



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PREHEATING* DAN
POSTHEATING PADA PENGELASAN SMAW BAJA ASTM A53
TERHADAP SIFAT-SIFAT MEKANIK DAN PREDIKSI LAJU KOROSI**

HAEKAL ALIF FATHUR ROHMAN

NRP. 04311540000029

Dosen Pembimbing :

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

Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MO 141326

**ANALYSIS THE EFFECT OF PREHEATING AND POSTHEATING
TEMPERATURE VARIATION ON SMAW WELDING ASTM A53 STEEL
AGAINST MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE
PREDICTION**

HAEKAL ALIF FATHUR ROHMAN

NRP. 0431154000029

Supervisors :

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

Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PREHEATING* DAN
POSTHEATING PADA PENGELASAN SMAW BAJA ASTM A53
TERHADAP SIFAT-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 Surabaya

Oleh:

Haekal Alif Fathur Rohman

NRP. 0431154000029

Disetujui Oleh:

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



2. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc. (Penguji)

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

5. Dirta Marina C., S.T, M.T. (Penguji)

Surabaya, Juli 2019

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PREHEATING* DAN
POSTHEATING PADA PENGELASAN SMAW BAJA ASTM A53
TERHADAP SIFAT-SIFAT MEKANIK DAN PREDIKSI LAJU KOROSI**

Nama Mahasiswa : Haekal Alif Fathur Rohman
NRP : 0431154000029
Departemen : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.

ABSTRAK

Baja ASTM A53 merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,3% dan sering digunakan untuk pembuatan pipa. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap kekuatan tarik dan pengamatan struktur makro-mikro pada pengelasan baja ASTM A53 dengan metode SMAW. Variasi temperatur *preheating* yang diberikan adalah 100°C dan 150°, variasi temperatur *postheating* yang diberikan adalah 200°C, 250°C dan 300°C. Elektroda yang digunakan adalah E-7016. Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mempunyai nilai kekuatan tarik paling baik, yaitu dengan *yield strength* 365,10 MPa dan *ultimate strength* 479,53 MPa. Hasil pengamatan foto makro memiliki panjang daerah HAZ yang relatif sama. Pada hasil pengamatan struktur mikro, pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mempunyai fase *pearlite* paling tinggi pada ketiga daerahnya dibandingkan dengan spesimen lainnya, yaitu *base metal* 35%, HAZ 36%, dan *weld metal* 38%. Pada prediksi laju korosi, nilai terendah didapat pada pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C dengan nilai laju korosi 0,01 mmpy dan dikategorikan luar biasa (*outstanding*).

Kata Kunci: Pengelasan SMAW, *Preheating*, *Postheating* dan Laju Korosi.

**ANALYSIS THE EFFECT OF PREHEATING AND POSTHEATING
TEMPERATURE VARIATION ON SMAW WELDING ASTM A53 STEEL
AGAINST MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE
PREDICTION**

Student Name : Haekal Alif Fathur Rohman
Reg. : 0431154000029
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.

ABSTRACT

ASTM A53 steel is medium carbon steel with a carbon content 0,3% and often used for pipe manufacturing. The purpose of this study was to determine the effect of preheating and postheating temperature variation on microstructure and prediction of corrosion rate on weldjoint of ASTM A53 steel using the SMAW process. Preheating temperature variation are 100°C dan 150°C, postheating temperature variation are 200°C, 250°C and 300°C. The electrode using E-7016. In the tensile test showing that specimen with preheating temperature 150°C and postheating temperature 300°C have a best tensile strength with yield strength 365,10 MPa and ultimate strength 479,53 Mpa. In the metallography test, the HAZ width is not really different. In the microstructure test, specimen with preheating temperature 150°C and postheating temperature 300°C have more pearlite in the three region than the other specimen with base metal 35%, HAZ 36%, dan weld metal 38%. In corrosion rate prediction test showing that specimen with preheating temperature 150°C and postheating temperature 300°C have the least corrosion rate with 0,01 mmpy corrosion rate prediction with outstanding category.

Key Words : SMAW Welding, Preheating, Postheating dan Corrosion Rate Prediction

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Temperatur *Preheating* dan *Postheating* pada Pengelasan SMAW Baja ASTM A53 Terhadap Sifat Mekanik dan Prediksi Laju Korosi” sesuai harapan. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat wajib menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Laporan Tugas Akhir ini berisi tentang pengelasan SMAW Baja ASTM A53 dengan menggunakan variasi temperatur *preheating* dan *postheating* yang dikemudian diuji sifat mekanik dan prediksi laju korosi. Pada hasil akhir, akan diberikan metode yang paling tepat pada pengelasan SMAW baja ASTM A53 tersebut.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2019

Haekal Alif Fathur Rohman

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,

1. Allah SWT atas segala nikmat, rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik mungkin.
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. Ibu Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan masukan guna menyempurnakan pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ibu dosen penguji Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang memberikan masukan dan nasehat kepada Penulis dan kesempatan memperbaiki Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember sekaligus Dosen wali penulis selama 4 tahun yang dengan sabarnya memberikan bimbingan, nasihat dan saran yang membangun.
7. Teman – teman “TRITONOUS” P55 - L33 yang telah banyak memberikan pengalaman dan pembelajaran yang berharga selama penulis menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan, FTK - ITS.
8. Hatta, Arifin, Raditya, Ichsan, Tanasa, Farras, Kristoforus dan Agan yang ikut membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman – teman “Marco”, “Kebun Binatang”, dan “Nomno” yang selalu memberikan semangat dan waktu untuk bermain kepada penulis.
10. 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

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesa Awal.....	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1 Pengertian Las SMAW	7
2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Las SMAW	10
2.1.2.1 Kelebihan	10
2.1.2.2 Kekurangan	10
2.2 Posisi Pengelasan	11
2.3 Baja Karbon	12
2.3.1 Baja Karbon Rendah	12
2.3.2 Baja Karbon Sedang.....	12
2.3.3 Baja Karbon Tinggi.....	13
2.3.4 Siklus Termal Baja Karbon.....	13
2.3.5 Fasa Baja Karbon	15
2.3.5.1 <i>Ferrite</i>	15

2.3.5.2 Austenite	15
2.3.5.3 Cementite.....	16
2.3.5.4 Pearlite	16
2.3.5.5 Martensite	16
2.4 Baja ASTM A53	17
2.5 Elektroda	18
2.6 Pemanasan Mula (<i>Preheating</i>)	20
2.7 Pemanasan Setelah (<i>Postheating</i>)	21
2.8 Metalurgi Las	21
2.9 Masukan Panas (<i>Heat Input</i>)	22
2.10 Pengujian Hasil Las	23
2.10.1 Uji Tidak Merusak Radiografi.....	23
2.10.2 Uji Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	24
2.10.3 Uji Metalografi	26
2.10.3.1 Uji Mikro (<i>Micro Test</i>)	26
2.10.3.4 Uji Makro (<i>Macro Test</i>)	28
2.11 Korosi	28
2.11.1 Persamaan Laju Korosi.....	29
2.11.2 Sel Tiga Elektroda	30
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	31
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	32
3.2.1 Studi Literatur	32
3.2.2 Pengumpulan Bahan dan Peralatan	33
3.2.3 Proses Pengelasan	35
3.2.4 Proses <i>Preheating</i>	36
3.2.5 Proses <i>Postheating</i>	37
3.2.6 Pengujian NDT (<i>Non Destructive Test</i>).....	37
3.2.7 Pengujian Tarik.....	38
3.2.8 Pengujian Metalografi	39
3.2.9 Pengujian Laju Korosi	39
3.2.10 Analisa dan Pembahasan	41

3.2.11 Kesimpulan dan Saran.....	41
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i>	42
4.1.1 WPS Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	43
4.1.2 WPS Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	44
4.1.3 WPS Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	44
4.1.4 WPS Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	45
4.1.5 WPS Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	46
4.1.6 WPS Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	47
4.1.7 WPS Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	48
4.1.8 Analisa Hasil Pengelasan	48
4.2 Pengujian NDT Radiografi (<i>Radiography Test</i>)	49
4.2.1 Hasil Uji NDT Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	49
4.2.2 Hasil Uji NDT Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	50
4.2.3 Hasil Uji NDT Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	52
4.2.4 Hasil Uji NDT Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	53
4.2.5 Hasil Uji NDT Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	54
4.2.6 Hasil Uji NDT Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	56
4.2.7 Hasil Uji NDT Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	57
4.3 Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>)	59
4.3.1 Hasil Uji Tarik Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	59
4.3.2 Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	60
4.3.3 Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	61

4.3.4 Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	62
4.3.5 Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	63
4.3.6 Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	64
4.3.7 Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	65
4.3.8 Analisa Hasil Uji Tarik.....	68
4.4 Pengujian Metalografi	68
4.4.1 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	68
4.4.2 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	71
4.4.3 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	70
4.4.4 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	70
4.4.5 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	71
4.4.6 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	72
4.4.7 Hasil Pengamatan Foto Makro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	72
4.4.8 Analisa Hasil Pengamatan Foto Makro.....	73
4.4.9 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	74
4.4.10 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	75
4.4.11 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	76

4.4.12 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	77
4.4.13 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	78
4.4.14 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	79
4.4.15 Hasil Pengamatan Foto Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	80
4.4.16 Analisa Hasil Pengamatan Foto Mikro	81
4.5 Pengujian Prediksi Laju Korosi	83
4.5.1 Prediksi Laju Korosi Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	83
4.5.2 Prediksi Laju Korosi Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	84
4.5.3 Prediksi Laju Korosi Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	85
4.5.4 Prediksi Laju Korosi Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	86
4.5.5 Prediksi Laju Korosi Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	87
4.5.6 Prediksi Laju Korosi Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	88
4.5.7 Prediksi Laju Korosi Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	89
4.5.8 Analisa Hasil Prediksi Laju Korosi	90
4.6 Hubungan Antara Kekuatan Tarik, Struktur Makro-Mikro dan Prediksi Laju Korosi	92
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	94
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Pengelasan SMAW.....	8
Gambar 2.2 Sketsa hasil las SMAW	9
Gambar 2.3 Sketsa Posisi Pengelasan	11
Gambar 2.4 Diagram Fasa Baja Karbon	14
Gambar 2.5 Daerah Las	21
Gambar 2.6 Ilustrasi NDT Radiografi.....	23
Gambar 2.7 Spesimen Uji Tarik.....	25
Gambar 2.8 Komponen Sel Tiga Elektroda	31
Gambar 3.1 Sketsa hasil las SMAW	32
Gambar 3.2 Material Baja ASTM A53 Grade B.....	33
Gambar 3.3 Elektroda E-7016.....	33
Gambar 3.4 Mesin Las SMAW.....	34
Gambar 3.5 Mesin Blander	34
Gambar 3.6 Proses Pengelasan Spesimen.....	35
Gambar 3.7 Proses <i>Preheating</i>	36
Gambar 3.8 Proses <i>Postheating</i>	37
Gambar 3.9 Alat Uji Tarik	38
Gambar 3.10 Mikroskop Untuk Pengamatan Struktur Mikro.....	39
Gambar 3.11 Pengujian Laju Korosi.....	40
Gambar 4.1 Bentuk Sambungan Pengelasan	43
Gambar 4.2 Hasil Pengelasan Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	50
Gambar 4.3 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	50
Gambar 4.4 Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	51
Gambar 4.5 Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	51
Gambar 4.6 Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	52
Gambar 4.7 Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	53

