASTM G102 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. Arus yang dihasilkan pada setiap tegangan yang diberikan dapat direkam oleh komputer yang sudah terdapat *software NOVA*.

3.2.10 Analisa dan Pembahasan

Dari hasil pengujian-pengujian yang dilakukan, maka dapat dilakukan analisa dan pembahasan yang sesuai dengan *code and standard* yang digunakan, sehingga dari hasil analisa dapat menjawab permasalahan yang dirumuskan.

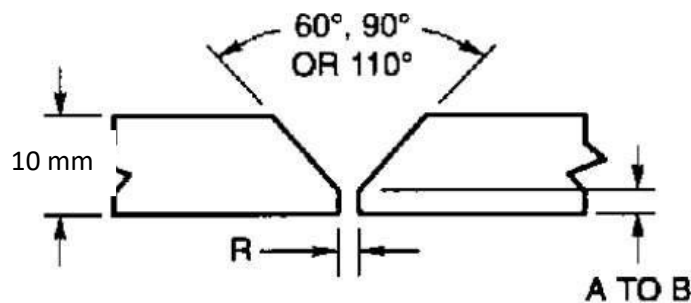
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 *Welding Procedure Specification*

Pengelasan pada penelitian ini yang dilakukan di Kampuh Welding Indonesia, Surabaya, yaitu GMAW *Welding Procedure Specification* (WPS) sebagai berikut :

Spesifikasi Material	: ASTM A36
Dimensi	: 300 mm x 150 mm x 10 mm
Proses Pengelasan	: GMAW
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
Posisi Pengelasan	: 1G
AWS No. (Class)	: ER70S-G
Diameter <i>Filler Metal</i>	: 1.2 mm
Pelindung <i>Flux Electrode</i>	: N/A
Arus Pengelasan	: DCEP
Jumlah <i>Layer</i>	: 3 <i>Layer</i>
Metode Pembersihan	: <i>Grinding & Wire Brush</i>
<i>Shielding Gas</i>	: 80% Ar + 20% CO ₂
<i>Purge Gas</i>	: N/A
<i>Pre Heat & Post Heat</i>	: N/A
Welder	: Aris Suprianto (<i>Welder</i> Kampuh Welding Indonesia)

Daerah sambungan pengelasan pada penelitian Tugas Akhir ini, untuk lebih detailnya dapat dilihat dapat Gambar 4.1 dibawah.



Gambar 4. 1 Bentuk Sambungan Pengelasan

4.1.1 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen 1

Pada eksperimen spesimen 1, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A36 dengan baja ASTM A36 serta menggunakan elektoda berjenis ER70S-G dan menggunakan arus sebesar 120A serta sudut groove sebesar 50°. Pengelasan dilakukan dengan 3 *layer* serta menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama (*root*), kedua (*filler*) dan ketiga (*cap*) menggunakan arus sebesar 120 A, serta tegangannya antara 20 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 *Welding Procedure Specification* 50° dan Arus 120 A

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	20	150	0.96
2	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	20	150	0.96
3	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	20	71	2.03
Heat Input Rata-rata								1.3

4.1.2 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen 2

Pada eksperimen spesimen 2, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A36 dengan baja ASTM A36 serta menggunakan elektoda berjenis ER70S-G dan menggunakan arus sebesar 160 A serta sudut groove sebesar 50°. Pengelasan dilakukan dengan 3 *layer* serta menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama (*root*), kedua (*filler*) dan ketiga (*cap*) menggunakan arus sebesar 160 A, serta tegangannya antara 21 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 2 *Welding Procedure Specification* 50° dan Arus 160 A

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	21	100	2.02
2	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	21	200	1.08
3	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	21	109	1.84
Heat Input Rata-rata								1.6

4.1.3 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen 3

Pada eksperimen spesimen 3, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A36 dengan baja ASTM A36 serta menggunakan elektoda berjenis ER70S-G dan menggunakan arus sebesar 120 A serta sudut groove sebesar 70°. Pengelasan dilakukan dengan 3 layer serta menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama (*root*), kedua (*filler*) dan ketiga (*cap*) menggunakan arus sebesar 120 A, serta tegangannya antara 18 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 *Welding Procedure Specification* 70° dan Arus 120 A

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	18	90	1.44
2	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	18	120	1.08
3	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	18	100	1.30
Heat Input Rata-rata								1.3

4.1.4 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen 4

Pada eksperimen spesimen 4, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A36 dengan baja ASTM A36 serta menggunakan elektoda berjenis ER70S-G dan menggunakan arus sebesar 160 A serta sudut groove sebesar 70°. Pengelasan dilakukan dengan 3 *layer* serta menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama (*root*), kedua (*filler*) dan ketiga (*cap*) menggunakan arus sebesar 160 A, serta tegangannya antara 20 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4. 4 *Welding Procedure Specification* 70° dan Arus 160 A

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	20	200	0.96
2	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	20	150	1.28
3	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	20	75	2.56
Heat Input Rata-rata								1.6

4.1.5 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen 5

Pada eksperimen spesimen 5, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A36 dengan baja ASTM A36 serta menggunakan elektoda berjenis ER70S-G dan menggunakan arus sebesar 120 A serta sudut groove sebesar 90°. Pengelasan dilakukan dengan 3 *layer* serta menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama (*root*), kedua (*filler*) dan ketiga (*cap*) menggunakan arus sebesar 120 A, serta tegangannya antara 19 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5 Welding Procedure Specification 90° dan Arus 120 A

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	19	150	0.91
2	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	19	150	0.91
3	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	120	19	71	1.92
Heat Input Rata-rata								1.3

4.1.6 Welding Procedure Specification pada Spesimen 6

Pada eksperimen spesimen 6, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A36 dengan baja ASTM A36 serta menggunakan elektoda berjenis ER70S-G dan menggunakan arus sebesar 160A serta sudut groove sebesar 90°. Pengelasan dilakukan dengan 3 layer serta menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada layer pertama (*root*), kedua (*filler*) dan ketiga (*cap*) menggunakan arus sebesar 160 A, serta tegangannya antara 20 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4. 6 Welding Procedure Specification 90° dan Arus 160 A

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	20	109	1.76
2	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	20	171	1.12
3	GMAW	ER70S-G	1.2 mm	DCEP	160	20	100	1.92
Heat Input Rata-rata								1.6

4.2 Pengujian *Non Destructive Test (Radiography Test)*

Pada pengujian *non destructive* ini yang digunakan ialah *radiography test*. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui hasil dari pengelasan yang sudah dilakukan tersebut terdapat cacat atau tidak. Pengujian ini menggunakan sinar radioaktif serta film fotografi. Radiasi sinar tersebut akan dipancarkan pada benda uji, sehingga sinar yang telah dipancarkan pada benda uji dipantulkan menuju film fotografi. Hasil akhir dari *radiography test* ialah berupa gambaran struktur hasil dari pengelasan dan base metal yang dipaparkan dalam sebuah foto film. Pengujian ini dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V No.25, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur. Standar yang digunakan pada uji radiografi ini adalah ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*.

4.2.1 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 1

Pada hasil pengelasan spesimen 1 dengan elektroda ER70S-G serta menggunakan arus sebesar 120 A dengan sudut *groove* sebesar 50°. Pengelasan ini terdiri dari 3 layer yaitu *root*, *filler* serta *cap*. Serta proses pengelasan ini menggunakan gas pelindung mix berupa Argon dan Karbondioksida dengan kadar rasio sebesar 80% Ar dan 20% CO₂. Pada pengelasan spesimen pertama menghasilkan *heat input* rata-rata sebesar 1.3 kJ/mm. Gambar sebelum dan sesudah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 50° dan Arus 120 A

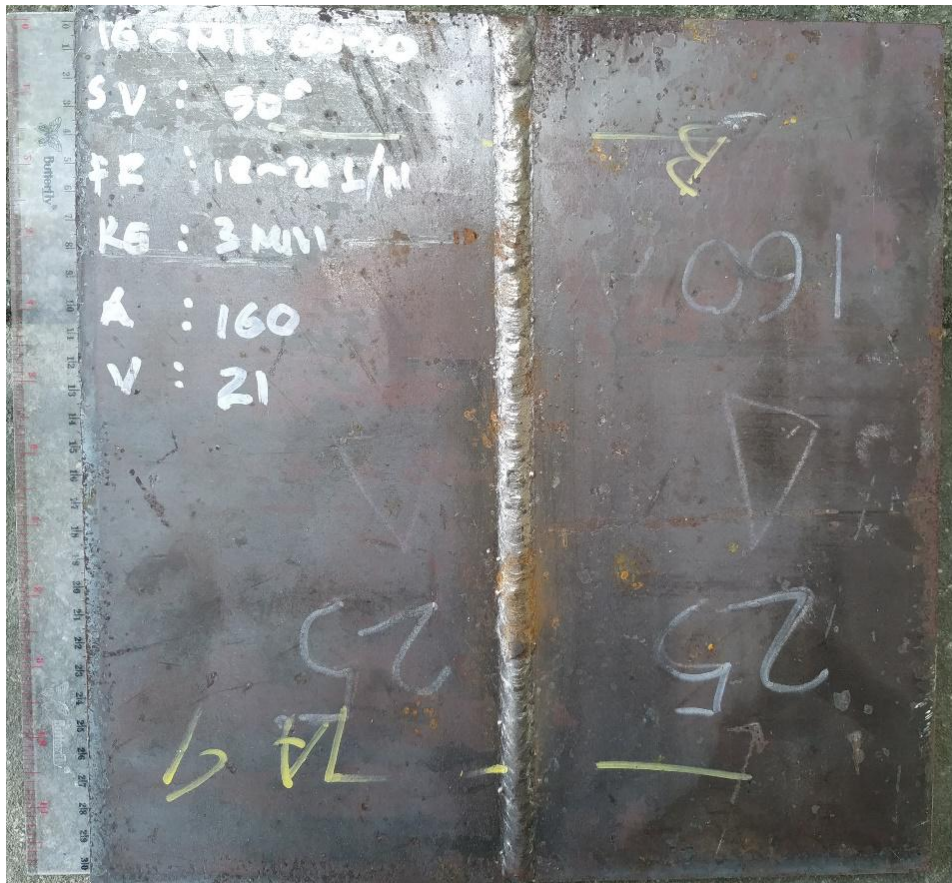
Hasil pengujian NDT Radiografi pada spesimen satu menyatakan bahwa tidak terdapat cacat las. Hasil ini berupa film fotografi yang dipancarkan oleh sinar radioaktif. Apabila terdapat cacat pada hasil pengelasan tersebut maka akan terlihat atau terekam pada film fotografi. Serta dalam film tersebut dapat terlihat letak cacat dari pengelasan tersebut. Hasil foto NDT Radiografi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Hasil Pengujian NDT Pengelasan 50° dan Arus 120 A

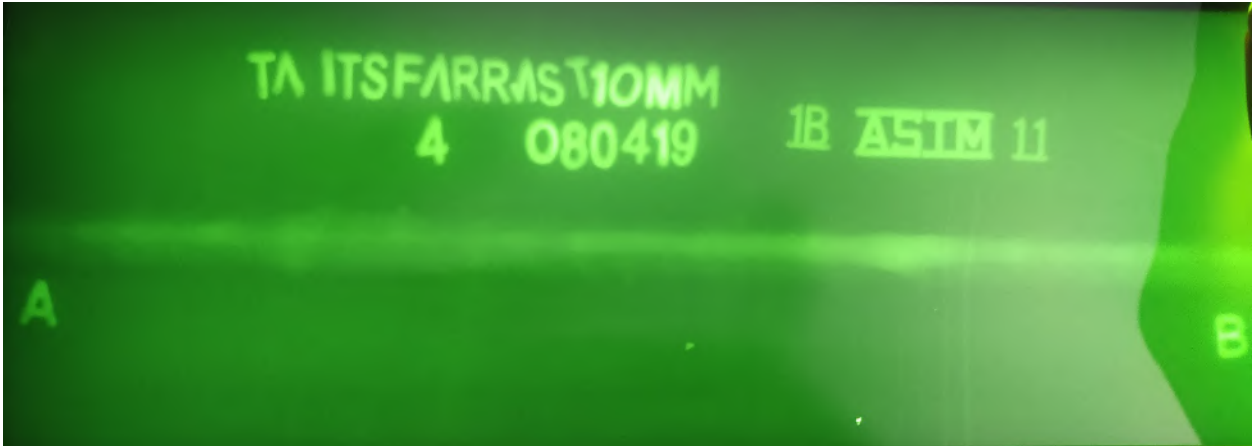
4.2.2 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 2

Pada hasil pengelasan spesimen 2 dengan elektroda ER70S-G serta menggunakan arus sebesar 160 A dengan sudut *groove* sebesar 50°. Pengelasan ini terdiri dari 3 layer yaitu *root*, *filler* serta *cap*. Serta proses pengelasan ini menggunakan gas pelindung mix berupa Argon dan Karbondioksida dengan kadar rasio sebesar 80% Ar dan 20% CO₂. Pada pengelasan spesimen pertama menghasilkan *heat input* rata-rata sebesar 1.6 kJ/mm. Gambar sebelum dan sesudah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 50° dan Arus 160 A

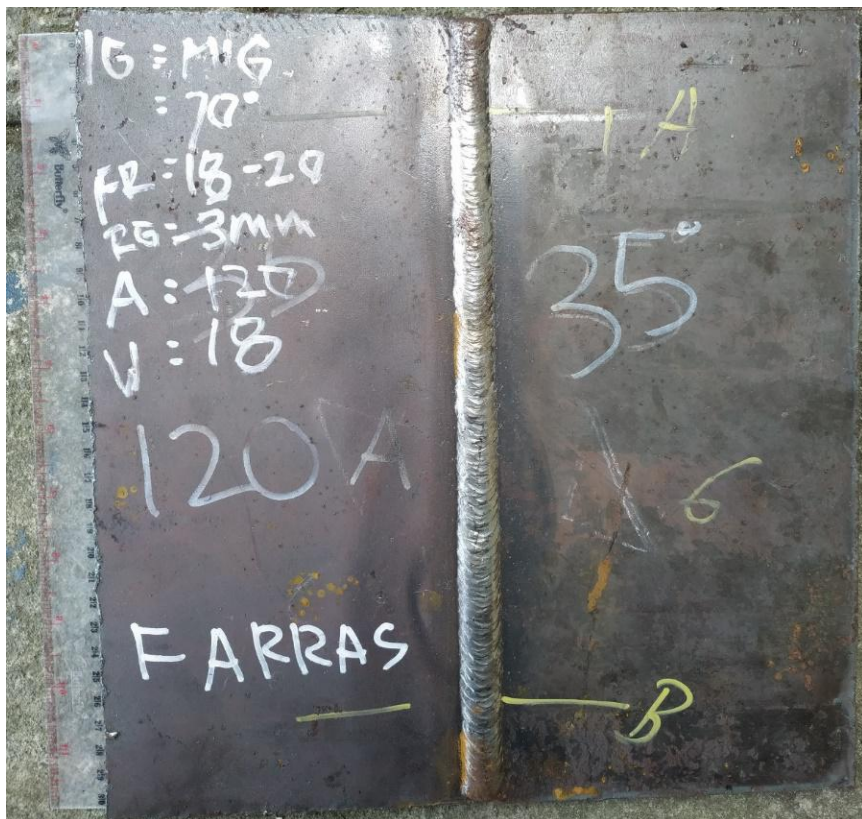
Hasil pengujian NDT Radiografi pada spesimen satu menyatakan bahwa tidak terdapat cacat las. Hasil ini berupa film fotografi yang dipancarkan oleh sinar radioaktif. Apabila terdapat cacat pada hasil pengelasan tersebut maka akan terlihat atau terekam pada film fotografi. Serta dalam film tersebut dapat terlihat letak cacat dari pengelasan tersebut. Hasil foto NDT Radiografi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 50° dan Arus 160 A

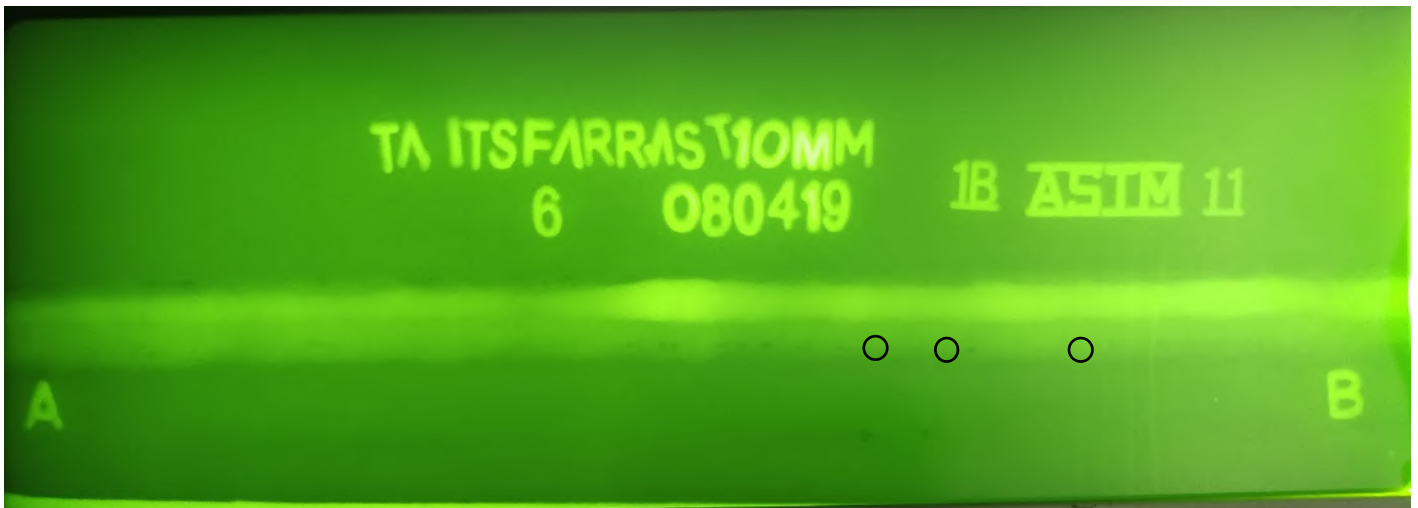
4.2.3 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 3

Pada hasil pengelasan spesimen 3 dengan elektroda ER70S-G serta menggunakan arus sebesar 120 A dengan sudut *groove* sebesar 70°. Pengelasan ini terdiri dari 3 layer yaitu *root*, *filler* serta *cap*. Serta proses pengelasan ini menggunakan gas pelindung mix berupa Argon dan Karbondioksida dengan kadar rasio sebesar 80% Ar dan 20% CO₂. Pada pengelasan spesimen pertama menghasilkan *heat input* rata-rata sebesar 1.3 kJ/mm. Gambar sebelum dan sesudah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Sabelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 70° dan Arus 120 A

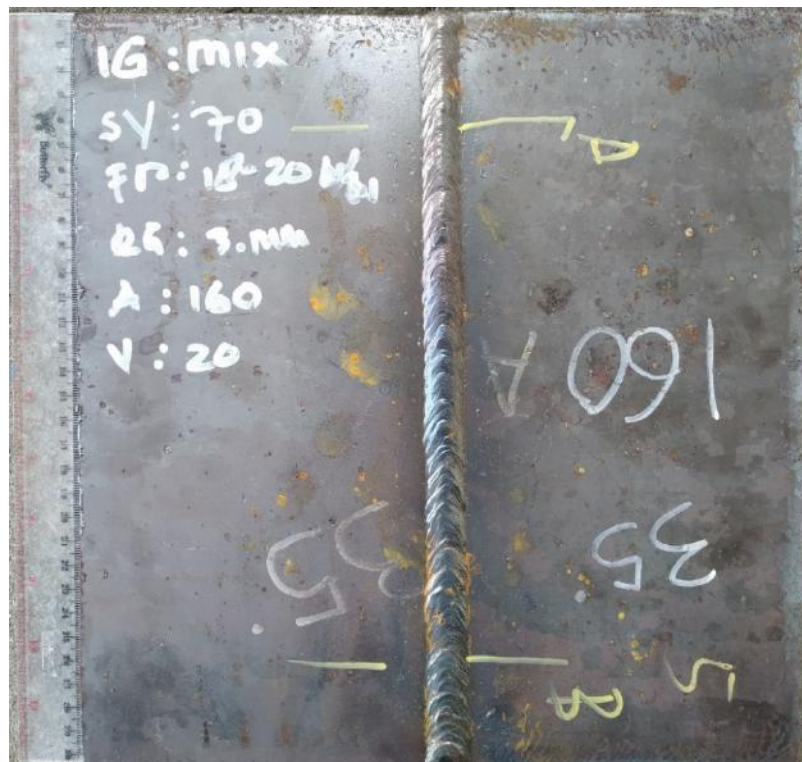
Hasil pengujian NDT Radiografi pada spesimen satu menyatakan bahwa terdapat cacat las berupa *Porosity*. *Porosity* ini disebabkan karena adanya gas CO₂ yang menguap pada saat proses pendinginan cepat pada logam pengelasan. Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* terdapat pada kategori *rounded indications*. Dimana tertulis dalam *acceptance criteria* nya, bahwa diameter porositas hasil pengelasan tidak boleh lebih dari 20% ketebalannya, atau dapat diartikan tidak boleh melebihi dari 2 mm pada logam dengan ketebalan 10 mm. Pada hasil pengelasan ini didapatkan bahwa cacat *porosity* sepanjang 1 mm. Hasil foto NDT Radiografi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 70° dan Arus 120 A

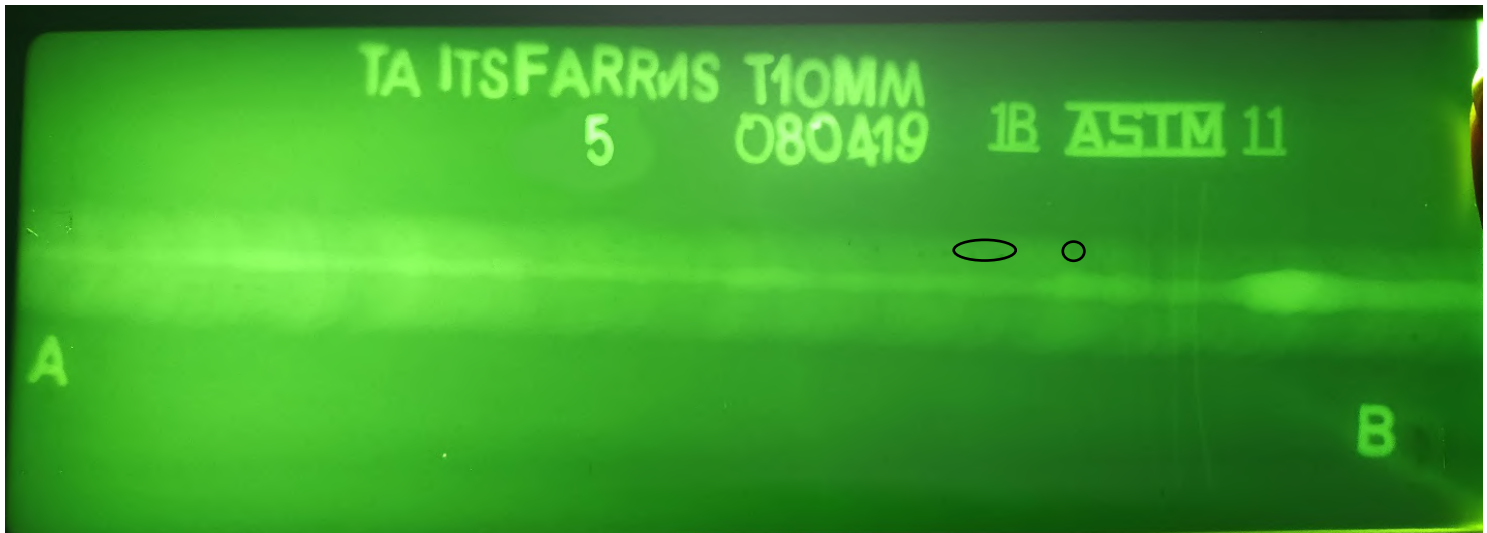
4.2.4 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 4

Pada hasil pengelasan spesimen 4 dengan elektroda ER70S-G serta menggunakan arus sebesar 160 A dengan sudut *groove* sebesar 70°. Pengelasan ini terdiri dari 3 layer yaitu *root*, *filler* serta *cap*. Serta proses pengelasan ini menggunakan gas pelindung mix berupa Argon dan Karbondioksida dengan kadar rasio sebesar 80% Ar dan 20% CO₂. Pada pengelasan spesimen pertama menghasilkan *heat input* rata-rata sebesar 1.6 kJ/mm. Gambar sebelum dan sesudah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 70° dan Arus 160 A

Hasil pengujian NDT Radiografi pada spesimen satu menyatakan bahwa terdapat cacat las berupa *Porosity*. *Porosity* ini disebabkan karena adanya gas CO₂ yang menguap pada saat proses pendinginan cepat pada logam pengelasan. Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *porosity* terdapat pada kategori *rounded indications*. Dimana tertulis dalam *acceptance criteria* nya, bahwa diameter porositas hasil pengelasan tidak boleh lebih dari 20% ketebalannya, atau dapat diartikan tidak boleh melebihi dari 2 mm pada logam dengan ketebalan 10 mm. Pada hasil pengelasan ini didapatkan bahwa cacat *porosity* sepanjang 0.5 mm. Hasil foto NDT Radiografi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 70° dan Arus 160 A

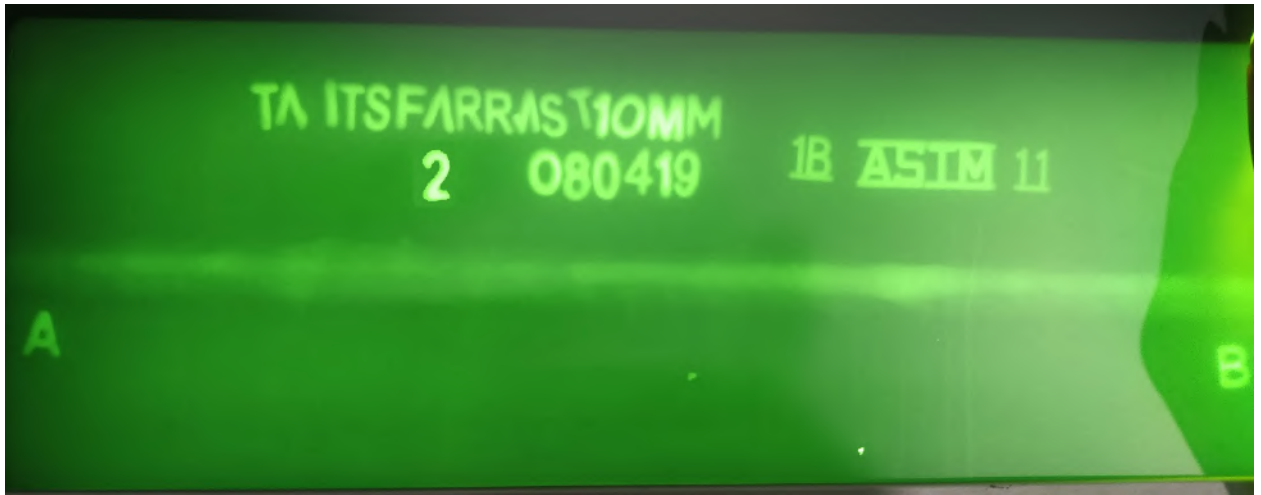
4.2.5 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 5

Pada hasil pengelasan spesimen 5 dengan elektroda ER70S-G serta menggunakan arus sebesar 120 A dengan sudut *groove* sebesar 90°. Pengelasan ini terdiri dari 3 layer yaitu *root*, *filler* serta *cap*. Serta proses pengelasan ini menggunakan gas pelindung mix berupa Argon dan Karbondioksida dengan kadar rasio sebesar 80% Ar dan 20% CO₂. Pada pengelasan spesimen pertama menghasilkan *heat input* rata-rata sebesar 1.3 kJ/mm. Gambar sebelum dan sesudah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 90° dan Arus 120 A

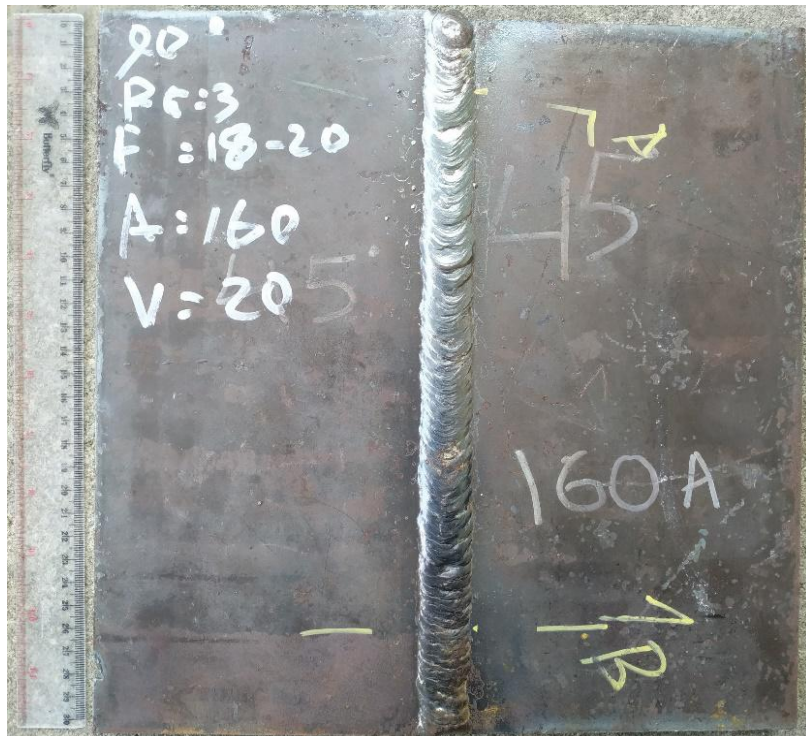
Hasil pengujian NDT Radiografi pada spesimen satu menyatakan bahwa tidak terdapat cacat las. Hasil ini berupa film fotografi yang dipancarkan oleh sinar radioaktif. Apabila terdapat cacat pada hasil pengelasan tersebut maka akan terlihat atau terekam pada film fotografi. Serta dalam film tersebut dapat terlihat letak cacat dari pengelasan tersebut. Hasil foto NDT Radiografi dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 90° dan Arus 120 A

4.2.6 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 6

Pada hasil pengelasan spesimen 6 dengan elektroda ER70S-G serta menggunakan arus sebesar 160 A dengan sudut *groove* sebesar 90°. Pengelasan ini terdiri dari 3 layer yaitu *root*, *filler* serta *cap*. Serta proses pengelasan ini menggunakan gas pelindung mix berupa Argon dan Karbondioksida dengan kadar rasio sebesar 80% Ar dan 20% CO₂. Pada pengelasan spesimen pertama menghasilkan *heat input* rata-rata sebesar 1.6 kJ/mm. Gambar sebelum dan sesudah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengelasan 90° dan Arus 160 A

Hasil pengujian NDT Radiografi pada spesimen satu menyatakan bahwa tidak terdapat cacat las. Hasil ini berupa film fotografi yang dipancarkan oleh sinar radioaktif. Apabila terdapat cacat pada hasil pengelasan tersebut maka akan terlihat atau terekam pada film fotografi. Serta dalam film tersebut dapat terlihat letak cacat dari pengelasan tersebut. Hasil foto NDT Radiografi dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Hasil Pengujian NDT Radiografi Pengelasan 90° dan Arus 160 A

4.3 Pengujian Tekuk (*Bend Test*)

Pada pengujian tekuk ini dilakukan agar dapat mengetahui kekuatan lengkung dari material yang sudah di las pada saat diberikan tekanan. Serta bertujuan untuk mengetahui apakah spesimen uji tersebut mengalami *open defect* setelah dilakukan pengujian atau tidak. Pengujian tekuk ini mengacu pada standar ASME section IX, dengan ukuran spesimen sebesar 250 mm x 38 mm. Spesimen dinyatakan lolos pengujian apabila tidak mengalami crack dan apabila terdapat crack, maka panjang maksimum crack tersebut harus kurang dari 1/8 inch (3.175 mm). Pada pengujian ini, uji yang dilakukan adalah face bending. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Kapal di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.