Gambar 4.8 Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	54
Gambar 4.9 Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	54
Gambar 4.10 Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	55
Gambar 4.11 Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	55
Gambar 4.12 Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	56
Gambar 4.13 Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	57
Gambar 4.14 Hasil Pengelasan Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	58
Gambar 4.15 Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	58
Gambar 4.16 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	60
Gambar 4.17 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	61
Gambar 4.18 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	62
Gambar 4.19 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	63
Gambar 4.20 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	64
Gambar 4.21 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	65
Gambar 4.22 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	66
Gambar 4.23 Grafik Hasil Uji Tarik.....	67

Gambar 4.24 Hasil Foto Makro pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	69
Gambar 4.25 Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	69
Gambar 4.26 Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	70
Gambar 4.27 Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	71
Gambar 4.28 Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	71
Gambar 4.29 Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	72
Gambar 4.30 Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	73
Gambar 4.31 Grafik Hasil Analisa Uji Makro	74
Gambar 4.32 Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	75
Gambar 4.33 Struktur Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	76
Gambar 4.34 Struktur Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	77
Gambar 4.35 Struktur Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	78
Gambar 4.36 Struktur Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	79
Gambar 4.37 Struktur Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	80
Gambar 4.38 Struktur Mikro Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	81
Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Struktur Mikro Tujuh Spesimen	82
Gambar 4.40 Diagram Tafel Pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	84

Gambar 4.41 Diagram Tafel Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	85
Gambar 4.42 Diagram Tafel Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	86
Gambar 4.43 Diagram Tafel Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	87
Gambar 4.44 Diagram Tafel Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	88
Gambar 4.45 Diagram Tafel Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	89
Gambar 4.46 Diagram Tafel Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	90
Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Laju Korosi Tujuh Spesimen.....	91
Gambar 4.48 Diagram Tafel Tujuh Spesimen.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon	12
Tabel 2.2 Komposisi Baja ASTM A53	17
Tabel 2.3 <i>Material Properties</i> Baja ASTM A53	17
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Elektroda E-7016	18
Tabel 2.5 <i>Tensile Test Requirements</i> Elektroda E-7016	18
Tabel 2.6 Suhu Pemanasan Baja Karbon	20
Tabel 2.7 Tingkat ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi.....	30
Tabel 4.1 WPS Pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT.....	44
Tabel 4.2 WPS Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	45
Tabel 4.3 WPS Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	46
Tabel 4.4 WPS Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	47
Tabel 4.5 WPS Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	47
Tabel 4.6 WPS Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C.....	48
Tabel 4.7 WPS Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C.....	49
Tabel 4.8 Hasil Kekuatan Tarik pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT	60
Tabel 4.9 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C.....	61
Tabel 4.10 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	62
Tabel 4.11 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	63
Tabel 4.12 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	64

Tabel 4.13 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	65
Tabel 4.14 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	66
Tabel 4.15 Hasil Analisa Struktur Makro.....	75
Tabel 4.16 Persentase Struktur Mikro pada Pada Spesimen tanpa Perlakuan PWHT.....	76
Tabel 4.17 Persentase Struktur Mikro pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	76
Tabel 4.18 Persentase Struktur Mikro pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	77
Tabel 4.19 Persentase Struktur Mikro pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	78
Tabel 4.20 Persentase Struktur Mikro pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	79
Tabel 4.21 Persentase Struktur Mikro pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	80
Tabel 4.22 Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	81
Tabel 4.23 Hasil Analisa Struktur Mikro	83
Tabel 4.24 Output Software NOVA pada Pada Spesimen tanpa Perlakuan PWHT.....	85
Tabel 4.25 Output Software NOVA pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	85
Tabel 4.26 Output Software NOVA pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 250°C	86
Tabel 4.27 Output Software NOVA pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 300°C	87
Tabel 4.28 Output Software NOVA pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	88
Tabel 4.29 Output Software NOVA pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 250°C	89

Tabel 4.30 Output Software NOVA pada Pada Spesimen <i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 300°C	90
Tabel 4.31 Analisa Laju Korosi Tujuh Spesimen	91

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pipa bawah laut berkaitan erat dengan proses produksi dan fabrikasi, dimana salah satu bagian yang paling kompleks adalah pada teknologi pengelasan. Di dunia manufaktur, pengelasan dianggap sebagai proses inti. Pengelasan adalah suatu proses penggabungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas las, dengan atau tanpa pengaruh tekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Berdasarkan definisi dari *Duetch Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau 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 (Wiryosumarto, 2000).

Terdapat beberapa metode dalam pengelasan, diantaranya : metode GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), metode SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), metode FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), dan beberapa metode lainnya. Dalam tugas akhir saya ini, metode pengelasan yang digunakan adalah metode SMAW (*Shield Metal Arc Welding*).

Proses pengelasan SMAW merupakan proses manual dengan menggunakan proses panas yang dihasilkan oleh panas yang terjadi diantara ujung elektroda dan logam induk (Oto, 2014). Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk yang tidak terpengaruh proses las. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku (Nasir, 2009). Daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk adalah bagian dasar logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat (Hilmy, 2016).

Baja ASTM A53 banyak digunakan pada konstruksi pipa bawah laut. Masalah yang timbul pada pengelasan sambungan pipa penyalur adalah besarnya laju korosi yang terjadi. Hal ini dikarenakan material tersebut bekerja pada medium korosif yang dapat dipastikan akan mengakibatkan kerusakan pada strukturnya sehingga nantinya akan mengalami kegagalan struktur dan berpengaruh pada umur pipa tersebut. Salah satu cara untuk meminimalisir laju korosi adalah melakukan *preheating* maupun *ostheating* pada hasil pengelasan yang bertujuan untuk merubah susunan metalurgi yang terbentuk pada hasil pengelasan (Byung, 2019).

Untuk menambah kekuatan dan keuletan pada hasil lasan diperlukan perlakuan panas yang tepat, salah satu langkah yang bisa dilakukan adalah dengan memberi pemanasan sebelum (*preheating*) maupun pemanasan setelah (*postheating*). Pada studi tugas akhir ini meneliti bagaimana hasil dari proses pengelasan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap sifat mekanik berupa kekuatan tarik dan metalografi, dan juga prediksi laju korosi pada daerah *weld metal* baja karbon sedang (ASTM A53) dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap sifat mekanik yang berupa nilai kekuatan tarik dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap sifat mekanik yang berupa struktur makro dan mikro dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53?
3. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap prediksi laju korosi dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53?

4. Bagaimana hubungan antara kekuatan tarik, struktur makro-mikro dan nilai prediksi laju korosi dalam pengelasan baja ASTM A53 dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari pembuatan tugas akhir ini :

1. Mendapatkan pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap sifat mekanik yang berupa nilai kekuatan tarik dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53.
2. Mendapatkan pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap sifat mekanik yang berupa struktur makro dan mikro dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53.
3. Mendapatkan pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* terhadap nilai prediksi laju korosi dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53.
4. Mendapatkan hubungan antara kekuatan tarik, struktur makro-mikro dan nilai prediksi laju korosi dalam pengelasan baja ASTM A53 dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui sifat mekanik yang berupa nilai kekuatan tarik dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53 dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*
2. Mengetahui sifat mekanik yang berupa struktur makro dan mikro dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53 dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*
3. Mengetahui nilai prediksi laju korosi dari hasil sambungan pengelasan baja ASTM A53 dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*
4. Mengetahui hubungan antara kekuatan tarik, struktur makro-mikro dan nilai prediksi laju korosi dalam pengelasan baja ASTM A53 dengan variasi temperatur *preheating* dan *postheating*

1.5 Batasan Masalah

Untuk hasil yang maksimal dan tidak sampai memperlebar pembahasan, maka perlu diberikan batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini. Berikut adalah batasan-batasan masalah dalam tugas akhir ini:

1. Jenis material yang digunakan adalah baja ASTM A53 dengan dimensi 200 mm x 150 mm x 10 mm sebanyak 14 buah.
2. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah 1G.
3. Bentuk *groove* yang digunakan adalah *single v groove* 60°.
4. Jenis elektroda yang digunakan adalah E-7016.
5. Variasi temperatur *preheating* adalah 100°C dan 150°C.
6. Variasi temperatur *postheating* adalah 200°C, 250°C dan 300°C.
7. Pengelasan dilakukan berdasar WPS (*Welding Procedure Specification*).
8. Pengujian yang dilakukan adalah *Radiography Test (Non Destructive Test)*, *Metalography Test* (Struktur Makro dan Mikro), *Tensile Test* (Uji Tarik), dan Prediksi Laju Korosi (Sel Tiga Elektroda).

1.6 Hipotesa Awal

Hipotesa awal yang diberikan pada permasalahan tugas akhir yang mengacu pada perumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan perlakuan *postheating* bisa menghambat laju korosi.
2. Temperatur *postheating* paling ideal adalah 300°C
3. Spesimen yang diberikan perlakuan tambahan berupa *postheating* akan mendapatkan kekuatan tarik yang lebih kuat dan hasil metalografi yang lebih baik daripada yang tidak diberi perlakuan tambahan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang pengerjaan tugas akhir yang akan dilakukan. Pendahuluan juga mencakup perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam pengerjaan tugas akhir, manfaat yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka dan teori-teori yang dapat membantu penulis untuk memperkuat pemahaman dan dijadikan pedoman selama melakukan penelitian tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian penelitian, beserta metode yang digunakan.

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Bab ini memberikan pembahasan mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik dan kemudian memberikan analisa dari hasil pengujian tersebut dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian sebelumnya.

BAB V Penutup

Berisi kesimpulan penelitian yang didapatkan dari hasil analisis data yang dilakukan serta berisi saran untuk keberlanjutan topik penelitian yang serupa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengelasan pada era sekarang ini sudah menjadi hal yang sangat baku pada dunia keteknikan. Banyak ahli yang mengembangkan hingga menemukan metode-metode pengelasan untuk meningkatkan kualitas hasil lasan, berikut beberapa definisi pengelasan. Berdasarkan definisi dari *Deutche Industrie Normen (DIN)*, las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Definisi ini juga dapat diartikan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 2000). Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya (Alip, 1989).

Penyambungan logam dengan menggunakan teknik pengelasan dinilai paling ekonomis dibandingkan dengan teknik penyambungan logam yang lain. Pengelasan juga memberikan keuntungan pada pengerjaan suatu konstruksi baik dari aspek teknologi ataupun aspek ekonomis. Adapun keuntungan dari metode pengelasan adalah sebagai berikut (Groover, 1996) :

- Pengelasan memberikan sambungan yang permanen. Kedua bagian yang disambung menjadi satu kesatuan setelah dilas.
- Sambungan las dapat lebih kuat daripada material induknya jika logam pengisi (*filler metal*) yang digunakan memiliki sifat-sifat kekuatan yang tinggi daripada material induknya, dan teknik pengelasan yang digunakan harus tepat.
- Pengelasan biasanya merupakan cara yang paling ekonomis jika ditinjau dari harga pembuatannya dan segi penggunaannya.
- Pengelasan tidak dibatasi hanya pada lingkungan pabrik saja, tetapi pengelasan juga dapat dilakukan atau dikerjakan di lapangan.

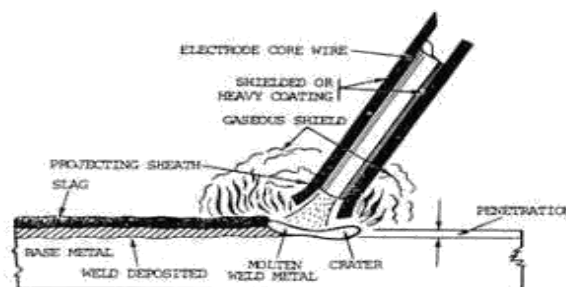
2.1.1 Pengertian Las SMAW

Proses pengelasan (*welding*) merupakan salah satu proses penyambungan material (*material joining*). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (*American Welding Society*), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

Proses pengelasan dimana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (*filler*). Kawat ini dibungkus dengan bahan *fluks*. Biasanya dipakai arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan potensial yang rendah (10-50 V). Selama pengelasan, *fluks* mencair dan membentuk kerak (*slag*) yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam las terhadap udara sekitarnya. *Fluks* juga menghasilkan gas yang bisa melindungi butiran-butiran logam cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan (Wiryosumarto, 2000).

Sebagaimana dalam AWS (*American Welding Society*), prinsip dari SMAW adalah menggunakan panas dari busur untuk mencairkan logam dasar dan ujung sebuah elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23-45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 ampere yang umum digunakan berkisar antara 80–200 ampere. Dimana dalam proses SMAW dapat terjadi oksidasi, hal ini perlu dicegah karena oksidasi metal merupakan senyawa yang tidak mempunyai kekuatan mekanik. Adapun untuk mencegah hal tersebut maka bahan penambah las dilindungi dengan pelapis zat pelindung yang disebut *fluks* atau *slag* yang ikut mencair ketika pengelasan. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan metal yang dicairkan, cairan *fluks* akan mengapung diatas

cairan metal, sekaligus mengisolasi metal tersebut sehingga tidak beroksidasi dengan udara luar. Sewaktu membeku, *fluks* akan ikut membeku dan tetap melindungi metal dari reaksi oksidasi. Pada pengelasan dengan metode SMAW, pengelasan dimulai saat sebuah busur listrik dipukul dengan membuat kontak antara ujung elektroda dan sistem kerja. Panas konstan busur mencairkan ujung elektroda dan permukaan kerja dekat dengan busur. Gelembung-gelembung kecil logam cair dengan cepat terbentuk di ujung elektroda, kemudian ditransfer melalui sungai busur ke dalam kolam las cair. Dengan cara ini, logam pengisi disimpan sebagai elektroda yang dikonsumsi. Busur digerakan sesuai dengan panjang system kerja dan kecepatan perjalanan, titik lebur dan sekering sebagian logam dasar dan terus menambahkan logam pengisi. Saat busur menjadi sumber panas dengan suhu di atas 9000°F (5000°C), pencairan logam dasar terjadi hampir seketika. Jika pengelasan dilakukan baik dalam posisi datar atau horizontal, transfer logam disebabkan oleh gaya gravitasi, ekspansi gas, listrik dan kekuatan elektromagnetik, dan tegangan permukaan. Sedangkan pada posisi las yang lain, gravitasi bekerja terhadap kekuatan lain.



Gambar 2.1. Ilustrasi Pengelasan SMAW

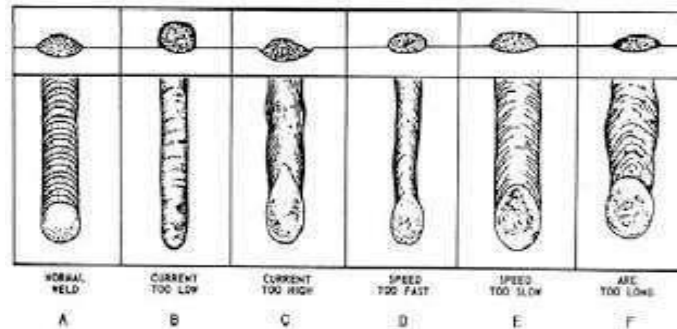
Sumber : <http://www.pengelasan.com>

Proses pengelasan dengan metode SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC.

- Untuk arus AC (*Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai, *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektroda kecil.

- Sedangkan pada arus DC (*Direct Current*), *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektroda dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil.

Hal – hal yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah, sudut elektroda, panjang busur, kecepatan memindahkan busur, tinggi rendah arus yang digunakan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.2 dimana perbedaan hasil pada pengelasan normal (A), pada arus yang terlalu rendah (B), terlalu tinggi (C), kecepatan memindahkan busur yang terlalu cepat (D), terlalu lambat (E), dan dengan arc yang terlalu panjang (F):



Gambar 2.2. Sketsa hasil las SMAW

Sumber : <http://akmalchaka.blogspot.co.id>

2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Las SMAW

Dalam pengerjaannya, pengelasan dengan menggunakan metode SMAW memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan seperti pada jenis pengelasan lainnya.

2.1.2.1 Kelebihan

- Biaya awal yang relatif ekonomis sehingga tidak memerlukan investasi tinggi.
- Secara operasional dalam pengerjaan, metode las SMAW dapat dikatakan handal dan sederhana.
- Biaya material pengisi (elektroda) yang relatif rendah.

- Dalam metode las SMAW, semua material dapat dilas menggunakan peralatan yang sama atau tidak ada peralatan khusus pada material tertentu.
- Dalam pengerjaannya, metode las SMAW tidak harus berada pada tempat fabrikasi. Sehingga las SMAW dapat dilakukan juga di lapangan.
- Las SMAW memiliki fleksibilitas pada posisi pengelasan yang akan dilakukan, maka dapat dikerjakan dengan semua posisi pengelasan.

2.1.2.2 Kekurangan

- Pada pengelasan manual kecepatan pengelasan tidak bisa konstan secara mendetail.
- Pada pengelasan manual jarak antara elektroda dan obyek yang dilas dalam prosesnya tidak bisa selalu sama.
- Pada las SMAW harus dilakukan penggantian stik elektroda secara berkala.
- Terdapat slag yang harus dibersihkan setelah proses pengelasan satu layer selesai.

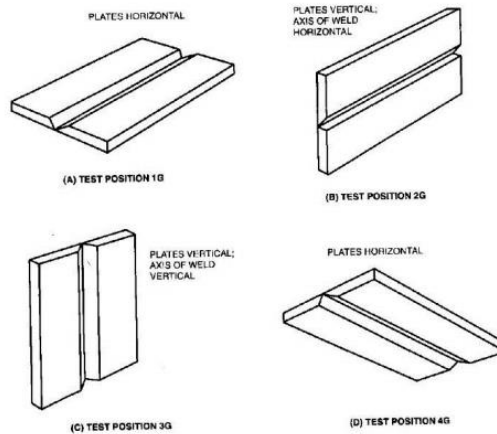
2.2 Posisi Pengelasan

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.



Gambar 2.3. Sketsa Posisi Pengelasan

Sumber : AWS A2.4, 1998

2.3 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wirjosumarto, 2000).

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm ²)	Kek. Tarik (kg/mm ²)	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Unum
Baja Karbon Sedang					
	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Karbon

Sumber : Wirjosumarto, 2000

2.3.1 Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon adalah baja dengan kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah baja jenis *cold rolled steel* dengan kandungan karbon sebesar 0,08% - 0,30% yang biasa digunakan untuk pelat pada bangunan lepas pantai.

2.3.2 Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30% - 0,50%. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang dapat dilas dengan las busur listrik elektroda terlindung dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang terbaik maka dilakukan pemanasan mula sebelum proses pengelasan dilakukan.

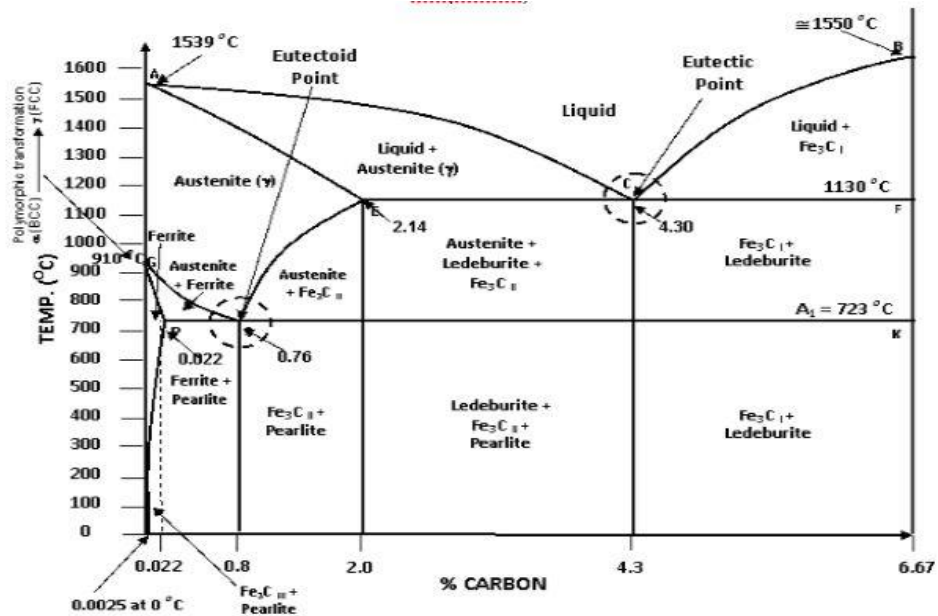
2.3.3 Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi dibandingkan dengan baja karbon yang lain yakni 0,50% - 1,7%. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas dibandingkan dengan baja karbon sedang dan rendah (Sack, 1997). Karena memiliki banyak kandungan karbon dan unsur penguat baja yang lain maka pada daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) mudah terjadi penguatan. Sifat yang mudah mengeras ini ditambah dengan adanya difusi hidrogen menyebabkan baja ini sangat rentan terhadap retak las. Pemanasan mula sebelum pengelasan dan perlakuan panas setelah dilas baik untuk mengurangi retak las pada baja karbon tinggi (Wiryosumarto, 2000).