4.3.1 Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 1

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 50° dengan arus sebesar 120A. Pada hasil pengujian tekuk pada spesimen 1, dengan lebar spesimen sebesar 38 mm dan tebal spesimen sebesar 10 mm. dengan *angle of bend* sebesar 180° serta diameter mandrel sebesar 40 mm. Pada spesimen uji 1 ini terdapat *open defect* sebanyak 2 buah dengan ukuran sebesar 11.05 mm dan 1.14 mm. Sehingga hasil pengujian spesimen 1 ini dinyatakan gagal atau ditolak dikarenakan dalam standar ASME *Section IX*, dimana dikatakan bahwa apabila hasil uji mengalami *open defect* lebih besar dari $1/8$ inch (3.175 mm) akan dianggap gagal atau ditolak. Adapun hasil dari pengujian tekuk pada spesimen 1 dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 50° dan Arus 120 A

4.3.2 Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 2

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 50° dengan arus sebesar 160A. Pada hasil pengujian tekuk pada spesimen 2, dengan lebar spesimen sebesar 38 mm dan tebal spesimen sebesar 10 mm. dengan *angle of bend* sebesar 180° serta diameter mandrel sebesar 40 mm. Pada spesimen uji 2 ini terdapat *open defect* sebanyak 2 buah dengan ukuran masing-masing sebesar 17.83 mm dan 3.03 mm. Sehingga hasil pengujian spesimen 2 ini dinyatakan gagal atau ditolak dikarenakan dalam standar ASME *Section IX*, dimana dikatakan bahwa apabila hasil uji mengalami *open defect* lebih besar dari $1/8$ inch (3.175 mm) akan dianggap gagal atau ditolak. Adapun hasil dari pengujian tekuk pada spesimen 2 dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 50° dan Arus 160 A

4.3.3 Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 3

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 70° dengan arus sebesar 120A. Pada hasil pengujian tekuk pada spesimen 3, dengan lebar spesimen sebesar 38 mm dan tebal spesimen sebesar 10 mm. dengan *angle of bend* sebesar 180° serta diameter mandrel sebesar 40 mm. Pada spesimen uji 3 ini terdapat *open defect* sebanyak 1 buah dengan ukuran sebesar 1.64 mm. Sehingga hasil pengujian spesimen 3 ini dinyatakan lolos dikarenakan dalam standar ASME *Section IX*, dimana dikatakan bahwa apabila hasil uji mengalami *open defect* kurang dari $1/8$ inch (3.175 mm) akan dinyatakan lolos. Adapun hasil dari pengujian tekuk pada spesimen 6 dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 70° dan Arus 120
A

4.3.4 Hasil Pengujian Tekuk pada Spnesimen 4

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 70° dengan arus sebesar 160A. Pada hasil pengujian tekuk pada spesimen 4, dengan lebar spesimen sebesar 38 mm dan tebal spesimen sebesar 10 mm. dengan *angle of bend* sebesar 180° serta diameter mandrel sebesar 40 mm. Pada spesimen uji 4 ini terdapat *open defect* sebanyak 2 buah dengan ukuran sebesar 2.71 mm dan 1.97 mm. Sehingga hasil pengujian spesimen 4 ini dinyatakan lolos dikarenakan dalam standar ASME *Section IX*, dimana dikatakan bahwa apabila hasil uji mengalami *open defect* lebih besar dari $1/8$ inch (3.175 mm) akan dianggap gagal atau ditolak. Adapun hasil dari pengujian tekuk pada spesimen 4 dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 70° dan Arus 160 A

4.3.5 Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 5

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 90° dengan arus sebesar 120A. Pada hasil pengujian tekuk pada spesimen 5, dengan lebar spesimen sebesar 38 mm dan tebal spesimen sebesar 10 mm. dengan *angle of bend* sebesar 180° serta diameter mandrel sebesar 40 mm. Pada spesimen uji 5 ini tidak terdapat *open defect* sama sekali. Sehingga hasil pengujian spesimen 5 ini dinyatakan lolos dikarenakan dalam standar ASME *Section IX*, dimana dikatakan bahwa apabila hasil uji tidak mengalami *open defect* atau kurang dari $1/8$ inch (3.175 mm) akan dinyatakan lolos. Adapun hasil dari pengujian tekuk pada spesimen 5 dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 90° dan Arus 120 A

4.3.6 Hasil Pengujian Tekuk pada Spesimen 6

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 90° dengan arus sebesar 160A. Pada hasil pengujian tekuk pada spesimen 6, dengan lebar spesimen sebesar 38 mm dan tebal spesimen sebesar 10 mm. dengan *angle of bend* sebesar 180° serta diameter mandrel sebesar 40 mm. Pada spesimen uji 6 ini tidak terdapat *open defect* sama sekali. Sehingga hasil pengujian spesimen 6 ini dinyatakan lolos dikarenakan dalam standar ASME Section IX, dimana dikatakan bahwa apabila hasil uji tidak mengalami *open defect* atau kurang dari 1/8 inch (3.175 mm) akan dinyatakan lolos. Adapun hasil dari pengujian tekuk pada spesimen 6 dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Tekuk Pengelasan 90° dan Arus 160 A

4.3.7 Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tekuk

Kriteria hasil pengujian tekuk dapat diterima, apabila hasil dari *bending test* pada spesimen uji terdapat *open defect* kurang dari 1/8 inch (3,175 mm). Hasil pengujian dari pengelasan dengan variasi sudut 50° dan 70° dengan arus sebesar 120 A dan 160 A terdapat *open defect*, sedangkan pada pengelasan dengan sudut 90 serta arus 120 A dan 160 A keduanya tidak terdapat *open defect* sama sekali. Hal ini dikarenakan elektroda yang melebur secara merata sehingga semakin besar sudut groove maka elektroda cair yang diterima juga semakin banyak. Hasil dari pengujian tekuk dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen Uji

No.	Sample Mark	Width (mm)	Thickness (mm)	Diameter Mandrel (mm)	Test Results
					Open Defect (mm)
1.	50°, 120 A	38,00	10,00	40	11.05 mm ; 1.14 mm
2.	50°, 160 A	38,00	10,00	40	17.83 mm ; 3.30 mm
3.	70°, 120 A	38,00	10,00	40	1.64 mm
4.	70°, 160 A	38,00	10,00	40	2.71 mm ; 1.97 mm
5.	90°, 120 A	38,00	10,00	40	-
6.	90°, 160 A	38,00	10,00	40	-

4.4 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pada pengujian Tarik ini dilakukan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Serta pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai yang berupa kekuatan tarik dari sambungan pengelasan spesimen uji dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pengujian tarik mengukur ketahanan spesimen uji terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Pengujian ini juga berguna untuk mengetahui gaya yang bekerja pada saat batas plastis dan elastis logam. Standar yang digunakan pada pengujian ini adalah ASME *Section IX*. Pengujian tarik ini dilaksanakan di Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Kapal di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.

4.4.1 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen 1

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 50° dengan arus sebesar 120 A. dengan ukuran lebar uji material sebesar 19.46 mm serta ketebalan daerah uji 9.81 mm, sehingga didapatkan luas permukaan daerah uji (CSA) sebesar 190.90 mm². Hasil pengujian Tarik spesimen 1 ini didapatkan nilai *yield force* (F_y) adalah 69 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 88 kN. Sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 361.14 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 460.97 MPa. Hasil pengujian tarik pada spesimen 1 ini mengalami patahan pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen 1 dapat dilihat pada Tabel 4.8, serta gambar hasil dari pengujian pada spesimen 1 dapat dilihat pada Gambar 4.20.

Tabel 4. 8 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 50° dan Arus 120 A

No.	Spesifikasi Sampel					Hasil Uji Tarik		
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	C.S.A (mm ²)	F_y (kN)	F_u (kN)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Ultimate Strength</i> (MPa)	Breaking
1	19.46	9.81	190.90	69	88	361.14	460.97	BM



Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 50° dan Arus 120 A

4.4.2 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen 2

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 50° dengan arus sebesar 160A. dengan ukuran lebar uji material sebesar 19.33 mm serta ketebalan daerah uji 9.49 mm, sehingga didapatkan luas permukaan daerah uji (CSA) sebesar 183.44 mm². Hasil pengujian Tarik spesimen 2 ini didapatkan nilai *yield force* (F_y) adalah 69 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 89 kN. Sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 376.14 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 485.17 MPa. Hasil pengujian tarik pada spesimen 2 ini mengalami patahan pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen 2 dapat dilihat pada Tabel 4.9, serta gambar hasil dari pengujian pada spesimen 2 dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Tabel 4. 9 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 50° dan Arus 160 A

No.	Spesifikasi Sampel					Hasil Uji Tarik		
	Lebar	Tebal	C.S.A	F _y	F _u	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)			
2	19.33	9.49	183.44	69	89	376.14	485.17	BM



Gambar 4. 21 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 50° dan Arus 160 A

4.4.3 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen 3

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 70° dengan arus sebesar 120A. dengan ukuran lebar uji material sebesar 19.18 mm serta ketebalan daerah uji 9.62 mm, sehingga didapatkan luas permukaan daerah uji (CSA) sebesar 184.51 mm². Hasil pengujian Tarik spesimen 3 ini didapatkan nilai *yield force* (F_y) adalah 69 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 85 kN. Sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 373.96 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 460.68 MPa. Hasil pengujian tarik pada spesimen 3 ini mengalami patahan pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen 3 dapat dilihat pada Tabel 4.10, serta gambar hasil dari pengujian pada spesimen 3 dapat dilihat pada Gambar 4.22.

Tabel 4. 10 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 70° dan Arus 120 A

No.	Spesifikasi Sampel					Hasil Uji Tarik		
	Lebar	Tebal	C.S.A	F_y	F_u	<i>Yield Strength</i>	<i>Ultimate Strength</i>	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
3	19.18	9.62	184.51	69	85	373.96	460.68	BM



Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 70° dan Arus 120 A

4.4.4 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen 4

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 70° dengan arus sebesar 160A. dengan ukuran lebar uji material sebesar 18.56 mm serta ketebalan daerah uji 9.60 mm, sehingga didapatkan luas permukaan daerah uji (CSA) sebesar 178.18 mm^2 . Hasil pengujian Tarik spesimen 4 ini didapatkan nilai *yield force* (F_y) adalah 64 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 86 kN. Sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 359.19 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 482.66 MPa. Hasil pengujian tarik pada spesimen 4 ini mengalami patahan pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen 4 dapat dilihat pada Tabel 4.11, serta gambar hasil dari pengujian pada spesimen 4 dapat dilihat pada Gambar 4.23.

Tabel 4. 11 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 70° dan Arus 160 A

No.	Spesifikasi Sampel					Hasil Uji Tarik		
	Lebar	Tebal	C.S.A	F_y	F_u	<i>Yield Strength</i>	<i>Ultimate Strength</i>	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm^2)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
4	18.56	9.60	178.18	64	86	359.19	482.66	BM



Gambar 4. 23 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 70° dan Arus 160 A

4.4.5 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen 5

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 90° dengan arus sebesar 120A. dengan ukuran lebar uji material sebesar 19.14 mm serta ketebalan daerah uji 9.78 mm, sehingga didapatkan luas permukaan daerah uji (CSA) sebesar 187.19 mm². Hasil pengujian Tarik spesimen 5 ini didapatkan nilai *yield force* (F_y) adalah 66 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 86 kN. Sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 352.58 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 459.43 MPa. Hasil pengujian tarik pada spesimen 5 ini mengalami patahan pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen 5 dapat dilihat pada Tabel 4.12, serta gambar hasil dari pengujian pada spesimen 5 dapat dilihat pada Gambar 4.24.

Tabel 4. 12 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 90° dan Arus 120 A

No.	Spesifikasi Sampel					Hasil Uji Tarik		
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	C.S.A (mm ²)	F_y (kN)	F_u (kN)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Ultimate Strength</i> (MPa)	Breaking
5	19.14	9.78	187.19	66	86	352.58	459.43	BM



Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 90° dan Arus 120 A

4.4.6 Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen 6

Spesimen ini menggunakan variasi *groove* sebesar 90° dengan arus sebesar 160A. dengan ukuran lebar uji material sebesar 18.85 mm serta ketebalan daerah uji 9.83 mm, sehingga didapatkan luas permukaan daerah uji (CSA) sebesar 185.30 mm². Hasil pengujian Tarik spesimen 6 ini didapatkan nilai *yield force* (F_y) adalah 68 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 89 kN. Sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 366.97 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 480.30 MPa. Hasil pengujian tarik pada spesimen 6 ini mengalami patahan pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen 6 dapat dilihat pada Tabel 4.13, serta gambar hasil dari pengujian pada spesimen 6 dapat dilihat pada Gambar 4.25.

Tabel 4. 13 Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan 90° dan Arus 160 A

No.	Spesifikasi Sampel					Hasil Uji Tarik		
	Lebar	Tebal	C.S.A	F_y	F_u	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Ultimate Strength (MPa)</i>	Breaking
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
6	18.85	9.83	185.30	68	89	366.97	480.30	BM

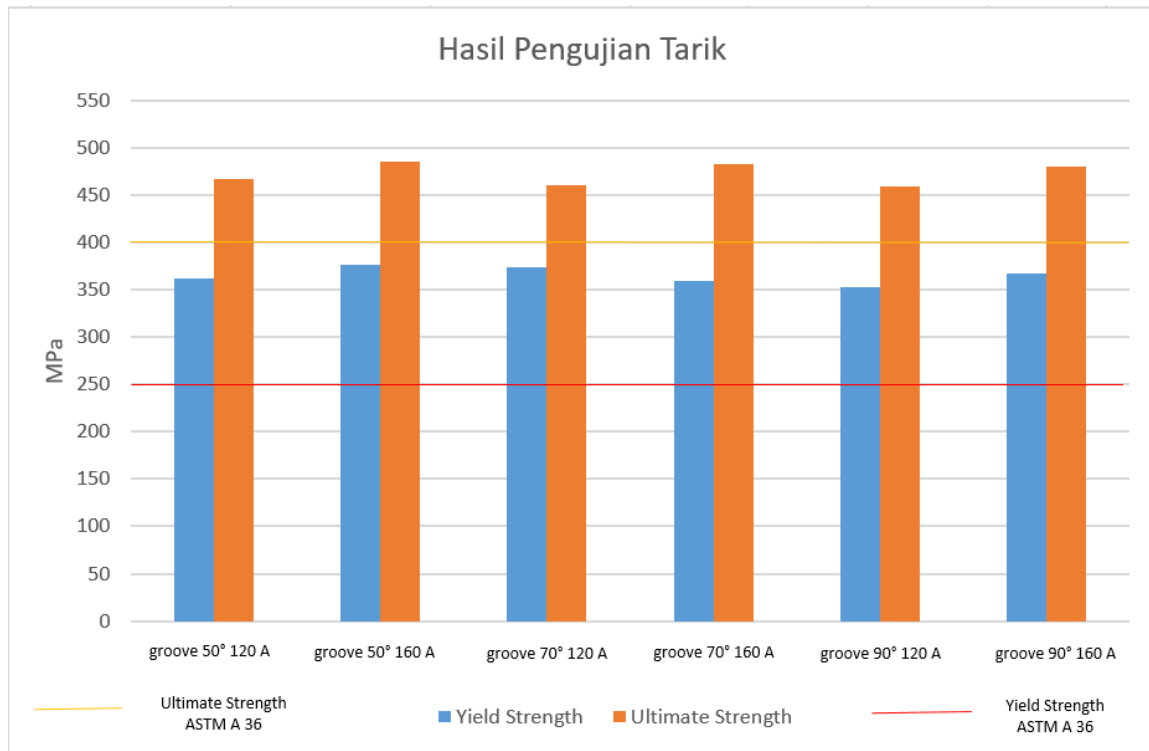


Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Tarik Pengelasan 90° dan Arus 160 A

4.4.7 Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pada penelitian ini, pengujian kekuatan tarik pada semua variasi pengelasan memenuhi kriteria. Hal ini dikarenakan semua nilai kekuatan tarik yang didapat lebih besar dari kekuatan tarik minimum material baja ASTM A36 sebesar 250 MPa untuk yield strength dan 400 MPa untuk ultimate strength. Kriteria dari kekuatan tarik yield strength & ultimate strength harus memenuhi dari kekuatan tarik minimum baja ASTM A36 pada kedua nilai tersebut. Jika hanya salah satu nilai yang memenuhi, maka hasil kekuatan tarik dianggap tidak masuk ke dalam kriteria. Nilai yield strength dan ultimate strength terendah didapatkan dari variasi pengelasan menggunakan groove 90° serta arus 120A, yaitu berturut-turut sebesar 352.58 MPa dan 459.43 MPa. Untuk yield strength dan ultimate strength tertinggi didapatkan dari variasi pengelasan menggunakan groove 50° serta arus 160A, yaitu berturut-turut sebesar 376.14 MPa dan 485.17 MPa. Kedua hasil pengujian tersebut masih berada di atas batas kriteria kekuatan Tarik baja ASTM A36 pada yield strength dan ultimate strength. Kemudian juga, pengujian kekuatan tarik pada semua variasi pengelasan memiliki daerah breaking point pada base metal.

Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa heat input dan groove memiliki pengaruh pada hasil kekuatan tarik. Dikarenakan nilai kekuatan tarik akan berkurang apabila meningkatnya sudut groove pada pengelasan (Singh, 2019), serta nilai kekuatan tarik akan semakin besar apabila arus yang dihasilkan pada pengelasan semakin besar (Natalapati, 2016). Hal itu dikarenakan penggunaan heat input yang lebih besar akan membuat material weld metal akan semakin solid (Li, 2018). Penggunaan arus listrik yang besar menyebabkan butiran logam cair yang terbawa akan menjadi lebih halus. Sehingga, semakin halus butiran logam yang terbawa akan memberikan nilai kekuatan tarik yang lebih besar. Hasil pengujian kekuatan tarik dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Hasil Kekuatan Tarik Variasi Sudut Groove dan Arus

4.5 Pengujian Metalografi

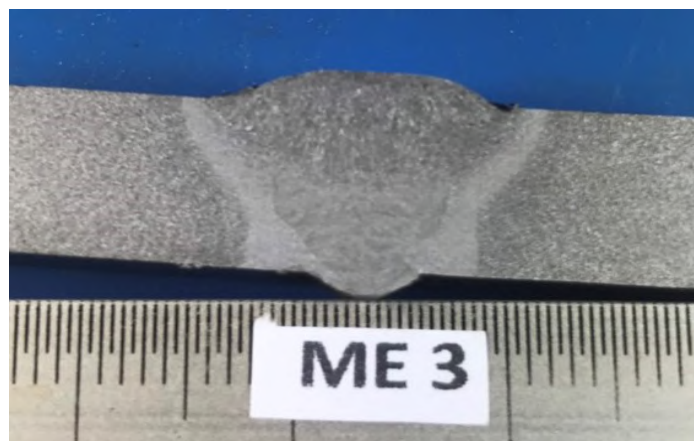
Pada pengujian Metalografi ini terbagi menjadi dua yaitu foto struktur makro dan foto struktur mikro. Untuk foto struktur makro dilakukan dengan pembesaran 7x dengan menggunakan kamera DSLR untuk melihat daerah *base metal*, HAZ serta *weld metal*. Tujuan dari foto struktur makro tersebut ialah mengukur panjang daerah HAZ pada hasil pengelasan tersebut. Untuk pengambilan gambar struktur makro ini bertempat di Lab. Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Selanjutnya untuk foto struktur mikro dilakukan dengan pembesaran 100x dan 400x menggunakan mikroskop yang bertujuan untuk menghitung persentase bagian gelap (*pearlite*) dan bagian putih (*ferrite*) pada daerah *base metal*, *weld metal* dan HAZ

4.5.1 Hasil Struktur Makro Spesimen Uji

Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan yang di etsa dari spesimen yang telah dipoles, proses pemolesan (*polishing*) pada proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pemotongan secara berulang-ulang. Pada beberapa proses, partikel-partikel tersebut disatukan sehingga berbentuk blok dimana permukaan yang ditonjolkan adalah permukaan kerja. Partikel itu dilengkapi dengan partikel abrasif yang menonjol untuk membentuk titik tajam yang sangat banyak. Proses pemolesan tersebut menggunakan kertas gosok (*abrasive paper*) dari grade 80, 150, 240, 360, 500, 600, 800, 1000, 1500 serta 2000 dan apabila permukaan spesimen sudah halus dan mengkilap maka selanjutnya dilakukan proses pengetsaan yaitu untuk melihat struktur mikro specimen tersebut, proses ini menggunakan asam kuat yaitu HNO_3 dan Alkohol dengan perbandingan 1 : 10, proses etsa harus dilakukan secara hati hati agar tidak menimbulkan deformasi plastis yang dapat merusak struktur makro dan mikro.