2.3.4 Siklus Thermal Baja Karbon

Siklus *thermal* akan terjadi pada saat dilakukannya proses pengelasan baja karbon. Siklus *thermal* las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di daerah pengelasan. Gambar 2.7 menunjukkan diagram fasa besi karbon yang menampilkan antara hubungan temperatur dengan perubahan fasa selama proses

pemanasan dan pendinginan yang lambat (Wirjosumarto, 2000). Titik-titik penting yang terdapat pada diagram adalah :



Gambar 2.4 Diagram Fasa Baja Karbon

Sumber : Wirjosumarto, 2000

Berikut Penjelasan Gambar 2.1:

- A : Titik cair besi
- B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*.
- H : Larutan pada δ yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*. Kelarutan maksimum adalah 0,10%.
- J : Titik *peritektik*. Selama pendinginan *austenit* pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi δ dan ke besi γ , titik transformasi A₄ dari besi murni.
- C : Titik *eutektik*, selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan *sementit* pada komposisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa *eutektik* ini disebut *ledeburit*.
- E : Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi *eutektik*. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai komposisi ini disebut baja.

- G : Titik transformasi besi γ dari dan ke besi α . Titik transformasi A_3 untuk besi.
- P : Titik yang menyatakan ferit, fasa α , ada hubungan dengan reaksi *eutectoid*. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%.
- S : Titik *eutectoid*. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi *eutectoid* ini dinamakan reaksi A_1 dan fasa *eutectoid* ini disebut perlit.
- GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari *austenit*. Garis ini dinamakan garis A_3 .
- ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk *sementit* dari *austenit*. Garis ini dinamakan garis A_{cm} .

2.3.5 Fasa Baja Karbon

Fasa-fasa yang terdapat pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut (Suratman, 1994):

2.3.5.1 Ferrite (α)

Ferrite adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* ini akan terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeutectoid* (baja dengan kandungan karbon $< 0,8\%$) yang bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas *thermalnya* tinggi.

2.3.5.2 Austenite (γ)

Fase *Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fasa *austenite* ditemukan pada temperature tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung

perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fasa *austenite* (kristal FCC) dan fasa *Ferrite* (kristal BCC).

2.3.5.3 Cementite (Fe₃C)

Adalah senyawa besi dengan karbon yang pada umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe₃C dengan bentuk sel satuan *ortorombik* dan bersifat keras (65-68) HRC.

2.3.5.4 Pearlite (α + Fe₃C)

Pearlite adalah campuran *ferrite* dan *cementit* berlapis dalam suatu struktur butir, dengan nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur *pearlite* yang kasar, sedangkan struktur mikro *pearlite* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *pearlite* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *pearlite* halus.

2.3.5.5 Martensite

Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenit* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro *martensit* berbentuk seperti jarum-jarum halus, namun bersifat kasar (20-67) HRC dan getas.

2.4 Baja ASTM A53

Baja ASTM A53 adalah baja dengan standarisasi Amerika yaitu ASTM (*American Standard Testing and Material*) Baja karbon jenis ASTM A53 merupakan jenis klasifikasi baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.3% hingga 0.6%. Spesifikasi baja karbon sedang ASTM A53 dirancang untuk pengaplikasian mekanik, tekanan dan dapat diterapkan dalam penggunaan untuk penyalur uap, air, gas dan jalur pendingin. Baja ini dapat digunakan pada pengelasan, juga dapat

memenuhi untuk operasi yang membutuhkan bentuk melingkar ataupun melengkung. Berikut tabel 2.2 komposisi dari baja karbon sedang ASTM A53.

Tabel 2.2. Komposisi Baja ASTM A53

Composition	Grade A	Grade B
Carbon max. %	0.25	0.30
Manganese %	0.95	1.20
Phosphorus, max. %	0.05	0.05
Sulfur, max. %	0.045	0.045
Copper, max. %	0.40	0.40
Nickel, max. %	0.40	0.40
Chromium, max. %	0.40	0.40
Molybdenum, max. %	0.15	0.15
Vanadium, max. %	0.08	0.08

Tabel 2.3. *Material Properties* Baja ASTM A53

	Grade A	Grade B
Tensile Strength, min, psi [MPa]	48000 [330]	60000 [415]
Yield Strength, min, psi [MPa]	30000 [205]	35000 [240]

2.5 Elektroda

Elektroda merupakan salah satu perlengkapan pokok pada pengelasan busur yang berfungsi untuk mengalirkan listrik dari sumber listrik untuk dapat mencairkan logam induk (base metal). Pada elektroda logam, terdiri dari dua bagian, yaitu logam pengisi dan fluks (lapisan luar elektroda). Dimana elektroda juga terbagi menjadi dua sisi, sisi yang pertama merupakan logam yang sudah dilapisi dengan fluks dan akan bertemu langsung dengan logam induk (base metal), pada sisi yang kedua yaitu hanya logam saja tanpa diberi fluks dan terletak di bagian penjepit holder. Lapisan fluks pada pengelasan SMAW memiliki fungsi sebagai berikut (Wiryosumarto, 2008) :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya.
3. Menyediakan terak pelindung yang dapat mencegah kerapuhan logam las akibat pendinginan cepat.
4. Sumber unsur-unsur paduan yang mengisi setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan.
5. Mengontrol frekuensi tetesan logam cair.

Standarisasi elektroda dalam AWS (American Welding Society) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan, dan arus las yang dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang diartikan sebagai berikut :

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- XX : Dua angka setelah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, dimana :
 - a. Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
 - b. Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan di bawah tangan
 - c. Angka 3 untuk pengelasan posisi di bawah tangan
- X : Angka keempat menyatakan arus yang cocok digunakan

Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan adalah elektroda E-7016 dimana elektroda ini dapat digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah hingga menengah, termasuk untuk pengelasan baja ASTM A53. Elektroda E-7016 mempunyai kadar hidrogen yang rendah. Elektroda E-7016 dapat digunakan pada baja dengan kadar karbon rendah hingga menengah. Elektroda E-7016 juga dapat digunakan untuk baja yang mempunyai kekuatan tinggi, sekitar 490 MPa dan cocok untuk logam dasar hingga logam yang tebal. (Sidhu, 2012). Adapun spesifikasi dari masing-masing elektroda dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Komposisi Kimia Elektroda E-7016
(ASTM Handbook, 1995)

Unsur, %	E-7016
Fe	99,10
S	0,014
C	0,124
Ni	0,012
Nb	0,00
Si	0,144
Cr	0,008
V	0,00
Mn	0,558
Mo	0,004
W	0,04
P	0,005
Cu	0,004
Ti	0,01

Tabel 2.5. *Tensile Test Requirements* Elektroda E-7016
(AWS 5.1, 1998)

<i>Electrode</i>	<i>Type of Covering</i>	<i>Tensile Strength</i>		<i>Yield Strength</i>		<i>Elongation</i>
		ksi	Mpa	ksi	Mpa	
E-7016	<i>Low Hydrogen Potassium</i>	70	482	58	399	22

2.6 Pemanasan Mula (*Preheating*)

Pemanasan mula adalah memanaskan sebagian atau seluruh logam yang akan dilas untuk mengurangi perbedaan suhu (*gradient temperature*) yang terjadi antara daerah pengelasan dan daerah lain benda kerja (Alip, 1989). Pemanasan mula dapat dilakukan dengan nyala api oxy-gas, dapur tempa, dan oven. Temperatur pemanasan awal ditentukan dengan kadar karbon logam induk dan telah dikembangkan alat untuk menghitung temperatur pemanasan mula oleh

Lincoln Electric. Temperatur suhu pemanasan mula baja karbon dapat dilihat pada Tabel 2.6. Pemanasan mula dilakukan sampai baja memerah dan tidak mencapai titik kritis serta harus *uniform* diikuti dengan pendinginan yang merata pula, bila pemanasan mula melebihi titik kritis maka akan terjadi perubahan karakteristik bahan.

Tabel 2.6 Suhu Pemanasan Baja Karbon

Kadar Karbon (%)	Suhu pemanasan mula (°C)
0.20 (maks)	90 (maks)
0.20-0.30	90-150
0.30-0.45	150-260
0.45-0.85	260-420

Sumber : Wiryosumarto (2000)

2.7 Pemanasan Setelah (*Postheating*)

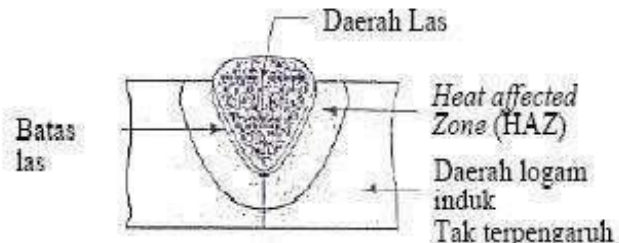
Post Weld Heat Treatment bertujuan untuk memperbaiki struktur mikro, dan meningkatkan sifat mekanik material. Dua metode perlakuan panas pasca las ialah langsung mengatur suhu sesaat setelah pengelasan selesai tanpa menunggu dingin sampai suhu ruangan, dan yang lain ialah dengan memanaskan kembali lasan yang sudah dingin, sampai suhu tertentu, kemudian mendinginkan kembali dengan laju pendinginan tertentu, sesuai dengan ketentuan yang ada.

Pemanasan kembali lasan dalam PWHT ini dapat dilakukan dengan oxy torch, elemen pemanas listrik, dan dalam dapur pemanas, tergantung dari bentuk dan volume benda kerjanya.

2.8 Metalurgi Las

Metalurgi dalam pengelasan, dalam arti yang sempit dapat dibatasi hanya pada logam las dan daerah yang dipengaruhi panas atau *Heat Affected Zone*. Karena dengan mengetahui metalurgi las, memungkinkan meramalkan sifat-sifat dari logam las. Aspek-aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus benar-benar diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Dengan demikian

pengetahuan metalurgi las dan ditambah dengan keahlian dalam operasi pengelasan dapat ditentukan prosedur pengelasan yang baik untuk menjamin hasil las-lasan yang baik. Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah yaitu daerah las, daerah terpengaruh panas las daerah logam induk tidak terpengaruh panas.