4.5.1.1 Struktur Makro Pada *Groove* 50° dan Arus 120 A

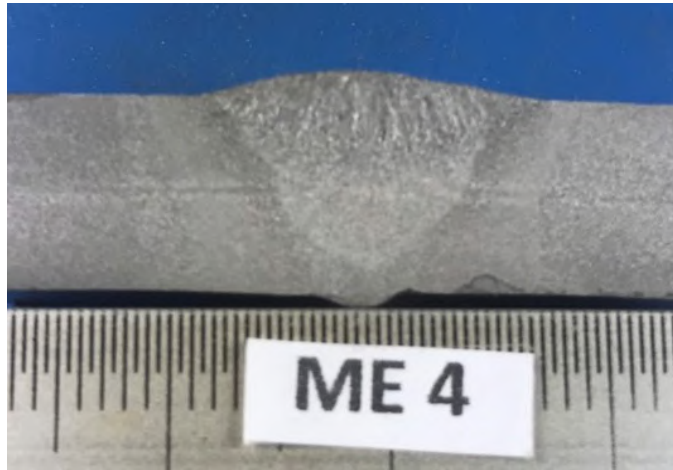
Dari foto struktur makro spesimen pada Gambar 4.27, didapatkan foto pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las porositas yang terjadi. Kemudian dapat dikatakan juga bahwa panjang daerah HAZ sebesar 16 mm.



Gambar 4. 27 Struktur Makro Groove 50° dan Arus 120 A

4.5.1.2 Struktur Makro Pada *Groove* 50° dan Arus 160 A

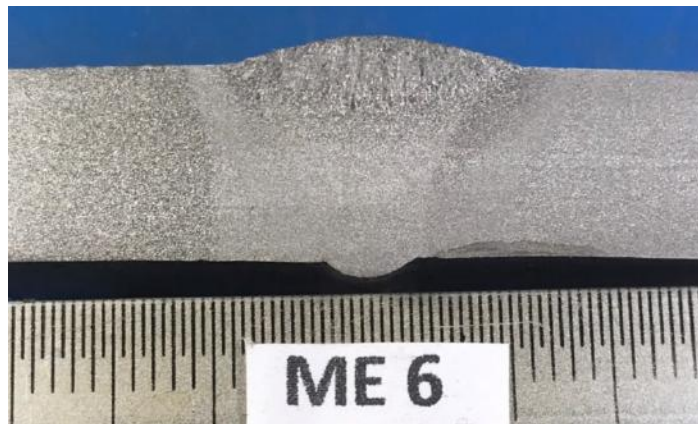
Dari foto struktur makro spesimen pada Gambar 4.28, didapatkan foto pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las porositas yang terjadi. Kemudian dapat dikatakan juga bahwa panjang daerah HAZ sebesar 16.5 mm.



Gambar 4. 28 Struktur Makro Groove 50° dan Arus 160 A

4.5.1.3 Struktur Makro Pada *Groove* 70° dan Arus 120 A

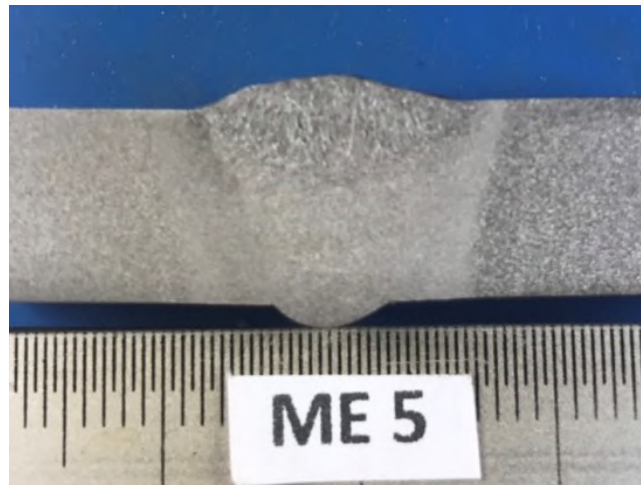
Dari foto struktur makro spesimen pada Gambar 4.29, didapatkan foto pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las porositas yang terjadi. Kemudian dapat dikatakan juga bahwa panjang daerah HAZ sebesar 17.5 mm



Gambar 4. 29 Struktur Makro Groove 70° dan Arus 120 A

4.5.1.4 Struktur Makro Pada *Groove* 70° dan Arus 160 A

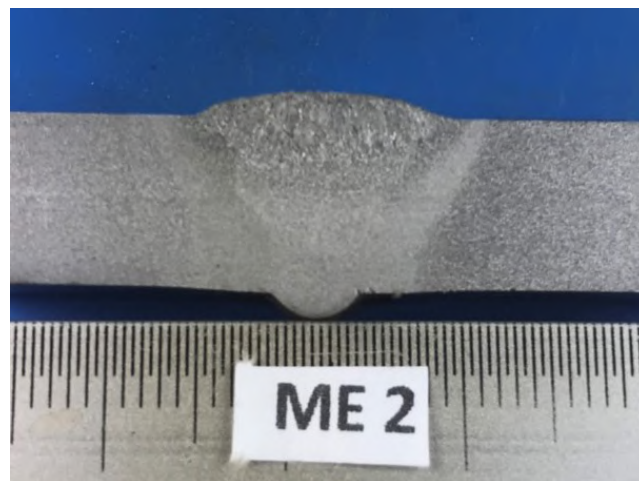
Dari foto struktur makro spesimen pada Gambar 4.30, didapatkan foto pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las porositas yang terjadi. Kemudian dapat dikatakan juga bahwa panjang daerah HAZ sebesar 18 mm



Gambar 4. 30 Struktur Makro Groove 70° dan Arus 160 A

4.5.1.5 Struktur Makro Pada *Groove* 90° dan Arus 120 A

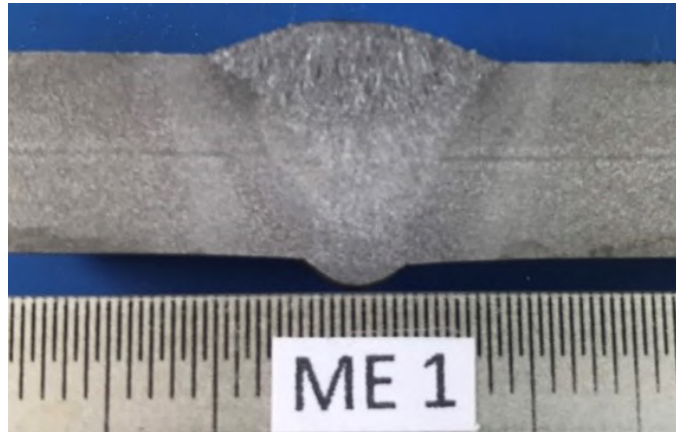
Dari foto struktur makro spesimen pada Gambar 4.31, didapatkan foto pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las porositas yang terjadi. Kemudian dapat dikatakan juga bahwa panjang daerah HAZ sebesar 18.5 mm



Gambar 4. 31 Struktur Makro Groove 90° dan Arus 120 A

4.5.1.6 Struktur Makro Pada *Groove* 90° dan Arus 160 A

Dari foto struktur makro spesimen pada Gambar 4.32, didapatkan foto pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat pada gambar bahwa terdapat cacat las porositas yang terjadi. Kemudian dapat dikatakan juga bahwa panjang daerah HAZ sebesar 19 mm



Gambar 4. 32 Struktur Makro Groove 90° dan Arus 160 A

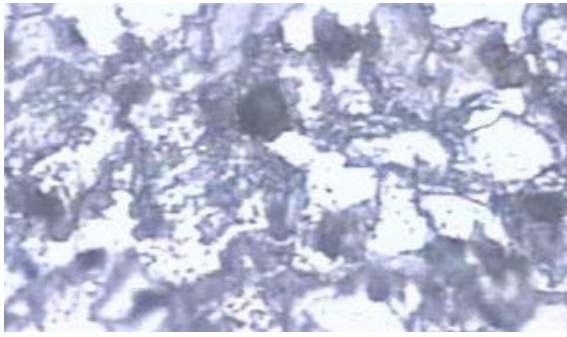
4.5.2 Hasil dan Analisa Struktur Mikro Specimen Uji

4.5.2.1 Struktur Mikro Pada *Groove* 50° dan Arus 120 A

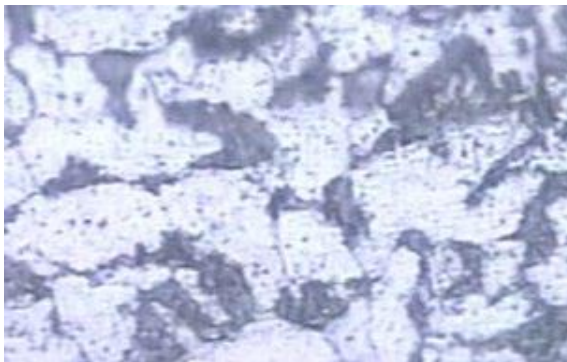
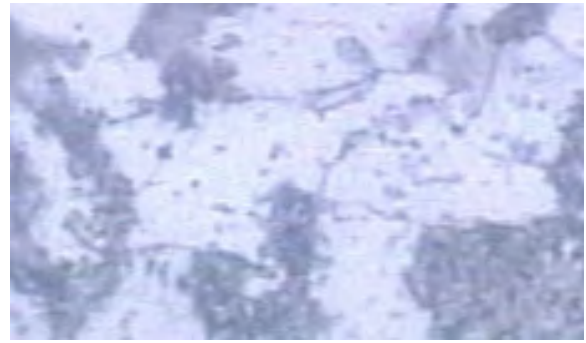
Pengujian struktur mikro groove 50° dan arus 120 A dengan bentuk single V menunjukkan hasil pada perbesaran 100x dan 400x, yaitu pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.33.

Tabel 4. 14 Persentase Pearliite dan Ferrite Groove 50° dan Arus 120 A

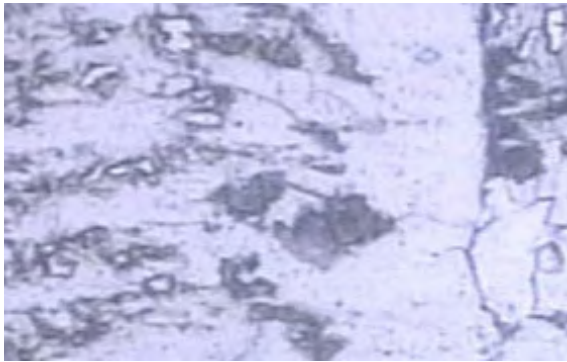
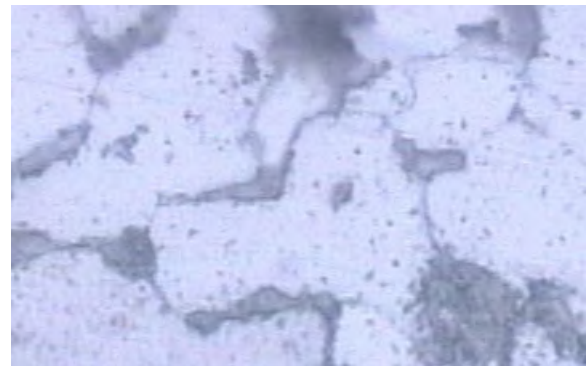
No	Daerah	<i>Ferrite</i> (%)	<i>Pearlite</i> (%)
1	<i>Base Metal</i>	54	46
2	HAZ	60	40
3	<i>Weld Metal</i>	68	32



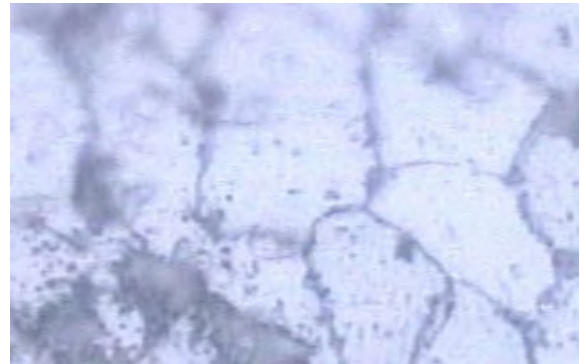
(a) **Base Metal**



(b) **HAZ**



(c) **Weld Metal**



Gambar 4. 33 Struktur Mikro Groove 50° dan Arus 120A

4.5.2.2 Struktur Mikro Pada Groove 50° dan Arus 160 A

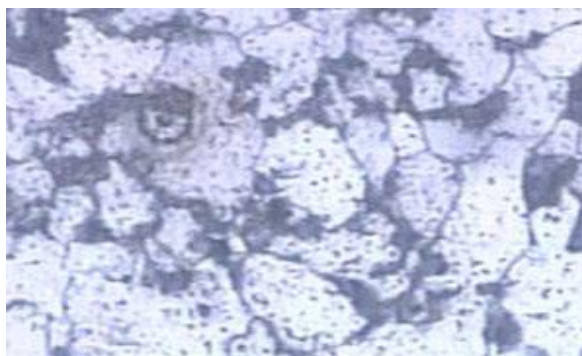
Pengujian struktur mikro groove 50° dan arus 160 A dengan bentuk single V menunjukkan hasil pada perbesaran 100x dan 400x, yaitu pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.34.

Tabel 4. 15 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 50° dan Arus 120A

No	Daerah	Ferrite (%)	Pearlite (%)
1	<i>Base Metal</i>	51	49
2	HAZ	56	44
3	<i>Weld Metal</i>	66	34

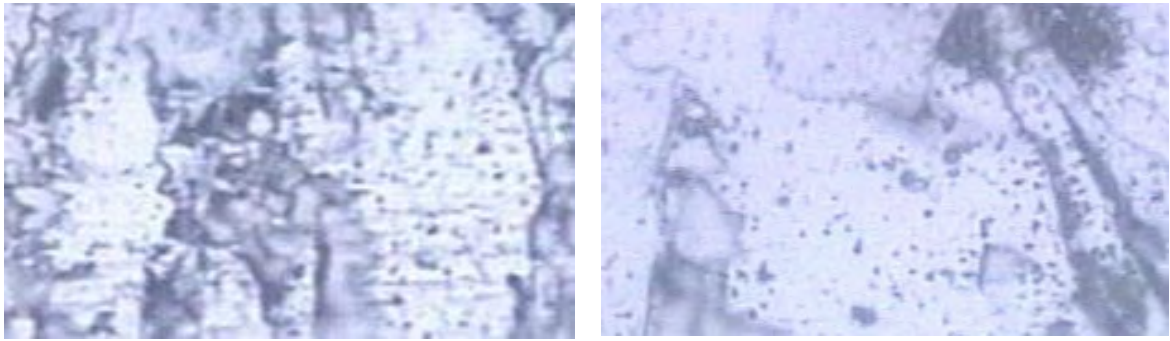


(a) Base Metal



(b) HAZ





(c) Weld Metal

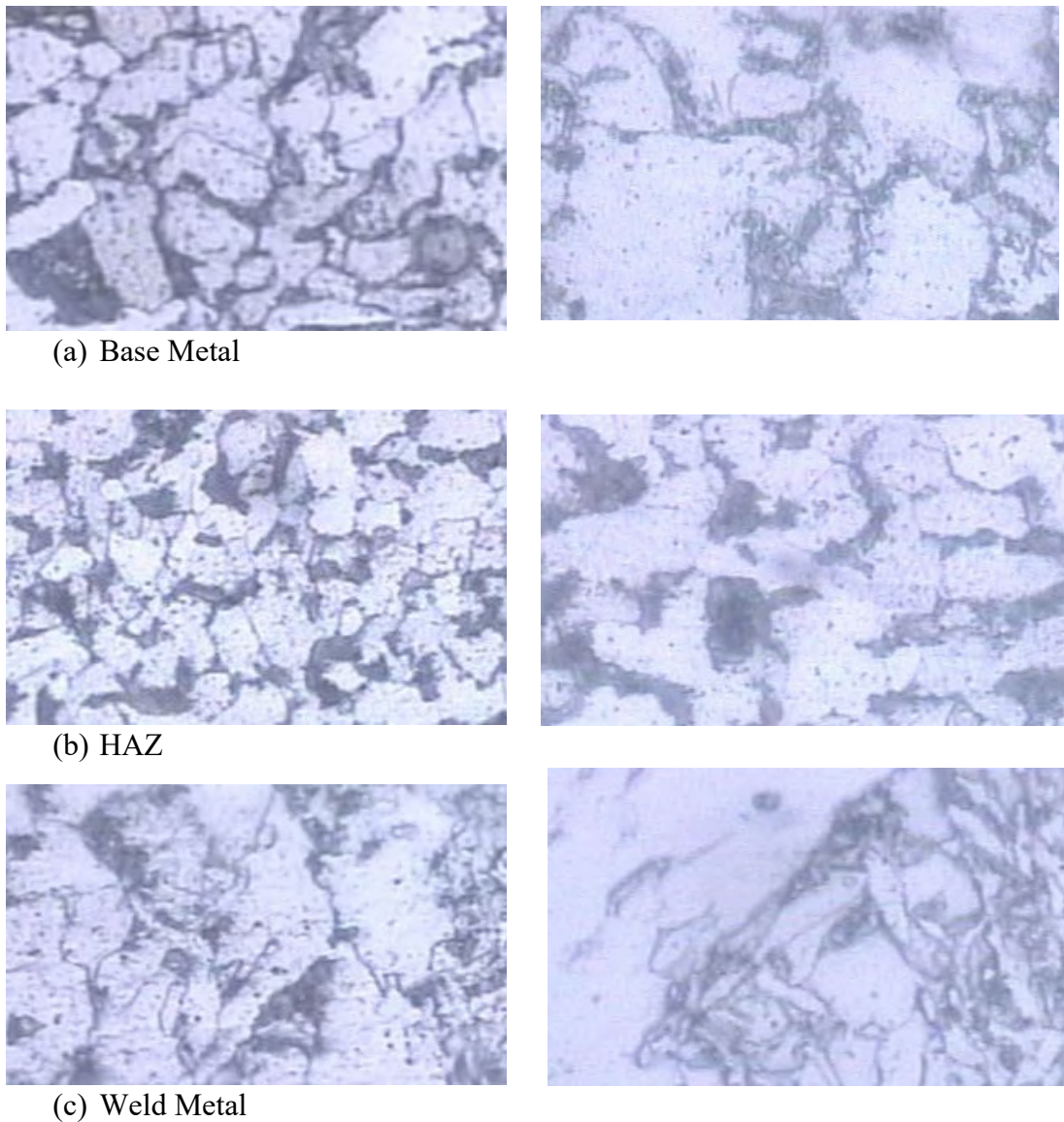
Gambar 4. 34 Struktur Mikro Groove 50° dan Arus 160A

4.5.2.3 Struktur Mikro Pada *Groove* 70° dan Arus 120 A

Pengujian struktur mikro groove 70° dan arus 120 A dengan bentuk single V menunjukkan hasil pada perbesaran 100x dan 400x, yaitu pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.35.

Tabel 4. 16 Persentase Pearline dan Ferrite Groove 70° dan Arus 120A

No	Daerah	<i>Ferrite</i> (%)	<i>Pearlite</i> (%)
1	<i>Base Metal</i>	55	45
2	HAZ	62	38
3	<i>Weld Metal</i>	71	29



Gambar 4. 35 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 120A

4.5.2.4 Struktur Mikro Pada *Groove* 70° dan Arus 160 A

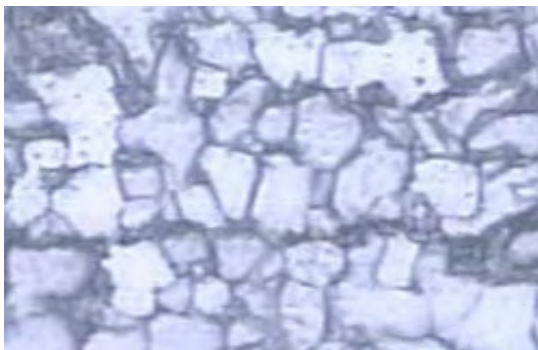
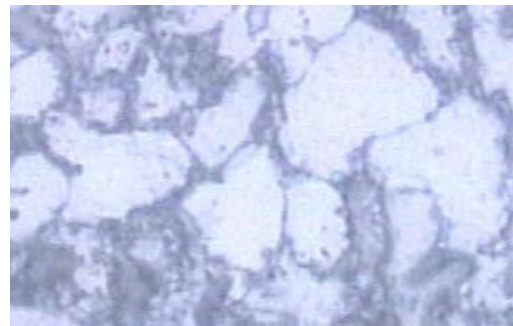
Pengujian struktur mikro groove 70° dan arus 160 A dengan bentuk single V menunjukkan hasil pada perbesaran 100x dan 400x, yaitu pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.36.

Tabel 4. 17 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 70° dan Arus 160A

No	Daerah	Ferrite (%)	Pearlite (%)
1	<i>Base Metal</i>	53	47
2	HAZ	57	43
3	<i>Weld Metal</i>	69	31



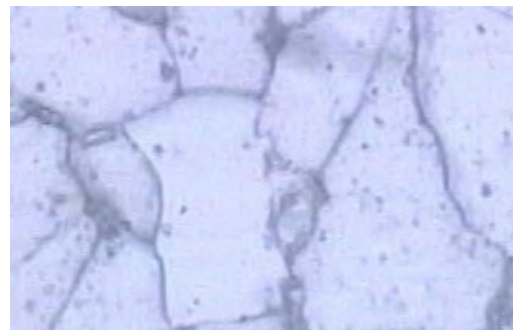
(a) Base Metal



(b) HAZ



(c) Weld Metal



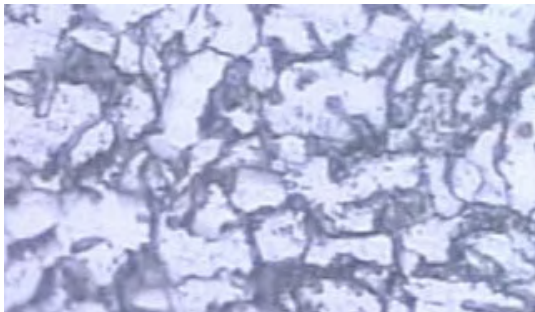
Gambar 4. 36 Struktur Mikro Groove 70° dan Arus 160A

4.5.2.5 Struktur Mikro Pada *Groove* 90° dan Arus 120 A

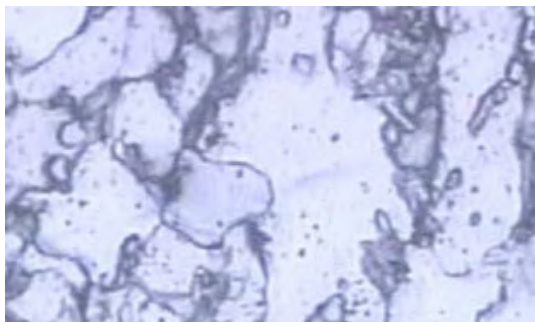
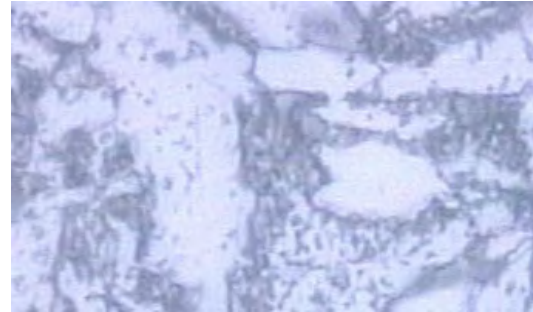
Pengujian struktur mikro *groove* 90° dan arus 120 A dengan bentuk single V menunjukkan hasil pada perbesaran 100x dan 400x, yaitu pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.37.

Tabel 4. 18 Persentase Pearlite dan Ferrite *Groove* 90° dan Arus 120A

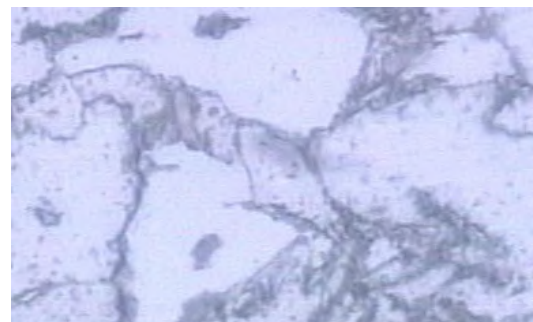
No	Daerah	<i>Ferrite</i> (%)	<i>Pearlite</i> (%)
1	<i>Base Metal</i>	57	43
2	HAZ	65	35
3	<i>Weld Metal</i>	74	26

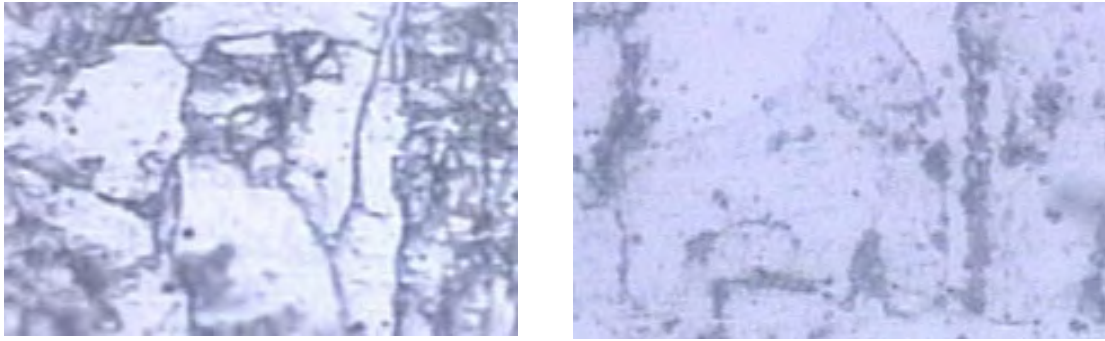


(a) Base Metal



(b) HAZ





(c) Weld Metal

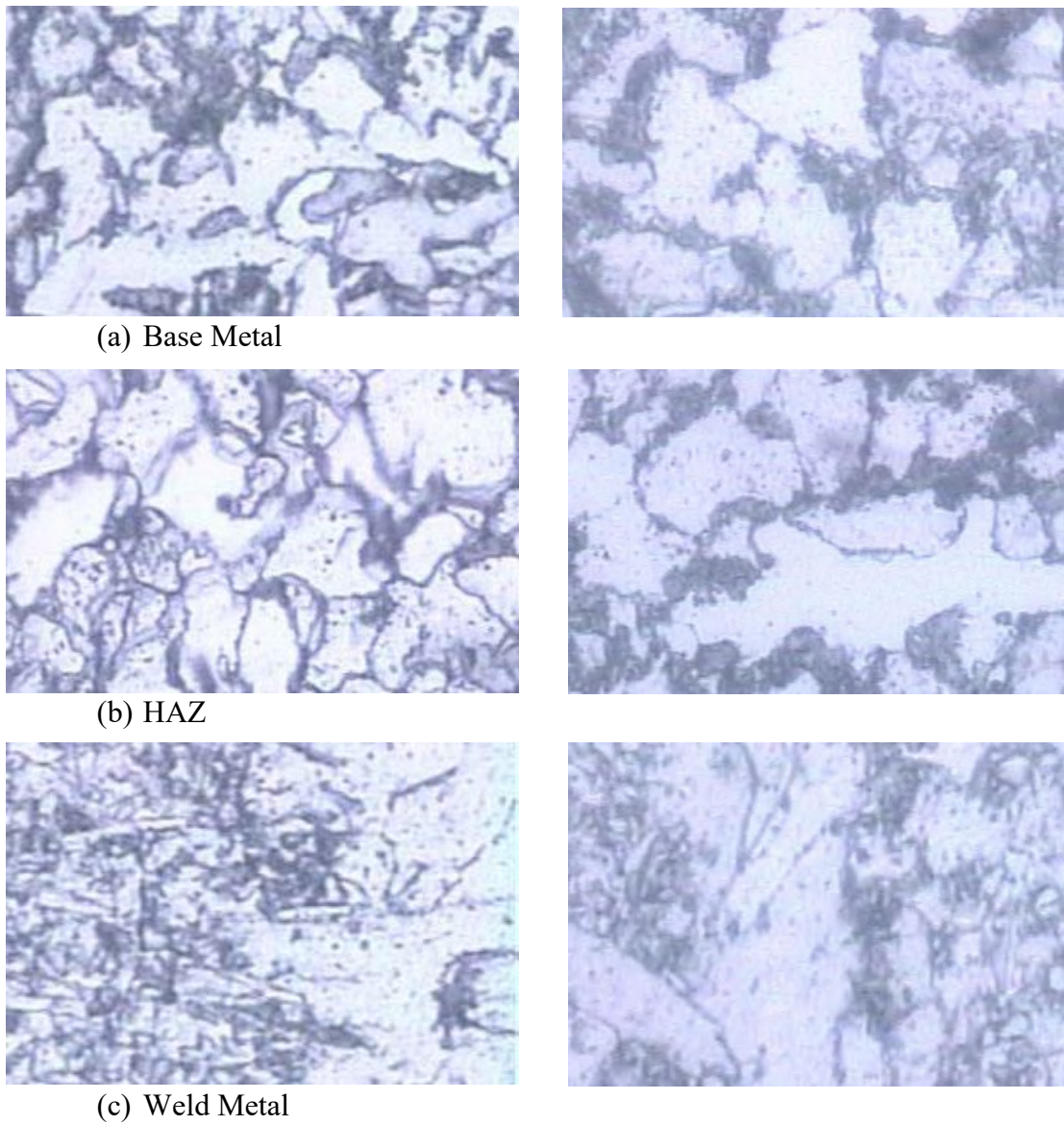
Gambar 4. 37 Struktur Mikro Groove 90° dan Arus 120A

4.5.2.6 Struktur Mikro Pada *Groove* 90° dan Arus 160 A

Pengujian struktur mikro groove 90° dan arus 160 A dengan bentuk single V menunjukkan hasil pada perbesaran 100x dan 400x, yaitu pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada gambar tersebut dapat terlihat butiran *ferrite* dengan warna lebih terang, sedangkan butiran *pearlite* cenderung lebih gelap. Adapun untuk persentase kandungan ferrite dan pearlite dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.38.

Tabel 4. 19 Persentase Pearlite dan Ferrite Groove 90° dan Arus 160A

No	Daerah	<i>Ferrite</i> (%)	<i>Pearlite</i> (%)
1	<i>Base Metal</i>	54	46
2	HAZ	60	40
3	<i>Weld Metal</i>	72	28



Gambar 4. 38 Struktur Mikro Groove 90° dan Arus 160A

4.5.3 Analisa Hasil Struktur Makro dan Mikro

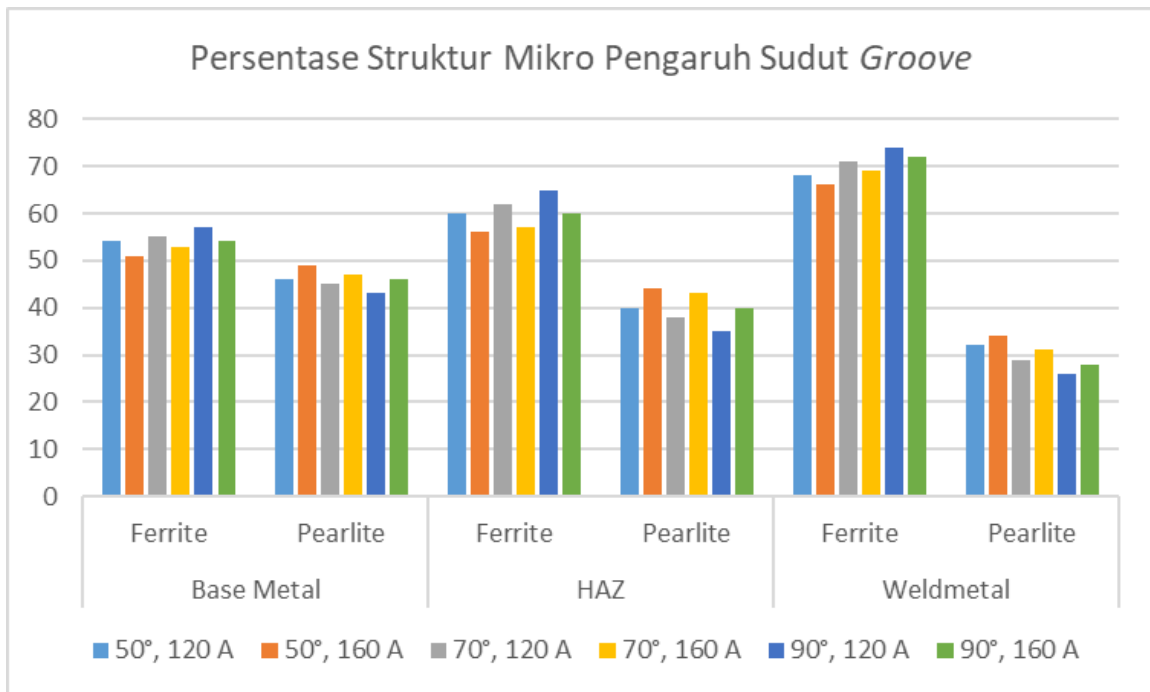
Hasil struktur makro pada pengelasan GMAW tersebut, seperti pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), dan *weld Metal*. Dapat dilihat bahwa semakin besar sudut *groove* maka daerah HAZ semakin besar. Serta semakin besar lebar HAZ dipengaruhi oleh arus

pengelasan yang dikenakan pada material. Semakin besar arus pengelasan, maka semakin besar pula luasan HAZ yang terbentuk. Hal ini dapat mengubah sifat mekanik dari material. Perubahan sifat mekanik ini akibat dari laju pendinginan pada daerah HAZ yang relatif lebih cepat sehingga menyebabkan berubahnya struktur kristal HAZ menjadi lebih besar. Semakin besar struktur Kristal maka material akan semakin keras. Dapat dilihat hasil foto makro HAZ terkecil yaitu pada groove 50° dengan arus 120 A sebesar 16 mm, dan terbesar groove 90° dengan arus 160 A sebesar 19 mm.