Gambar 2.5 Daerah Las

Sumber : Wiryosumarto, 2000

Berikut penjelasan dari gambar daerah las diatas :

- Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
- Daerah las / logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
- Daerah pengaruh panas atau heat effected zone (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wiryosumarto, 2000).

Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*).

2.9 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*). Untuk menghitung besarnya *heat input* pada proses pengelasan dapat digunakan persamaan sebagai berikut (ASME, 2002) :

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

Keterangan :

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

V = Tegangan busur las (Volt)

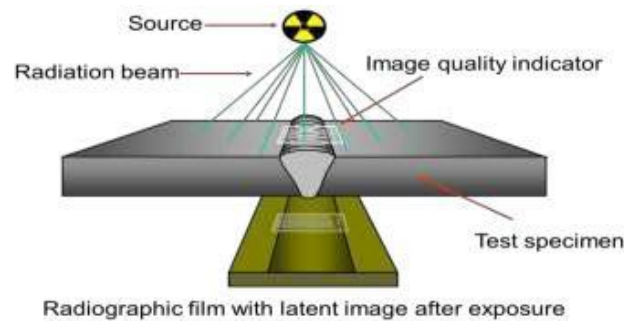
I = Arus las (Ampere)

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

2.10 Pengujian Hasil Las

Pengujian untuk mengetahui kekuatan dan cacat yang terjadi pada sambungan hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian tidak merusak menggunakan metode radiografi .Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan. Pengujian merusak pada daerah lasan dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, antara lain, uji kekerasan, uji tarik, dan uji kelelahan. Jenis pengujian pada penelitian ini menggunakan metode radiografi dan uji mekanik yaitu uji kekerasan *vickers* dan uji metalografi, ditambah lagi uji korosi untuk mengetahui ketahanan sambungan las di lingkungan laut.

2.10.1 Uji Tidak Merusak Radiografi



Gambar 2.6 Ilustrasi NDT Radiografi

Sumber : www.insinyoer.com

Metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film ini lah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat. Pengujian dengan metode ini merujuk pada standar ASME IX.

Kelebihan radiografi:

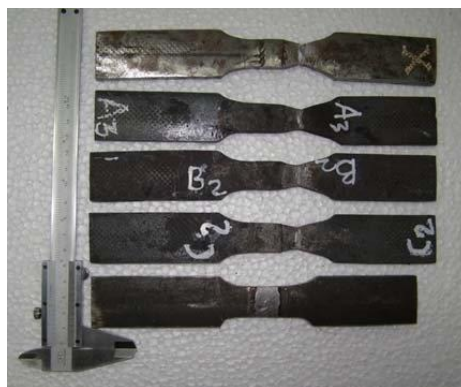
- Persiapan pengujian yang relatif mudah
- Dapat mendeteksi cacat pada permukaan dan dibawah permukaan
- Dapat diaplikasikan untuk segala jenis material
- Dapat diaplikasikan untuk bentuk yang rumit dan struktur yang berlapis tanpa harus membongkar struktur tersebut

Kekurangan radiografi:

- Tidak mudah untuk dioperasikan, butuh keahlian khusus
- Peralatan yang relatif mahal
- Waktu operasi yang lama untuk material yang tebal
- Butuh kedua sisi yang berlawanan dari material
- Sangat dipengaruhi oleh arah radiasi yang dipancarkan dan yang diterima
- Terdapat resiko efek radiasi pada pengguna

2.10.2 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik merupakan pengujian material yang paling dasar dimana material yang sudah dipotong-potong diuji dengan ditarik searah gaya aksial agar mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Pembuatan spesimen harus sesuai dengan standar yang diinginkan. Hasil dari pengujian ini akan mendapatkan profil tarikan berupa diagram tegangan-regangan. (*stress-strain diagram*). Untuk contoh spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Spesimen Uji Tarik

Sumber : www.researchgate.net

Awalnya spesimen dibentuk sesuai standar. Setelah itu dilakukan uji tarik dengan memberikan gaya aksial yang nantinya semakin lama akan mengalami deformasi lokal dan akhirnya putus. Sehingga menghasilkan kekuatan tarik lasan, batas elastis, titik luluh dan daktilitas dan menjelaskan kurva tegangan-regangan dimana tegangan tarik maksimum atau *Ultimate Tensile Stress* (UTS) merupakan kemampuan maksimum material dalam menahan beban. Titik luluh atau *yield point* yakni dimana logam mengalami pertambahan panjang tanpa pertambahan beban yang berat. Dengan kata lain titik luluh merupakan keadaan dimana spesimen terdeformasi dengan beban minimum.

Untuk bahan yang yang tidak memiliki mulur yang baik, maka menggunakan metode penggeseran atau *offset method*. Biasanya jarak pergeseran

regangan sekitar 0,2% berikut rumus untuk melakukan perhitungan setelah uji tarik dilakukan :

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

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

Dimana :

A = *Initial cross section area* (mm²)

F *Ultimate* = *Maximum load* (Newton)

F *Yield* = *Yield load* (Newton)

2.10.3 Uji Metalografi

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

2.10.3.1 Uji Mikro (*Micro Test*)

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan dan ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum memulai pengujian, yaitu ada *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*.

Dari keempat proses tersebut, proses grinding dan polishing adalah proses yang penting. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat teknologis sangat mempengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat berubah terhadap perlakuan panas maupun proses perubahan bentuk dari logam yang akan diuji. Dan proses grinding dan polishing merupakan proses yang tak kalah penting juga karena membuat permukaan spesimen uji menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan

pengujian. Pada proses ini biasa digunakan mesin poles yang memiliki komponen utama berupa motor penggerak, piringan logam, dan keran air.

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

- Pematangan Spesimen

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

- Mounting Spesimen

Proses mounting sebenarnya hanya untuk material yang berukuran kecil, sedangkan untuk material berukuran besar tidak perlu dilakukan proses mounting.

- Grinding dan Polishing

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

- Etsa (etching)

Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengkorosikan permukaan yang telah rata akibat proses grinding dan polishing menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada proses pelaksanaannya, etsa ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dimana tiap jenis logam mempunyai cairan etsa (etching reagent) sendiri-

sendiri-sendiri. Setelah permukaan spesimen di etsa, maka spesimen tersebut siap diamati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi.

2.10.3.2 Uji Makro (*Macro Test*)

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

Pengujian macro test bertujuan untuk melihat bentuk makro material pada daerah pengelasan, yaitu fusion line, heat affected zone, dan weld metal agar bentuk dari lasan dapat terlihat maka harus dilakukan proses machining, grinding, dan polishing kemudian pada daerah lasan di etsa dengan cairan kimia yang diantaranya Acid Nitrid, Asam HCl dan air, agar terbentuk dari lasan antara weld metal, HAZ, dan fusion agar terlihat jelas. Dari hasil pengujian makro ini dapat diketahui visual kualitas lasan dan bentuk lasan.

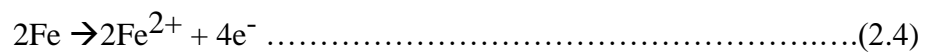
2.11 Korosi

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

pengikatan elektron atau pelepasan ion oksigen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setidaknya terdapat empat elemen utama sebagai syarat terjadinya korosi, yakni :

1. Terdapat material yang bertindak sebagai anoda.

Pada anoda akan terjadi reaksi anodik yang berupa reaksi oksidasi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion positif. Sehingga anoda merupakan bagian yang terurai atau terkorosi. Sebagai contoh, reaksi oksidasi pada logam dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



2. Terdapat material yang bertindak sebagai katoda.

Pada katoda akan terjadi reaksi katodik yang berupa reaksi reduksi dengan mengkonsumsi elektron yang dihasilkan dari reaksi anodik. Sebagai contoh, reaksi reduksi dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



3. Adanya hubungan (*metallic pathway*), dimana arus mengalir dari katoda ke anoda, sedangkan elektron mengalir dari arah sebaliknya.
4. Larutan elektrolit sebagai media korosif yang dapat mengalirkan arus.

2.11.1 Persamaan laju korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambat atau kecepatan penurunan kualitas suatu material terhadap waktu. Untuk mengetahui kecepatan rambat korosi pada suatu material maka harus dilakukan perhitungan. Laju korosi pada hakikatnya berfungsi sebagai acuan untuk menentukan ketahanan suatu material terhadap korosi. Dari ketahanan yang didapat tersebut maka didapatkan kualitas dari suatu material yang diteliti. Salah satu cara menghitung laju korosi adalah dengan menggunakan metode elektrokimia. Prinsip metode elektrokimia adalah metode menentukan laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode ini menentukan laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Kelemahan

metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja dan bersifat estimasi, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi hanya dapat diketahui secara estimasi hasil dari perhitungan. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, sehingga tidak membutuhkan waktu pengukuran yang lama. Berikut rumus laju korosi metode elektro kimia yang menggunakan dasar hukum faraday.

$$\text{Corrosion Penetration Rate} = K \frac{ai}{nD} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

K= Konstanta

a = atomic weight

i = current density ($\frac{\mu a}{cm^3}$)

n = jumlah electron yang hilang

D = density of specimen

Tabel 2.7 Tingkat ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Fontana, 1987)

Relative Corrosion Resistance	<i>Approximate Metric Equivalent</i>				
	mpy	mm/year	µm/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+

2.11.2 Sel Tiga Elektroda

Uji laju korosi pada tugas akhir ini menggunakan alat uji korosi potensiostat Autolab dengan bantuan tiga elektroda yang dialiri arus listrik.

Tegangan yang diberikan nantinya akan direkam oleh software NOVA pada perangkat komputer. Berikut adalah komponen utama dari sel tiga elektroda :

- Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit berfungsi sebagai pengangkut arus ionik, maka dari itu harus diperhatikan dalam pemilihan ataupun dalam peracikan. Larutan elektrolit dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan simulasi air laut salinitas 3.5 %.

- Elektroda Acuan

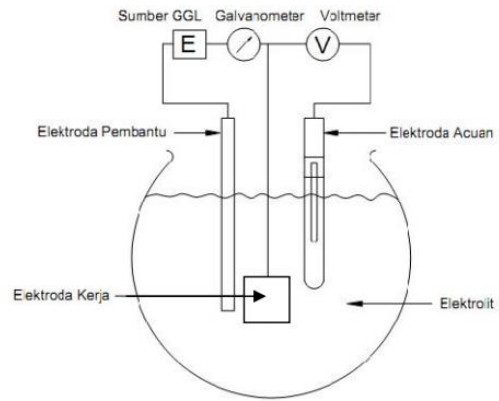
Elektroda acuan adalah elektroda yang berfungsi sebagai acuan untuk pengukuran potensial elektroda kerja pada saat pengujian berlangsung. Arus listrik yang mengalir pada elektroda acuan dibuat sedemikian rupa menjadi seminimal mungkin sehingga arus tersebut dapat diabaikan.