Serta hasil dari pengamatan struktur mikro, pada keenam spesimen terdapat struktur *ferrite* dan *pearlite* pada *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kandungan *ferrite* tertinggi pada spesimen dengan sudut *groove* 90° dan arus 120 A yaitu dengan kandungan *ferrite* sebesar 74% pada *weld metal*. Sedangkan untuk kandungan *ferrite* terendah pada spesimen groove 50° dan arus 160 A dengan kandungan *ferrite* sebesar 66% pada *weld metal*. Hal ini disebabkan semakin besar sudut *groove* maka semakin banyak kandungan *ferrite* nya. Serta semakin besar arus pengelasan yang diberikan maka mengurangi kandungan *ferrite* dan menaikkan kandungan *pearlite*. Untuk detail hasil dari pengamatan foto mikro pada keenam spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.20, serta analisa foto mikro berupa grafik pada Gambar 4.39.

Tabel 4. 20 Persentase Pearlite dan Ferrite pada Semua Spesimen

Specimen	Base Metal		HAZ		Weldmetal	
	Ferrite	Pearlite	Ferrite	Pearlite	Ferrite	Pearlite
50°, 120 A	54	46	60	40	68	32
50°, 160 A	51	49	56	44	66	34
70°, 120 A	55	45	62	38	71	29
70°, 160 A	53	47	57	43	69	31
90°, 120 A	57	43	65	35	74	26
90°, 160 A	54	46	60	40	72	28



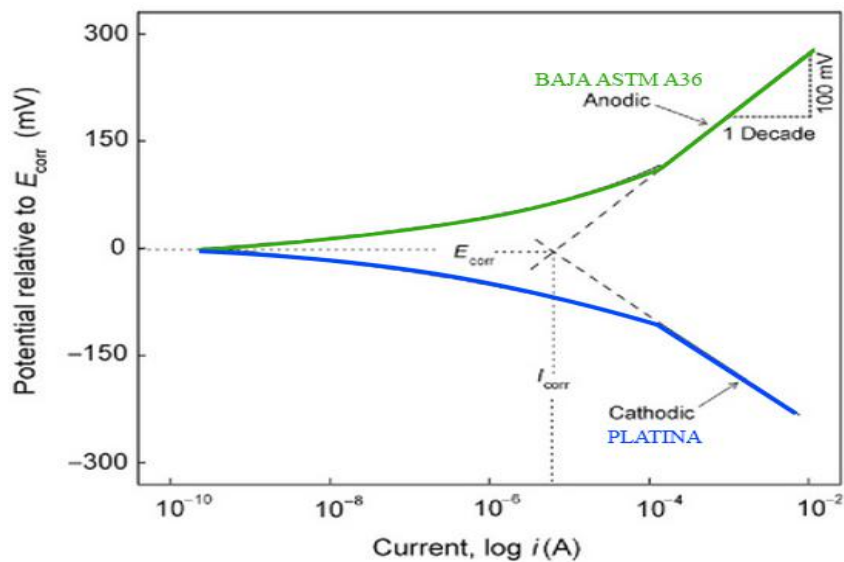
Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan Struktur Ferrite dan Pearlite pada Keenam Spesimen Uji

4.6 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI – ITS. Pada penelitian laju korosi menggunakan metode sel tiga elektroda, karena sel ini dapat digunakan dalam berbagai macam percobaan korosi Dalam kondisi ideal, akurasi dari metode ini sama atau lebih besar dari metode konvensional penurunan berat. Dengan teknik ini memungkinkan untuk mengukur laju korosi sangat rendah, dan dapat digunakan untuk terus memonitor tingkat korosi dari suatu system. Dengan pengeplotan diagram polarisasi, dapat ditentukan harga I_o . Nilai I_{cor} sama dengan nilai I_o . Setelah mendapatkan nilai I_{cor} maka besarnya laju korosi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Faraday. Perhitungan pengujian korosi dengan sel tiga elektroda menggunakan bantuan software NOVA. Data yang diperlukan untuk semua perhitungan antara lain yaitu massa jenis = 7.85 g/cm^3 , equivalent weight = 54.4691 g/mol , dan area yang terendam oleh larutan elektrolit sebesar 1 cm^2 , dari hasil pengujian akan didapat diagram yang menunjukkan potensial dan kerapatan arus yang digunakan oleh peralatan uji korosi terhadap specimen untuk menentukan laju korosi

material, sumbu y sebagai kerapatan arus dan sumbu x sebagai potensial, waktu yang dibutuhkan sekitar 15 menit lalu diagram tersebut akan menyusun titik – titik dengan menyesuaikan potensial serta kerapatan arus dengan waktu yang telah ditentukan. Kemudian ditarik garis lurus sebanyak 2 garis dan bersilangan.

Dari grafik tersebut dapat dibaca yaitu dengan melihat diagram tafel analisis antara potensial dan Log merupakan grafik antara reaksi anoda dan reaksi katoda, dapat dilihat bahwa garis yang bersilangan merupakan kerapatan arus, potongan garis dapat di peroleh dengan perpanjangan garis awal sebelum mengalami deformasi arah.



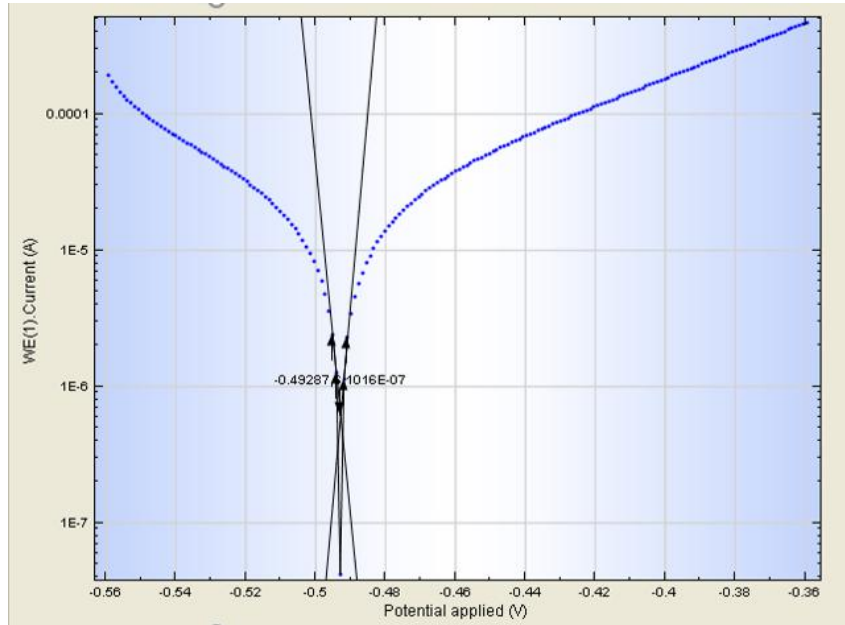
Gambar 4. 40 Diagram Tafel

4.6.1 Prediksi Laju Korosi Pada Spesimen 1

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 50° serta arus 120 A dihitung prediksi laju korosinya, hasil yang didapatkan dari perhitungan software NOVA yaitu nilai potensialnya, dengan rincian sebagai berikut. Diperoleh data analisa E_{corr} sebesar -492.870 mV, I_{corr} sebesar 11.1410 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan laju korosi sebesar 0.25284 mm/year. Hasil dari pengujian ini masuk dalam kategori *good*. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.21 serta untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.41.

Tabel 4. 21 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 120 A

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Sudut <i>Groove</i> 50 dengan Arus 120 A	-492.87	11.1410	0.252284



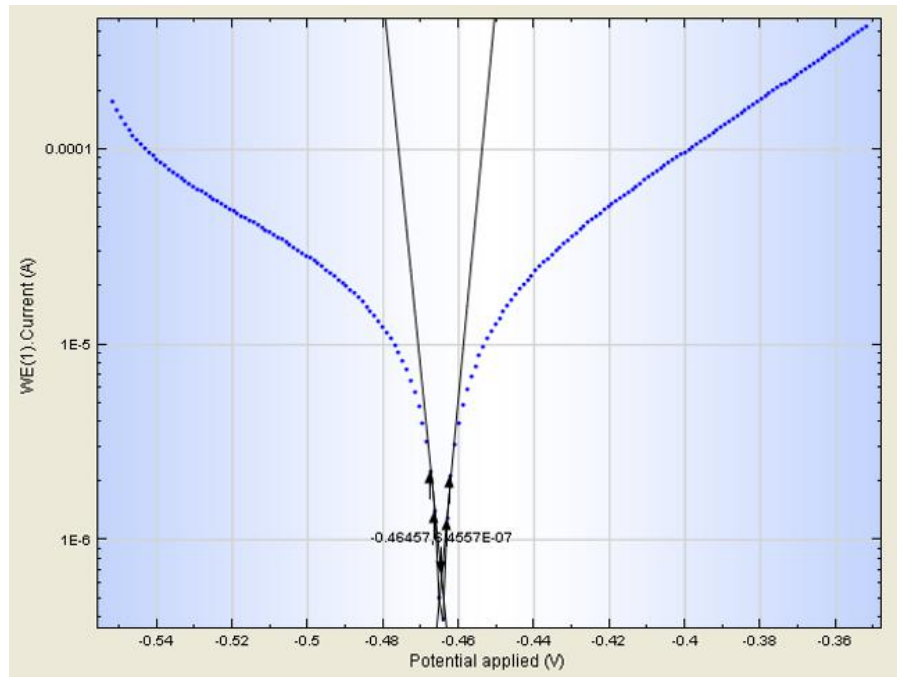
Gambar 4. 41 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 120 A

4.6.2 Prediksi Laju Korosi Pada Spesimen 2

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 50° serta arus 160 A dihitung prediksi laju korosinya, hasil yang didapatkan dari perhitungan software NOVA yaitu nilai potensialnya, dengan rincian sebagai berikut. Diperoleh data analisa E_{corr} sebesar -464.570 mV, I_{corr} sebesar 11.9190 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan laju korosi sebesar 0.27049 mm/year. Hasil dari pengujian ini masuk dalam kategori *good*. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.22 serta untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.42.

Tabel 4. 22 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 160 A

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mppy)
Sudut <i>Groove</i> 50 dengan Arus 160 A	-464.57	11.9190	0.27049



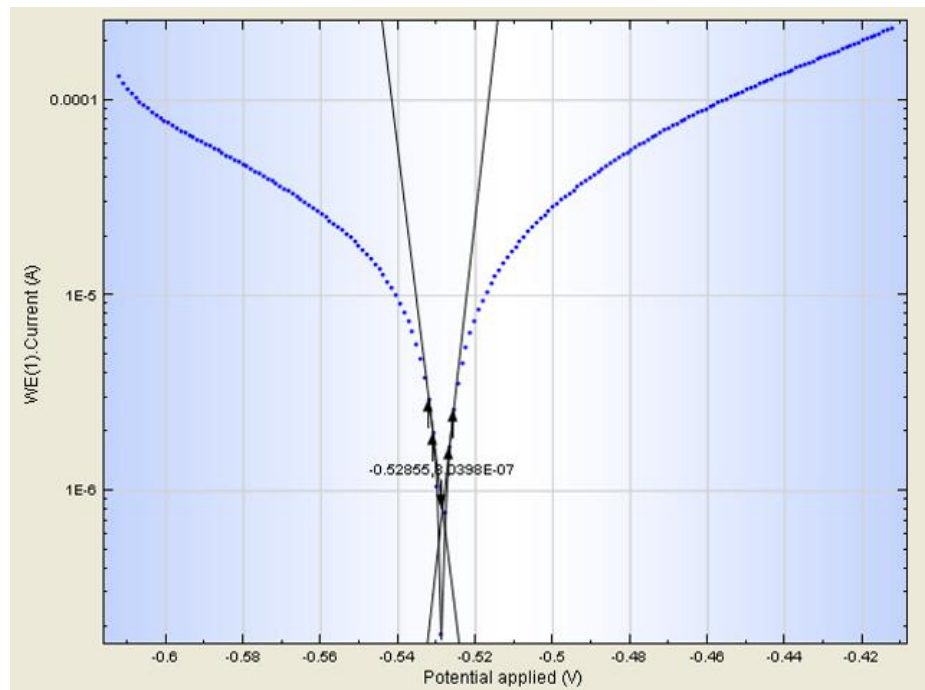
Gambar 4. 42 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 50 dengan Arus 160 A

4.6.3 Prediksi Laju Korosi Pada Spesimen 3

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 70° serta arus 120 A dihitung prediksi laju korosinya, hasil yang didapatkan dari perhitungan software NOVA yaitu nilai potensialnya, dengan rincian sebagai berikut. Diperoleh data analisa E_{corr} sebesar -528.550 mV, i_{corr} sebesar 4.26840 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan laju korosi sebesar 0.096868 mm/year. Hasil dari pengujian ini masuk dalam kategori *excellent*. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.23 serta untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.43.

Tabel 4. 23 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 120 A

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Sudut <i>Groove</i> 70 dengan Arus 120 A	-528.55	4.2684	0.096868



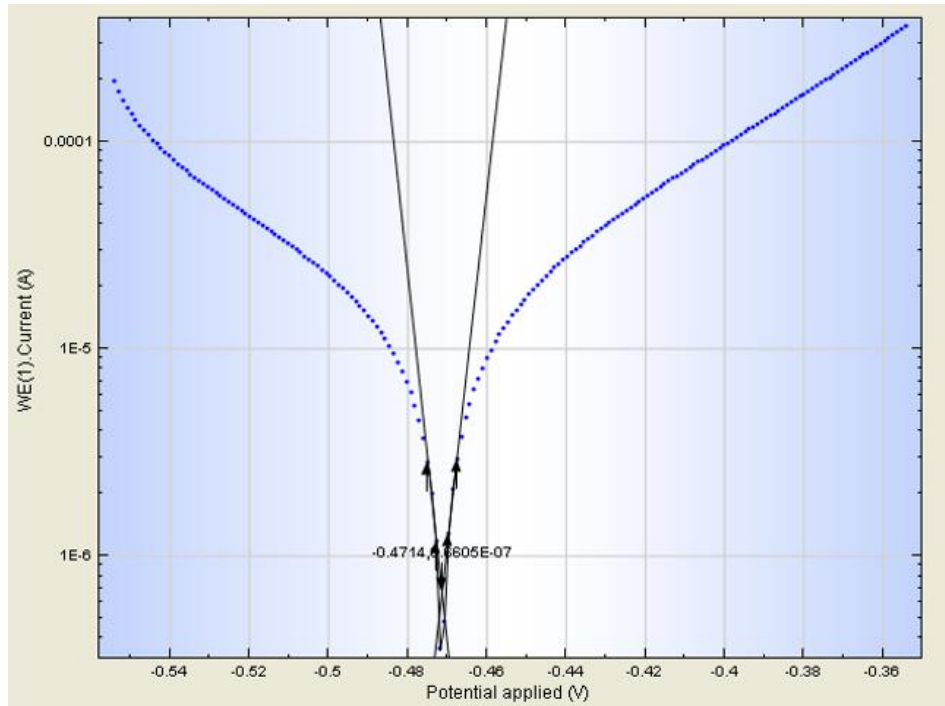
Gambar 4. 43 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 120 A

4.6.4 Prediksi Laju Korosi Pada Spesimen 4

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 70° serta arus 160 A dihitung prediksi laju korosinya, hasil yang didapatkan dari perhitungan software NOVA yaitu nilai potensialnya, dengan rincian sebagai berikut. Diperoleh data analisa E_{corr} sebesar -471.400 mV, I_{corr} sebesar 5.73570 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan laju korosi sebesar 0.13017 mm/year. Hasil dari pengujian ini masuk dalam kategori *good*. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.24 serta untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.44.

Tabel 4. 24 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 160 A

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Sudut <i>Groove</i> 70 dengan Arus 160 A	-471.40	5.73570	0.13017



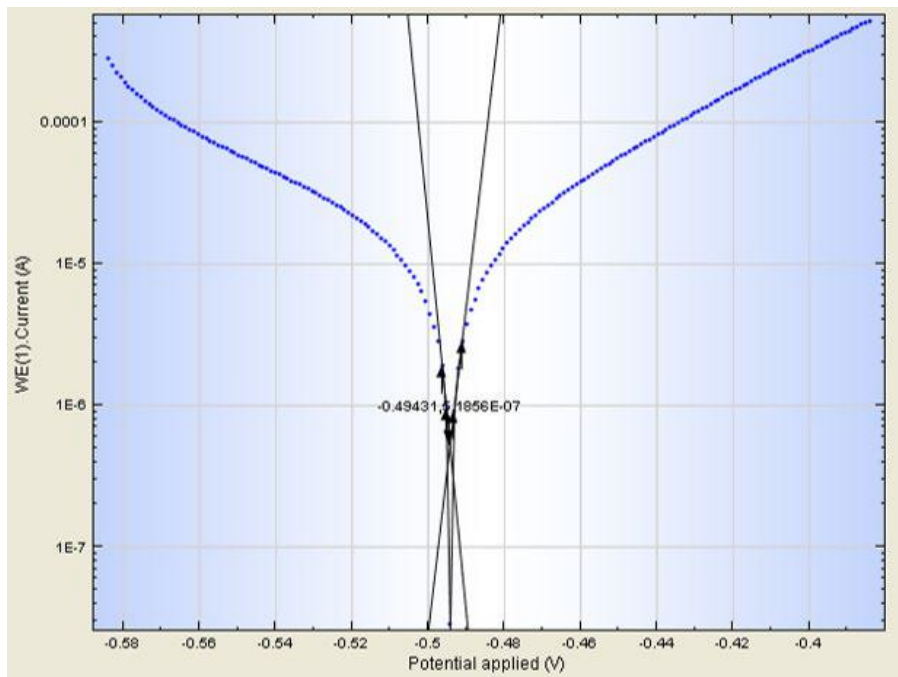
Gambar 4. 44 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 70 dengan Arus 160 A

4.6.5 Prediksi Laju Korosi Pada Spesimen 5

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 90° serta arus 120 A dihitung prediksi laju korosinya, hasil yang didapatkan dari perhitungan software NOVA yaitu nilai potensialnya, dengan rincian sebagai berikut. Diperoleh data analisa E_{corr} sebesar -494.310 mV, i_{corr} sebesar 2.28190 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan laju korosi sebesar 0.051786 mm/year. Hasil dari pengujian ini masuk dalam kategori *excellent*. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.25 serta untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.45.

Tabel 4. 25 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 120 A

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Sudut <i>Groove</i> 90 dengan Arus 120 A	-494.31	2.28190	0.051786



Gambar 4. 45 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 120 A

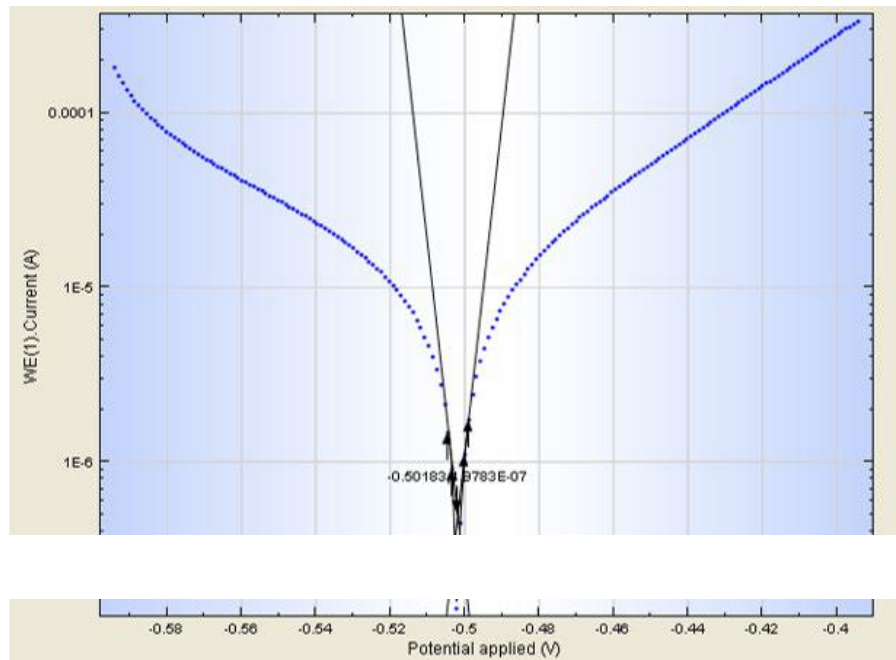
4.6.6 Prediksi Laju Korosi Pada Spesimen 6

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 90° serta arus 160 A dihitung prediksi laju korosinya, hasil yang didapatkan dari perhitungan software NOVA yaitu nilai potensialnya, dengan rincian sebagai berikut. Diperoleh data analisa E_{corr} sebesar -501.830 mV, I_{corr} sebesar 4.04070 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan laju korosi sebesar 0.0917 mm/year.

Hasil dari pengujian ini masuk dalam kategori *excellent*. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.26 serta untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.46.

Tabel 4. 26 Output Software NOVA Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 160 A

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Sudut <i>Groove</i> 90 dengan Arus 160 A	-501.83	4.04070	0.0917



Gambar 4. 46 Diagram Tafel Pengelasan Sudut Groove 90 dengan Arus 160 A

4.6.7 Analisa Hasil Prediksi Laju Korosi

Diagram tafel prediksi laju korosi dengan variasi sudut groove menunjukkan hubungan potensial antara sumbu x dan sumbu y nya merupakan kerapatan arus, semakin tinggi

nilai puncak semakin negative nilai potensialnya berarti semakin tinggi laju korosi dan sebaliknya. Maka dapat disimpulkan bahwa laju korosi dengan hasil terbaik adalah pada sudut groove 90° dengan arus 120A sebesar 0.051786 mm/year, serta hasil yang terburuk ialah dengan menggunakan sudut groove 50° dengan arus 160A dengan hasil sebesar 0.27049mm/year.

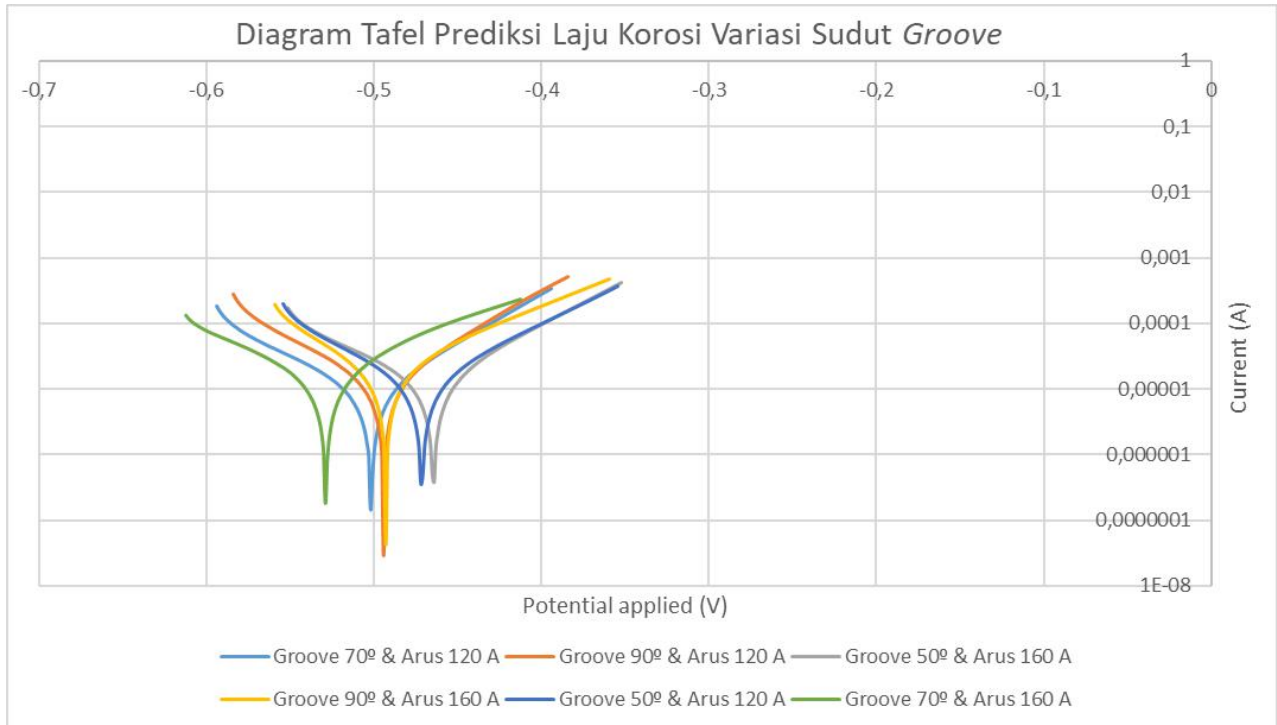
Pada perhitungan prediksi laju korosi menyatakan bahwa kerapatan arus (i_{corr}) berbanding lurus dengan nilai prediksi laju korosi yang telah didapatkan. Serta apabila semakin kecil nilai laju korosi pada material tersebut, maka material tersebut memiliki sifat ketahanan korosinya semakin baik (Fontana, 1987). Untuk hasil prediksi laju korosi dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Prediksi Laju Korosi

Keterangan	E_{corr}	i_{corr}	<i>Corrosion rate</i>
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Groove 50° & Arus 120 A	-492.87	11.1410	0.252284
Groove 50° & Arus 160 A	-464.57	11.9190	0.27049
Groove 70° & Arus 120 A	-528.55	4.2684	0.096868
Groove 70° & Arus 160 A	-471.40	5.73570	0.13017
Groove 90° & Arus 120 A	-494.31	2.28190	0.051786
Groove 90° & Arus 160 A	-501.83	4.04070	0.0917

Berdasarkan Gambar 4.47, disimpulkan bahwa hasil pengelasan menggunakan metode GMAW dengan elektroda ER70S-G berdiameter 1.2 mm dengan menggunakan variasi

sudut groove 50°, 70° dan 90° dengan variasi arus pengelasan sebesar 120 A dan 160 A menghasilkan laju korosi yang bervariasi. Serta dapat dilihat bahwa sudut *groove* mempengaruhi hasil prediksi laju korosi. Semakin besar sudut suatu *groove* sebuah



Gambar 4. 47 Diagram Tafel Prediksi Laju Korosi Variasi Sudut Groove

pengelasan maka semakin kecil laju korosi dan semakin kecil sudut *groove* sebuah pengelasan maka semakin besar laju korosinya. Dan arus yang diberikan saat pengelasan juga mempengaruhi hasil laju korosi. Apabila arus yang diberikan saat pengelasan semakin besar maka hasil laju korosinya semakin besar atau buruk (Sudhakaran, 2014) dan apabila arus yang diberikan saat pengelasan semakin kecil maka hasil laju korosi nya semakin kecil atau baik. Serta apabila ditinjau dari struktur mikro, semakin banyak persentase *ferrite* yang terkandung dalam suatu spesimen maka laju korosi nya semakin kecil (Saha, 2018).

4.7 Hubungan Antara Kekuatan Tekuk, Kekuatan Tarik, Struktur Makro – Mikro dan Prediksi Laju Korosi

Pada pengujian tekuk, pengujian tarik, pengamatan struktur makro-mikro dan prediksi laju korosi yang telah dilakukan. Dapat dilihat bahwa sudut *groove* dan arus mempengaruhi hasil pada pengujian mekanik.

Dalam pengujian tekuk dapat dilihat bahwa semakin besar sudut suatu *groove* maka semakin baik hasilnya. Dapat dilihat bahwa hasil paling baik atau tidak terdapat *open defect* sama sekali pada pengelasan variasi *groove* 90° dan arus 120 A, yang apabila diamati struktur mikro nya terdapat kandungan *ferrite* yang paling tinggi diantara variasi pengelasan yang lain yang menyebabkan sifat spesimen tersebut menjadi paling ulet. Pada pengelasan variasi 90° dan arus 160 A juga tidak terdapat *open defect*, namun sudah ada tanda-tanda terjadinya *open defect*. Hal ini diakibatkan oleh arus yang lebih tinggi sehingga hasil pengelasan tersebut apabila diamati struktur mikro nya terdapat kandungan *pearlite* yang lebih banyak dibandingkan arus 120 A. Sehingga material tersebut lebih getas dibandingkan dengan pengelasan yang menggunakan arus 120 A.

Pada pengujian tarik, dapat dilihat bahwa nilai *ultimate strength* tertinggi dihasilkan dari variasi pengelasan *groove* 50° dan arus 160 A, dengan hasil sebesar 485.17 MPa. Dikarenakan nilai kekuatan tarik akan meningkat apabila mengecilnya sudut *groove* pada pengelasan. Serta semakin besar arus pengelasan maka nilai *ultimate strength* nya semakin besar. Hal itu dikarenakan penggunaan arus yang lebih besar akan membuat material *weld metal* akan semakin solid. Serta apabila ditinjau dari struktur mikro pengelasan *groove* 50° dan arus 160 A terdapat kandungan *pearlite* terbanyak dibandingkan dengan spesimen lain.

Pada struktur makro, dapat dilihat bahwa semakin besar sudut *groove* maka semakin meningkatnya lebar pada HAZ tersebut. Serta semakin besar arus pengelasan, maka semakin besar pula luasan HAZ yang terbentuk. Hal ini dapat mengubah sifat mekanik dari material. Perubahan sifat mekanik ini akibat dari laju pendinginan pada daerah HAZ yang relatif lebih cepat sehingga menyebabkan berubahnya struktur kristal HAZ menjadi lebih besar. Semakin besar struktur Kristal maka material akan semakin keras. Dikarenakan pada pengamatan struktur makro ini, nilai HAZ terlebar terdapat pada spesimen dengan *groove* 90° dan arus 160 A.

Pada prediksi laju korosi, dapat dilihat bahwa semakin besar sudut dari *groove* tersebut maka hasil dari prediksi laju korosi semakin baik atau semakin kecil. Serta arus pengelasan juga mempengaruhi hasil dari prediksi laju korosi, yaitu semakin besar arus yang diberikan maka semakin buruk atau semakin besar. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai terkecil atau terbaik terdapat pada pengelasan dengan *groove* 90° dan arus 120 A. Dan apabila ditinjau dari struktur mikro maka semakin besar persentase *ferrite* yang terkandung dalam suatu spesimen maka laju korosinya semakin kecil atau semakin baik.

4.8 Perbandingan Pengelasan GMAW dan FCAW Baja ASTM A36 dengan Sudut Groove 70° dan Arus 120 Ampere terhadap Pengujian Tekuk dan Pengujian Tarik

Pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* sebesar 70° serta arus sebesar 120 A dan baja ASTM A36 hasil pengujian tarik didapatkan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* berturut sebesar 373.96 MPa dan 460.68 MPa. Serta pada pengujian tekuk dengan sudut *groove* sebesar 70° serta arus sebesar 120 A didapatkan open defect sebanyak satu buah dengan panjang sebesar 1.64 mm.

Pada pengelasan FCAW dengan sudut *groove* sebesar 70° serta arus sebesar 120 A dan baja ASTM A36 hasil pengujian tarik didapatkan nilai *yield strength* dan *ultimate strength* berturut sebesar 367.97 MPa dan 497.53 MPa. Serta pada pengujian tekuk dengan sudut *groove* sebesar 70° serta arus sebesar 120 A tidak terdapat *open defect*.

Pada perbandingan jenis pengelasan dengan variasi sudut *groove* sebesar 70° serta arus sebesar 120 A. Dapat disimpulkan bahwa *ultimate strength* pengelasan FCAW lebih besar 7.4% dibandingkan dengan GMAW. Sedangkan pada pengujian tekuk FCAW lebih baik dibandingkan dengan GMAW dikarenakan tidak ada *open defect* sama sekali. Dikarenakan pada FCAW terdapat flux yang berfungsi menghasilkan lapisan slag untuk melindungi logam yang masih panas dari udara serta meningkatkan kekuatan mekanis pada sebuah pengelasan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh sudut groove pada pengelasan GMAW terhadap sifat mekanis dan prediksi laju korosi baja ASTM A36 menggunakan elektroda ER70-G diameter 1.2 mm menghasilkan 4 kesimpulan. Adapun kesimpulan – kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian tekuk didapatkan hasil tertinggi yaitu pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 90° dan arus 120 Ampere dengan hasil tidak terjadi *open defect*. Sedangkan pengujian tekuk dengan nilai terendah yaitu pada pengelasan GMAW dengan sudut *groove* 50° dan arus 160 Ampere. Hal ini disebabkan dengan semakin besar sudut pada *groove* pengelasan maka elektroda cair yang mengisi juga semakin banyak sehingga menghasilkan kandungan *ferrite* yang lebih dominan. Serta arus yang diberikan saat pengelasan juga dapat mempengaruhi hasil dari uji tekuk tersebut. Dikarenakan semakin besar arus yang diberikan kepada material maka kandungan *pearlite* semakin dominan.
2. Pada pengujian tarik didapatkan nilai tertinggi yaitu pada pengelasan GMAW dengan sudut groove 50° dan arus 160 Ampere, dengan nilai ultimate strength sebesar 485.17 MPa. Dan nilai pengujian tarik terendah yaitu pada pengelasan GMAW dengan sudut groove 90° dan arus 120 Ampere dengan nilai ultimate strength sebesar 459.43MPa. Hal ini dikarenakan nilai kekuatan tarik akan berkurang apabila meningkatnya sudut groove pada pengelasan, serta nilai kekuatan tarik akan semakin besar apabila arus yang dihasilkan pada pengelasan semakin besar.
3. Pada struktur foto makro dan mikro, didapatkan hasil daerah HAZ yang terlebar adalah pada pengelasan GMAW dengan sudut groove 90° dan arus 160 Ampere, yaitu sebesar 19 mm. Yang artinya, semakin besar sudut *groove* serta arusnya maka semakin besar lebar HAZ nya. Dan pada pengamatan mikro didapatkan struktur

ferrite terbesar adalah pada pengelasan GMAW dengan sudut groove 90° dan arus 120 Ampere, dengan perbandingan ferrite dan pearlite sebesar 74% dan 26% pada daerah weld metal. Hal ini dikarenakan semakin besar sudut *groove* maka kandungan *ferrite* nya meningkat.