- Elektroda Kerja

Elektroda kerja adalah elektroda adalah speimen yang diteliti laju korosinya. Spesimen yang diteliti ini berperan sebagai elektroda kerja ini harus bersifat bisa menghantarkan arus listrik. Sebelum dilakukan pemasangan terlebih dahulu dipastikan bahwa elektroda kerja sudah digerinda dan diampas sehingga permukannya rata dan halus untuk memudahkan dalam proses pengujian.

- Elektroda Pembantu

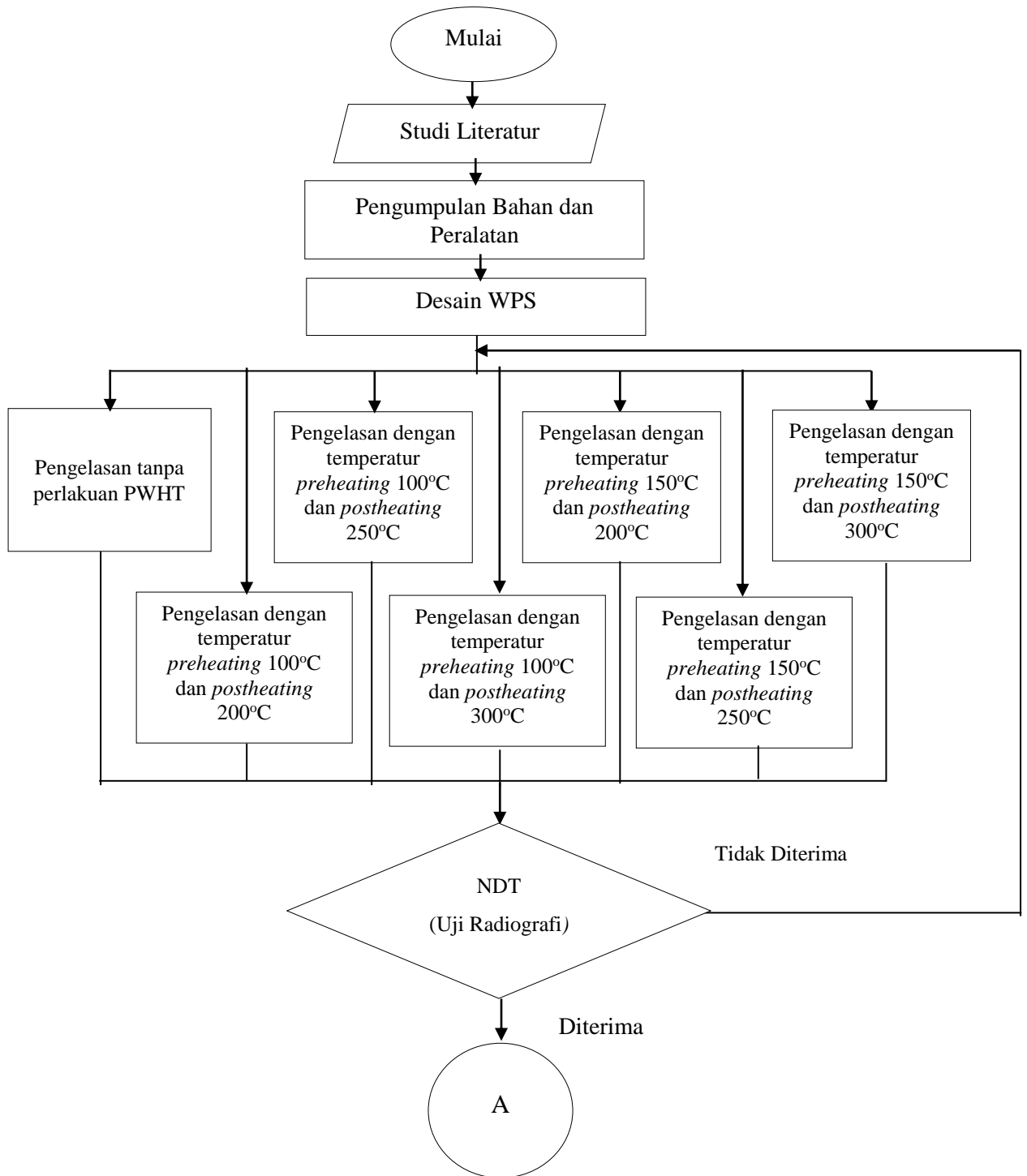
Elektroda pembantu adalah elektroda kedua yang berfungsi sebagai pengangkut arus dalam rangkaian alat sel tiga elektroda. Bahan yang lazim digunakan pada elektroda pembantu adalah sebatang karbon, selain batang karbon bisa digunakan emas dan platina.

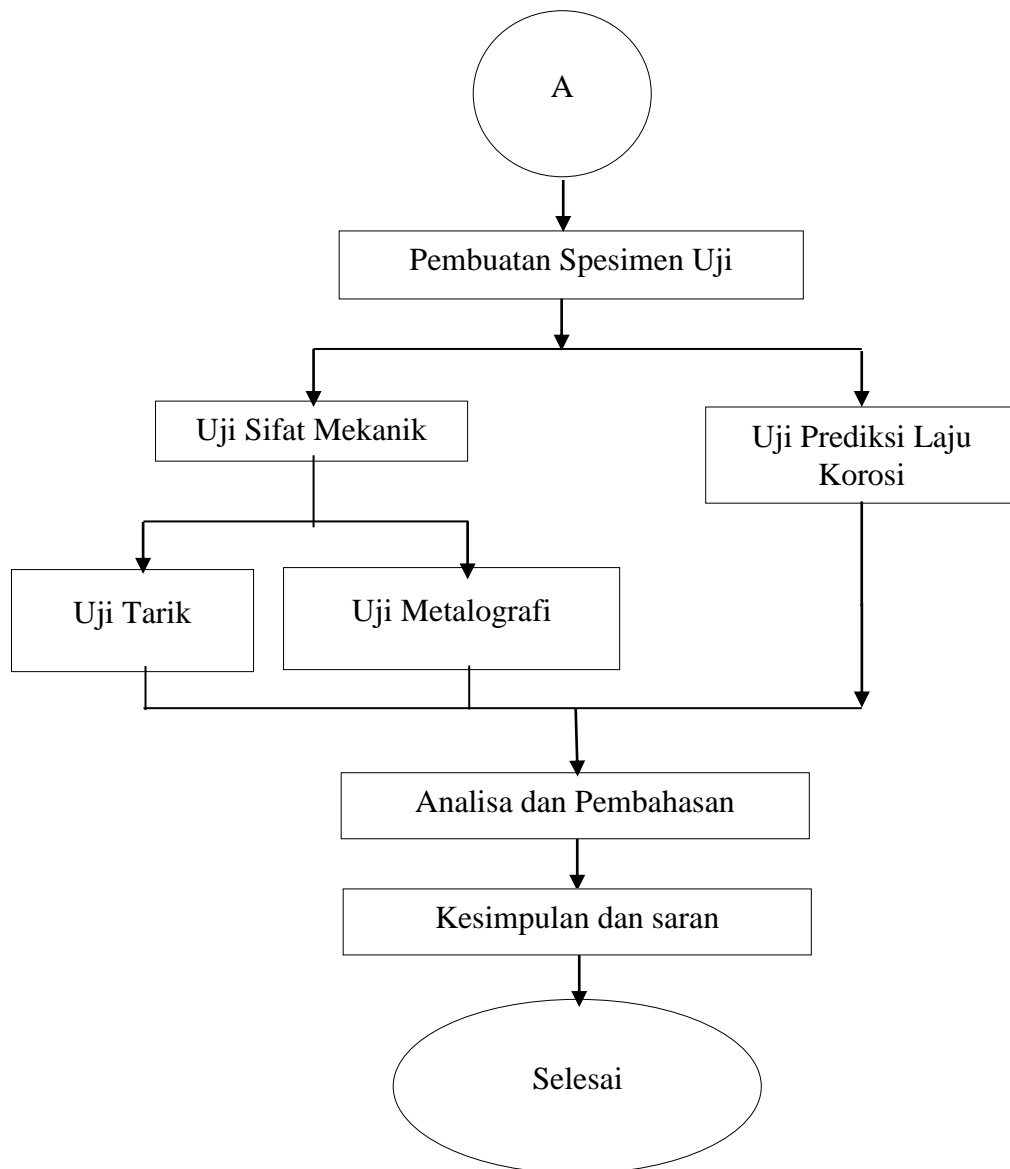


Gambar 2.8 Komponen Sel Tiga Elektroda
 Sumber : www.researchgate.net

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (Flow Chart)





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

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.

3.2.2 Pengumpulan Bahan dan Peralatan

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

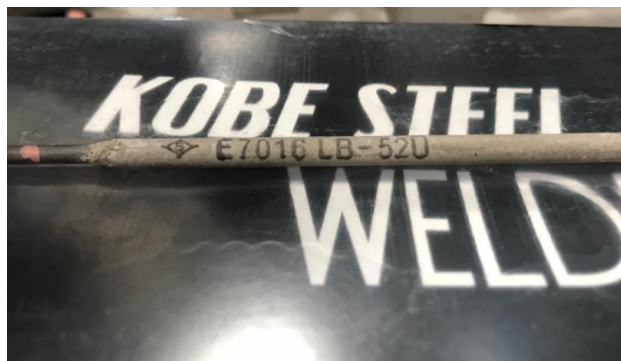
a. Plat Baja ASTM A53 Grade B

Material Plat Baja ASTM A53 Grade B dengan dimensi 200 mm x 150 mm x 10 mm dengan bentuk kampuh *Single V-groove* 60°. Material dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Material Baja ASTM A53 Grade B

b. Elektroda E-7016 dengan merk KOBE STEEL WELD dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Elektroda E-7016

c. Mesin Las SMAW

Untuk Mesin las yang digunakan adalah mesin las untuk pengelasan SMAW. Untuk gambar mesin pengelasan SMAW bisa dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Mesin Las SMAW

d. Mesin Blander

Mesin Blander disini berperan sebagai alat pemberi pemanasan sebelum (*preheating*) dan pemanasan sesudah (*postheating*) seperti pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Mesin Blander

- e. Penggaris
- f. Sarung tangan las
- g. Masker
- h. Helm las
- i. *Holder*
- j. Sikat baja
- k. Palu
- l. Kacamata las