4. Pada pengujian prediksi laju korosi didapatkan nilai laju korosi dengan hasil terbaik adalah pada pengelasan GMAW dengan sudut groove 90° dan arus 120 Ampere, yaitu sebesar 0.051786 mm/year. Dan hasil terburuk adalah pada pengelasan GMAW dengan sudut groove 50° dan arus 160 Ampere. Hal ini disebabkan semakin besar sudut *groove* maka akan semakin baik laju korosi nya. Sedangkan untuk arus, semakin besar arus pada pengelasan maka laju korosi nya semakin buruk

5.2 Saran

Berikut merupakan saran-saran yang dapat digunakan sebagai penyempurnaan serta penelitian lebih mendalam pada tugas akhir selanjutnya, antara lain:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi jenis *groove* seperti U atau X.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengelasan dengan variasi ketebalan material yang berbeda satu dengan lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- ASME Section IX. 1998. **Part QW Welding: Article IV Welding Data**. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York
- ASME Section IX. 2015. **Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders, Brazers, and Welding, Brazing, and Fusing Operators**. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York
- ASTM A36/A36M. 2008. **Standard Specification for Carbon Structural Steel**. United States: ASTM International
- ASTM E8. 2004. **Standard Test Methods for Testing of Metallic Material**. United States: ASTM International
- ASTM G102. 1994. **Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements**. United States: ASTM
- AWS A2.4. 1998. **Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination**. Florida: American Welding Society
- AWS D1.1. 2015. **Structural Welding Code-Steel**. United States: American Welding Society
- AWS Welding Handbook 9th Edition. 2001. **Welding Science and Technology**. Miami: American Welding Society
- Anggoro, P.R. 2017. “**Pengaruh Variasi Kampuh dan Kuat Arus Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Bending Hasil Sambungan Las SMAW Baja Karbon Rendah**”. Tugas Akhir, Semarang: Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang

- Fontana, M.G. 1987. **Corrosion Engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Gery, D., H. Long, dan P. Maropoulos. 2005. Effect of Welding Speed, Energy Input and Heat Source Distribution on Temperature Variations in Butt Joint Welding. **Journal of Materials Processing Technology** 167: 393- 401
- Hilmy, Z., N. Syahroni dan Y.S. Hadiwidodo. 2018. Analisa Pengaruh Variasi Komposisi Gas Pelindung Terhadap Hasil Pengelasan GMAW-Short Circuit dengan Penggunaan Mesin Khusus Regulated Metal Deposition (RMD). **Journal Innovation and Industrial Applications**. 10: 219- 226
- Ipek, E. N. 2012. Analysis of Welding Groove Angle and Geometry on Strength of Armor Steel. **Journal of Material and Manufacturing Processes**. 27:12, 1437-1441.
- Jaya, D.B. 2018. “**Analisis Pengaruh Sudut Groove pada Pengelasan Wet Underwater SMAW terhadap Sifat Mekanis dan Laju Korosi Baja Karbon ASTM A131 AH36**”. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Khamid, A. 2011. “**Rancang Bangun Alat Uji Bending dan Hasil Pengujian untuk Bahan Besi Cor**”. Tugas Akhir. Semarang: Program Studi Diploma III. Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro Semarang
- Kumar, S dan A.S. Shahi. 2011. Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints. **Journal of Materials and Design**. 32: 3617-3623
- Li, H., D. Liu, Y. Yan, N. Guo, Y. Liu, dan J. Feng. 2018. Effect of Heat Input on Arc Stability and Weld Quality in Underwater Wet Fluxed-cored Arc Welding of E40 Steel. **Journal of Manufacturing Processes**. 31: 833-843.
- Marinda, G.R. 2017. “**Pengaruh Sudut Groove Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Korosi pada Baja Karbon ASTM A36 di Lingkungan Laut**”. Tugas Akhir.

Surabaya: Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Naufal, A. 2016. “**Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW**”. Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Perkapalan. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro

Nutalpati, S., D. Azad, dan S.G. Naidu. 2016. Effect of Welding Current on Welding Speed and Ultimate Tensile Strength (UTS) of Mild Steel. **International Journal of Mechanical Engineering and Technology**. 7 : 156-176

Prasojo, B. 2016. **Buku Petunjuk Praktek Uji Bahan**. Jurusan Teknik Permesinan Kapal. PPNS

Ramadani, R. 2016. “**Analisa Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan FCAW dan SMAW Terhadap Kekuatan Impact Butt Joint pada Spesimen Pipa API 5L Grade X42**”. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Revaldo, A. 2017. “**Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Las TIG Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Stainless Steel AISI 304**”. Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang

Saha, K. M., J. Mondal., A. Mondal., dan S. Das. 2018. Influence of Heat Input on Corrosion Resistance of Duplex Stainless Steel Cladding Using Flux Cored Arc Welding on Low Alloy Steel Flats. **Indian Welding Journal**. 51: 66 - 72

Sayed, R. A., Vinaybadewale, S. Tembhekar., dan Y. Sontakke. 2016. Experimental Analysis on Variation of Bending Strength on Different Mild Stel Weldments. **Internatioinal Journal for Scientific Research & Development**. 5: 277 - 280

- Setiawan, F. 2016. “**Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V dan Kuat Arus Dengan Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik**”. Tugas Akhir Sidoarjo: Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
- Singh, T., A. Singh., dan S. Saini. 2019. Effect of Groove Design on the Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded Joints. **Indian Journal of Science and Technology**. 12: 174 - 185
- Soehita. R. L. 1990. **Penggunaan Las dalam Konstruksi Bangunan Kapal**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sudhakaran, R., Sivasakthivel, P. S., Nagaraja, S. dan Eazhil, K. M. 2014. The Effect of Welding Process Parameters on Pitting Corrosion and Microstructure of Chromium-Manganese Stainless Steel Gas Tungsten Arc Welded Plates. **Journal of Procedia Engineering**. 97: 790 – 799
- Suyono, E. H., Y. S. Irawan dan A. Purnowidodo. 2011. Pengaruh Kuat Arus Dan Campuran Gas Argon-CO₂ Pada Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact Pada Baja Karbon Medium Fasa Ganda. **Jurnal Rekayasa Mesin**. 2: 137 - 144
- Surdia, T. dan S. Saito. 1999. **Pengetahuan Bahan Teknik** (Cetakan ke-4). Jakarta: Pradnya Paramita.
- Trethewey, K. R., dan J. Chamberlain. 1991. **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekasayawan**. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Widharto, S. 2007. **Inspeksi Teknik Jilid 6**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Wirjosumarto, H., dan T. Okumura. 2000. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Wirjosumarto, H., dan T. Okumura. 2008. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita

Yanhong, Y., J. Cai., X. Jiang., D. Dai dan D. Deng. 2015. Influence of groove type on welding-induced residual stress, deformation and width of sensitization region in a SUS304 steel butt welded joint. **Journal Advances in Engineering Software.** 86: 39 – 48

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A
CERTIFICATE OF WELDER QUALIFICATION

Form-WQC(J)



NIPPON KAIJI KYOKAI
Certificate
OF
WELDER'S QUALIFICATION

Certificate No. : WE17SB0202

Date : 21 Dec 2017

THIS IS CERTIFY that the person mentioned below is a welder qualified as specified hereunder in accordance with the requirements set forth in Chapter 5, Part M of Rules for the Survey and Construction of Steel Ships of Nippon Kaiji Kyokai.



Welder's ID : WQ17007282

Welder's Name : Aris Suprianto

Date of Birth : 15 Jan 1984

Employer's Name : PT. KAMPUH WELDING INDONESIA

Qualification

Material(*)	Welding Process(*)	Kind(*)	Grade(*)	Class(*)	Valid until(*)
CS	S	N	2	P	20 Dec 2020

(LUKITO)

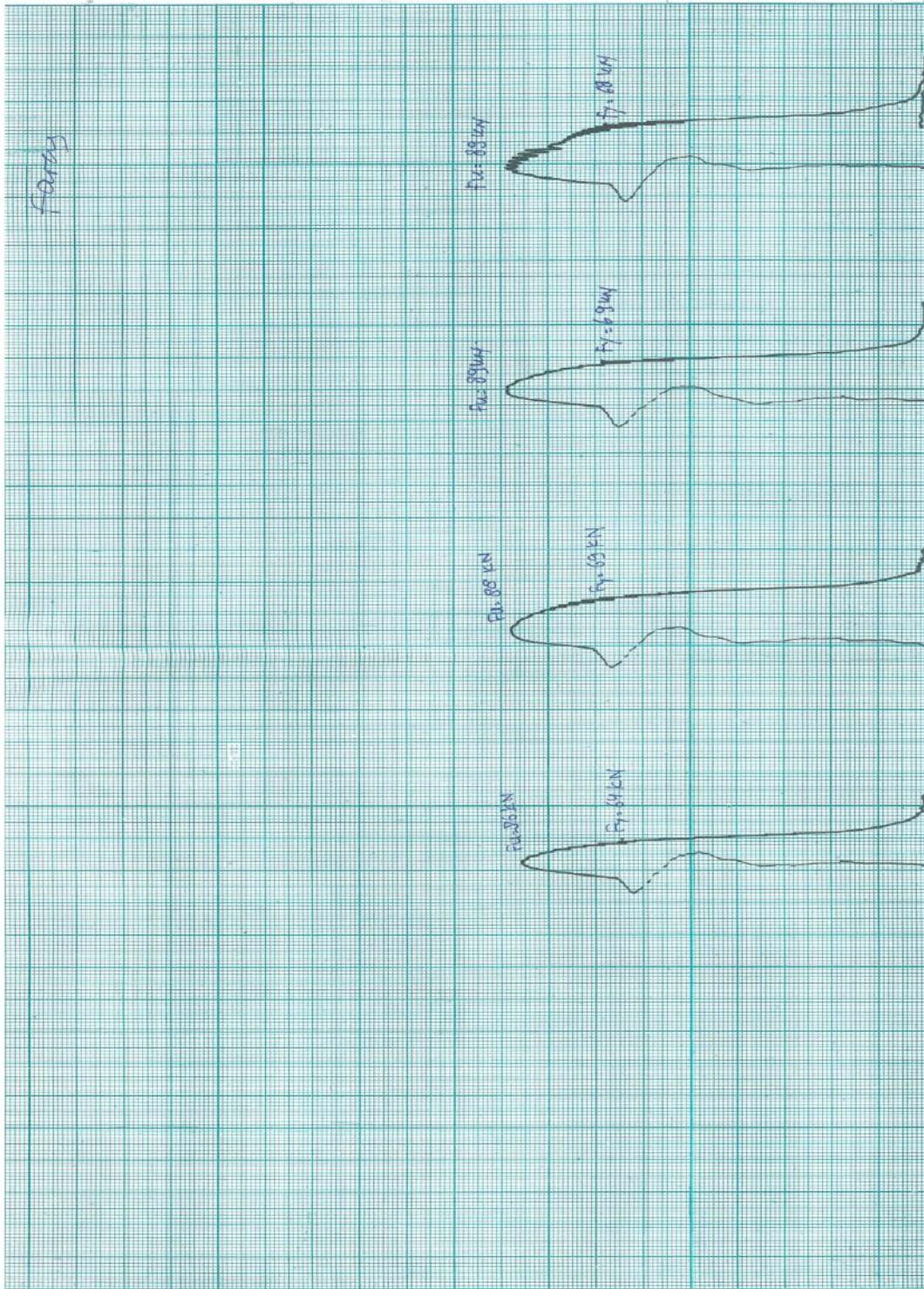
General Manager of Surabaya Office
NIPPON KAIJI KYOKAI

Note(*) : For details of symbols, please refer to REMARKS on the reverse side.

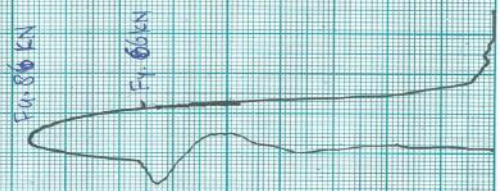
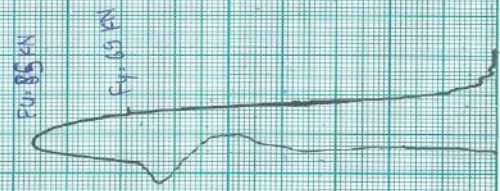
LAMPIRAN B
NDT REPORT

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT				Sheet 1 of 1								
Customer	: FARRAS (ITS)	Report No.	: 001-RT/RBT/IV/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	: 20	Film Type	: D7	Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front								
Base Mat'l Type	: C/S	X-ray Equipment	: -	Dimension	: 4x10	<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: Source Side <input checked="" type="checkbox"/>								
Backing	: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm)	: -	Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Film Side <input type="checkbox"/>								
TECHNIQUE		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH				IMAGE QUALITY INDICATOR								
Exposure	: Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>					Wire Set: 1B	Wire ID: 6							
Viewing	: Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>					Wire Dia.: 0.25 mm	Hole Designation: -							
Exposure Time	: 45 Sec	<input type="checkbox"/> Panoramic <input type="checkbox"/> SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV <input checked="" type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV				Visible Hole	1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>							
Ug	: 0.5 mm	<input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV				Placement:	Source Side <input checked="" type="checkbox"/>							
SOD	: 12 Inch	Note for sketch: 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed (Please Sketch) 2. DWSV: Double Wall Single Viewing				Film Side <input type="checkbox"/>	DENSITY: Min : 2 Max : 4							
SSOF	: 13 mm													
Note:														
SOD	: Source to Object Distance													
SSOF	: Source side to Object Film													
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity						Result		Remark / Comment	
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	Acc		Rej
09/04 2019	-	1	A - B	6 Wire								Acc	-	
		2	A - B	6 Wire								Acc	-	
		3	A - B	6 Wire								Acc	-	
		4	A - B	6 Wire								Acc	-	
		5	A - B	6 Wire						√		Acc	-	P: 0.5 mm
		6	A - B	6 Wire						√		Acc	-	P: 1mm
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack Welding Process(es) : - Total Film/s : 4" x 10" = 6 Sheet/s 4" x 15" = - Sheet/s														
Examined By,		Reviewed/Witnessed By,			Reviewed/Witnessed By,			Reviewed/Witnessed By,						
 NDT Level II Date:09-04-2019		Date:			Date:			Date:						

LAMPIRAN C
HASIL PENGUJIAN



Force



BIODATA PENULIS



Muhammad Farras Randyka adalah nama lengkap dari penulis laporan tugas akhir ini. Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 24 Oktober 1997 dan beralamat di Pondok Cilegon Indah, Cilegon, Banten. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Abdur Rachmandya dan Ibu Esi Artika. Penulis mengawali pendidikan formal di SDIT Raudhatul Jannah Cilegon dari tahun 2003-2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPIT Raudhatul Jannah Cilegon tahun 2009-2012. Setelah lulus dari sekolah menengah pertama, penulis melanjutkan penididikannya di SMA N 2 Krakatau Steel Cilegon pada tahun 2012-2015. Setelah lulus dari bangku SMA, penulis melanjutkan ke perguruan tinggi yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada Fakultas Teknologi Kelautan di Departmen Teknik Kelautan melalu jalur PKM.

Di dalam kampus, penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan. Untuk kepanitiaan tingkat Institut, penulis menjadi panitia PETROLIDA 2017 sebagai Sie Perlengkapan, lalu di tahun selanjutnya penulis menjadi panitia PETROLIDA 2018 sebagai volunteer dan menjadi panitia OCEANO 2018 sebagai Sie Perlengkapan. Di tahun 2018 juga penulis menjadi panitia tingkat nasional yaitu pada acara SENTA 2018 sebagai Sie Perlengkapan. Serta dalam pelatihan, penulis mengikuti LKMM Tingkat Pra Dasar FTK ITS 2015. Kemudian, penulis juga sempat melakukan kerja praktik di PT. KHI PIPE Industries selama 2 bulan di daerah Cilegon, Banten. Pada kegiatan kerja praktik tersebut, penulis ditempatkan di divisi Coating dan *Quality Control*.

Email: farras.randyka@gmail.com