- m. *Stopwatch*
- n. Penjepit baja
- o. Mesin Gerinda

3.2.3 Proses Pengelasan

Proses pengelasan adalah proses dimana dilakukan penyambungan dua logam yang nantinya akan menjadi sebuah specimen baru untuk diuji. Pada penelitian tugas akhir ini sebelum dan sesudah dilakukan proses pengelasan spesimen tersebut akan diberi perlakuan *preheating* atau pemanasan mula dengan temperatur 100°C dan 150°C dan *postheating* atau pemanasan sesudah dengan temperatur 200°C, 250°C dan 300°C dan satu spesimen tanpa perlakuan *preheating* dan *postheating*. Proses pengelasan pada penelitian tugas akhir ini dilakukan berdasarkan pada acuan standard ASME section IX tentang prosedur pengelasan material baja. Proses pengelasan seperti pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.6 Proses Pengelasan Spesimen

Tipe sambungan yang digunakan adalah butt joint, dimana tipe ini digunakan untuk menyatukan dua material dalam posisi sejajar / sebidang. Tipe sambungan ini sering digunakan untuk penyambungan pelat, lembaran logam, dan sambungan pipa. Pengelasan dilakukan dengan menyambungkan antara material baja A53 dengan memvariasikan temperatur *preheating* dan *postheating* sesuai

dengan WPS yang telah dibuat. Pengelasan dilakukan dengan 4 layer, dimana masing-masing layer mempunyai arus, tegangan, dan kecepatan ayunan yang berbeda. Setelah satu layer selesai dikerjakan, maka akan dilakukan proses pembersihan slag dengan menggunakan palu dan mesin gerinda, lalu dilanjutkan ke layer selanjutnya.

3.2.4 Proses *Preheating*

Preheating pada pengelasan untuk menurunkan gradient temperatur. Pada material yang dilas akan terjadi perbedaan temperatur antara sumber panas lokal dan material induk yang lebih dingin ketika pengelasan berlangsung. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan pemuaian panas dan kontraksi serta tegangan yang tinggi disekitar area yang dilas. *Preheating* akan mengurangi perbedaan temperatur dari material induk sehingga akan meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi, tegangan sisa yang berlebih maupun sifat martensit yang merugikan. Apabila tidak dilakukan *preheating* maka bisa terjadi perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Variasi temperatur *preheating* yang diberikan adalah 100°C dan 150°C. Proses *preheating* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Proses *preheating* pada Material

3.2.5 Proses *Postheating*

Seperti halnya dengan *preheating*, *postheating* mempunyai tujuan untuk memperlambat proses pendinginan pasca pengelasan. Karena jika pengelasan dilakukan tanpa *postheating* terutama pada baja karbon sedang dan tinggi, pendinginan yang terlalu cepat tersebut akan menghasilkan sifat martensit pada hasil pengelasan yang sangat merugikan, karena sifat martensit ini sangatlah keras dan getas akibat dari cepatnya proses pendinginan hasil lasan. Oleh karena itu dibutuhkan proses *postheating* untuk memperlambat proses pendinginan pasca pengelasan untuk menghindari sifat martensit pada hasil lasan. Pada penelitian ini, variasi temperatur *postheating* yang diberikan adalah 200°C, 250°C dan 300°C. Proses *preheating* dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Proses *postheating* pada Material

3.2.6 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 7 buah spesimen yang sudah di las untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan. Apabila 7 buah

spesimen telah dilakukan proses NDT dan tidak ditemukan cacat las, maka pengujian laboratorium dapat dilaksanakan.

3.2.7 Pengujian Tarik

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 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 pada mesin pengujian tarik.
- Lalu, spesimen uji dijepit dengan pencekram (grip) dari mesin tarik pada bagian ujung-ujungnya.
- Kemudian, spesimen ditarik memanjang secara perlahan hingga spesimen menjadi patah.



Gambar 3.9 Alat Uji Tarik

Selama proses pengujian tarik akan tercatat setiap saat dengan grafik yang tersedia pada mesin pengujian tarik untuk mengetahui ultimate strength dan yield strength pada spesimen uji.

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 ASME Section IX.

Untuk perbesaran yang digunakan, pada foto makro digunakan perbesaran 7x dengan menggunakan DSLR. Sedangkan untuk foto mikro digunakan perbesaran 400x dengan menggunakan mikroskop. Daerah yang diamati adalah pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Untuk peralatan pengamatan struktur mikro ada pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Mikroskop untuk Pengamatan Struktur Mikro

3.2.9 Pengujian Laju Korosi

Prediksi laju korosi untuk tugas akhir ini menggunakan metode sel 3 elektroda dan juga menggunakan software NOVA untuk merekam arus yang dihasilkan pada setiap tegangan yang diberikan. Standar yang digunakan untuk melakukan pengujian ini adalah ASTM G102. Ukuran sampel yang digunakan untuk pengujian ini berukuran adalah 20 mm x 20 mm x 10 mm seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Pengujian Prediksi Laju Korosi

Tahapan proses prediksi laju korosi adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan alat dan bahan pengujian, seperti: spesimen uji, elektroda acuan (Ag/AgCl), elektroda pembantu (Platina), larutan NaCl 3.5%, dan seperangkat alat pengujian korosi Potensiotat Autolab PGSTAT128N.
2. Spesimen uji, elektroda Ag/AgCl, dan elektroda platina diletakkan di dalam gelas beaker dengan menggunakan tang penjepit. Masing-masing elektroda tidak boleh saling bersentuhan seperti pada Gambar 3.28.
3. Sumber potensial pada software NOVA yang terhubung dengan seperangkat Potensiotat Autolab PGSTAT128N diatur pada -500 mv sampai dengan +500 mv.
4. Software NOVA selanjutnya secara otomatis akan menampilkan grafik tafel yang dibuat secara bertahap ketika nilai potensial dari spesimen di temukan.
5. Kemudian setelah grafik tabel terbentuk, dibutuhkan data massa jenis material yang diuji (g/cm^3), berat atom logam (g/mol), serta luas permukaan material uji (cm^2) untuk dimasukan pada *software*. Data tersebut digunakan untuk menghitung laju korosi.
6. Hasil yang digunakan untuk mengetahui besarnya prediksi laju korosi spesimen adalah laju korosi, kuat arus korosi, dan beda potensial korosi. Untuk mengetahui nilai tersebut, grafik harus diplot terlebih dahulu.

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

3.2.11 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisa dan pembahasan mengenai pengelasan dan beberapa pengujian sifat mekanik material, maka dapat ditarik kesimpulan mengenai eksperimen yang telah dilakukan. Lalu dilanjutkan dengan saran-saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian-penelitian yang sebidang dengan penelitian yang sudah dilakukan.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

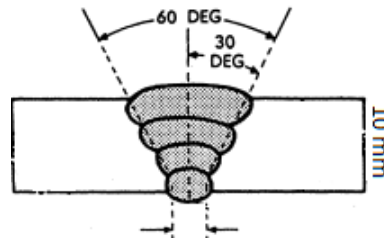
4.1 *Welding Procedure Specification (WPS)*

Welding Procedure Specification (WPS) adalah prosedur tertulis yang telah terqualifikasi yang disiapkan sebagai panduan untuk operator las dalam melakukan pengelasan yang memenuhi semua persyaratan standard maupun code yang sudah ditentukan sebelumnya. *Welding Procedure Specification* wajib harus dipersiapkan sebelum dilakukannya proses pengelasan. hal ini diterapkan pada pengelasan berbagai produk peralatan atau mesin-mesin industri tersebut yang antara lain adalah pressure vessel, heat exchanger, dan peralatan offshore.

Proses pengelasan dilakukan di PT. Kampuh Welding Indonesia, dengan metode pengelasan SMAW di darat. Adapun mengenai *Welding Procedure Specification* pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Spesifikasi Material	: ASTM A53
Dimensi	: 200 mm x 150 mm x 10 mm
Proses Pengelasan	: SMAW
Tipe Sambungan	: <i>Butt Joint Single V– Groove</i>
<i>Groove</i>	: 60°
<i>Preheating</i>	: 100°C, 150°C
<i>Postheating</i>	: 200°C, 250°C, 300°C
Posisi Pengelasan	: 1G
AWS No. (<i>Class</i>)	: AWS E-7016
Diameter <i>Filler Metal</i>	: Ø 2.6 mm & Ø 3.2 mm
Arus Pengelasan	: DCEP
Jumlah <i>Layer</i>	: 4 <i>Layer</i>
Metode Pembersihan	: <i>Grinding & Wire Brush</i>
<i>Shielding Gas</i>	: N/A
<i>Purge Gas</i>	: N/A
Welder	: Soegiantoro

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 Tanpa Perlakuan PWHT

Pada eksperimen spesimen 1, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 tanpa perlakuan PWHT dan *heat input* rata-rata 1,0 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 layer dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 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* pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	0,96	1.2
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2,35	0.9
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2,19	0.9
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2,53	0.8
Heat Input Rata-rata								1.0

4.1.2 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Pada eksperimen spesimen 2, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 dengan temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C dan *heat input* rata-rata 1,1 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 *layer* dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 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* Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	0.93	1.2
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.15	1.0
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.00	1.0
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.12	1.0
Heat Input Rata-rata								1.1

4.1.3 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

Pada eksperimen spesimen 3, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 dengan temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C dan *heat input* rata-rata 1,0 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 *layer* dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus

pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 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* Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	1.17	1.0
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	1.90	1.1
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.35	0.9
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.53	0.8
Heat Input Rata-rata								1.0

4.1.4 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Pada eksperimen spesimen 4, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 dengan temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C dan *heat input* rata-rata 1,0 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 *layer* dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 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* Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	0.97	1.2
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.06	1.0
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.73	0.7
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.67	0.8
Heat Input Rata-rata								1.0

4.1.5 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Pada eksperimen spesimen 5, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 dengan temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C dan *heat input* rata-rata 1,0 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 *layer* dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 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* Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	0.89	1.3
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.38	0.9

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.32	0.9
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.41	0.9
Heat Input Rata-rata								1.0

4.1.6 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Pada eksperimen spesimen 6, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 dengan temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C dan *heat input* rata-rata 1,1 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 *layer* dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 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* Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	0.99	1.2
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.11	1.0
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.04	1.0
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.06	1.0
Heat Input Rata-rata								1.1

4.1.7 *Welding Procedure Specification* pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Pada eksperimen spesimen 7, terdiri dari penyambungan material baja ASTM A53 dengan elektroda E-7016 dengan temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C dan *heat input* rata-rata 1,1 kJ/mm. Pengelasan dilakukan dalam 4 *layer* dengan menggunakan arus DCEP. Adapun parameter-parameter yang digunakan, diantaranya untuk arus pada *layer* pertama (*root*) antara 55 A, dan tegangannya antara 22 V, untuk arus pada *layer* kedua dan ketiga (*filler*) antara 95 A, dan tegangannya 23 V, dan untuk arus pada *layer* keempat (*cap*) antara 95, dan tegangannya 23 V. Adapun lebih jelasnya data yang diperoleh dari hasil pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7. *Welding Procedure Specification* Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Diameter (mm)	Polarity	Ampere			
1	SMAW	E 7016	2,6 mm	DCEP	55	22	0.90	1.3
2	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.63	0.8
3	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	2.30	0.9
4	SMAW	E 7016	3,2 mm	DCEP	95	23	1.96	1.1
Heat Input Rata-rata								1.1

4.1.8 Analisa Hasil Pengelasan

Pada analisa hasil pengelasan yang telah dilakukan berdasarkan *Welding Procedure Specification* (WPS), didapatkan kesimpulan bahwa semakin rendah nilai *travel speed*, maka *heat input* yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena pada rumus *heat input*, *travel speed* merupakan angka pembagi. Jadi semakin rendah angka pembagi (*travel speed*) tersebut, maka akan semakin tinggi nilai *heat input* yang didapatkan.

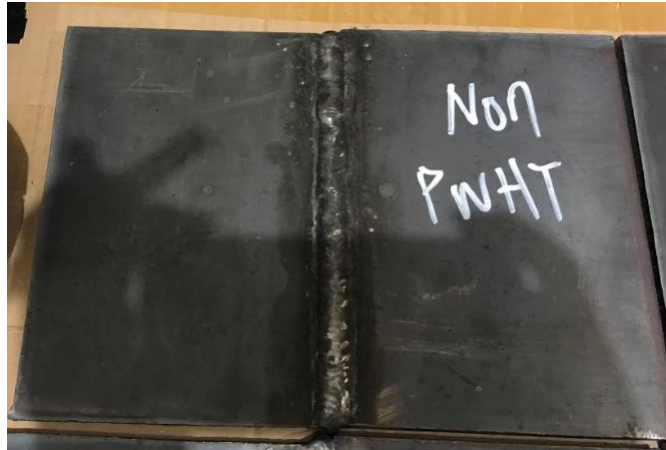
4.2 Pengujian NDT Radiografi (*Radiography Test*)

Pada pengujian NDT radiografi ini dilakukan di PT. Robutech yang beralamatkan di Jalan Semolowaru. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat pada hasil pengelasan untuk masing-masing spesimen, dimana pengujian ini menggunakan radiasi sinar radioaktif dan film fotografi. Radiasi sinar tersebut akan dipaparkan pada benda uji, dan sinar yang telah dipaparkan akan dipantulkan kembali ke film fotografi, sehingga menghasilkan gambaran struktur hasil pengelasan dan *base metal* yang dipaparkan dalam sebuah foto film.

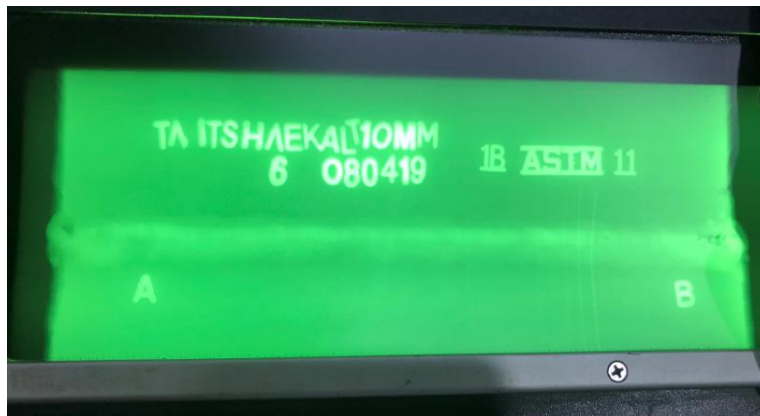
4.2.1 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

Pada hasil pengujian NDT spesimen tanpa perlakuan PWHT, terdapat *porosity* diluar *interest area* yang mana tidak menjadi masalah karena bagian tersebut tidak akan digunakan untuk spesimen uji. *Porosity* diluar *interest area* ini disebabkan karena bagian tersebut merupakan bagian *tack weld* atau las kunci, sehingga tidak berpengaruh pada pengujian yang akan dilakukan. Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, tertulis bagian yang digunakan untuk spesimen uji adalah di *interest area* saja.

Pada hasil NDT radiografi untuk spesimen tanpa perlakuan PWHT, tidak didapatkan cacat las sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen tanpa perlakuan PWHT dapat dilihat pada Gambar 4.2, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2. Hasil Pengelasan Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

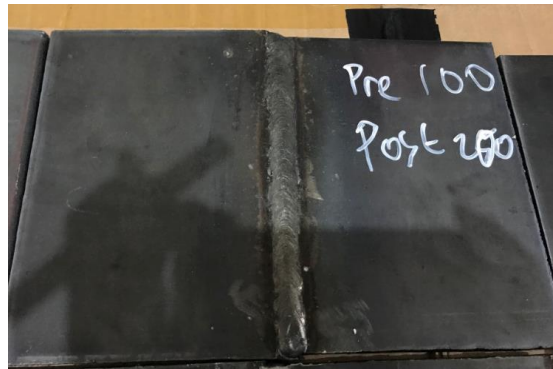


Gambar 4.3. Hasil Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

4.2.2 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, terdapat *porosity* diluar *interest area* yang mana tidak menjadi masalah karena bagian tersebut tidak akan digunakan untuk spesimen uji. *Porosity* diluar *interest area* ini disebabkan karena bagian tersebut merupakan bagian *tack weld* atau las kunci, sehingga tidak berpengaruh pada pengujian yang akan dilakukan. Pada *ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, tertulis bagian yang digunakan untuk spesimen uji adalah di *interest area* saja.

Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, tidak didapatkan cacat las sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen tanpa perlakuan PWHT dapat dilihat pada Gambar 4.4, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4. Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

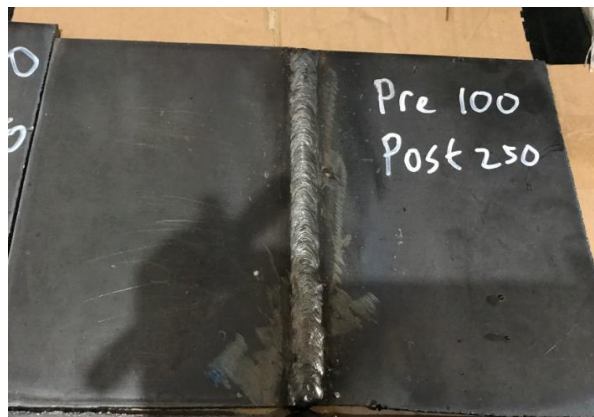


Gambar 4.5. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

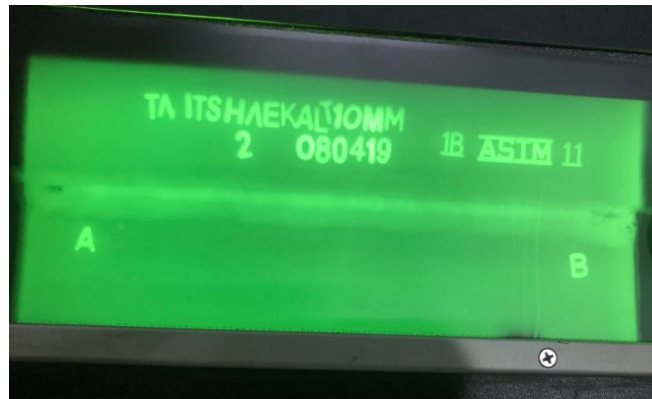
4.2.3 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, terdapat *porosity* diluar *interest area* yang mana tidak menjadi masalah karena bagian tersebut tidak akan digunakan untuk spesimen uji. *Porosity* diluar *interest area* ini disebabkan karena bagian tersebut merupakan bagian *tack weld* atau las kuncian. Pada *ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, tertulis bagian yang digunakan untuk spesimen uji adalah di *interest area* saja.

Pada hasil NDT radiografi untuk spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, tidak didapatkan cacat las sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C dapat dilihat pada Gambar 4.6, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.6. Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

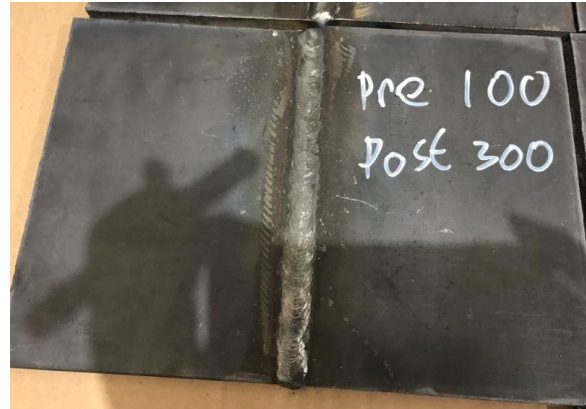


Gambar 4.7. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

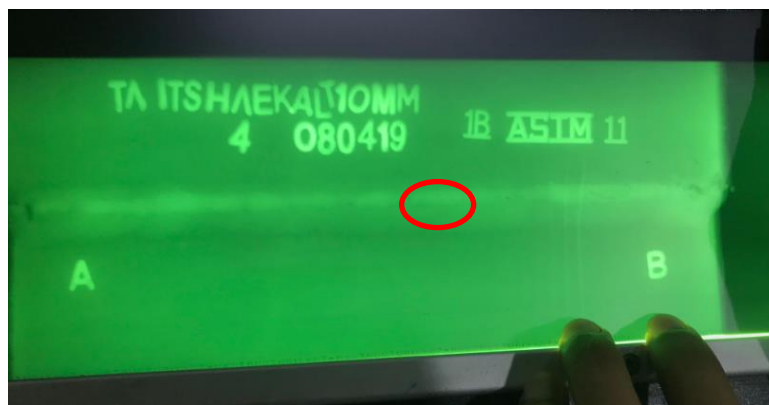
4.2.4 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, didapatkan jenis cacat las berupa *elongated* sepanjang 1,2 mm di dalam *interest area*. *Elongated* merupakan salah satu jenis cacat porositas yang berbentuk lubang memanjang dan sejajar dengan akar las. *Elongated* ini disebabkan karena kurang stabilnya kondisi pembakaran pada saat proses pengelasan. Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *elongated 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 NDT radiografi untuk spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, didapatkan cacat las berupa *elongated* sepanjang 1,2 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C dapat dilihat pada Gambar 4.8, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8. Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C



Gambar 4.9. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

4.2.5 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

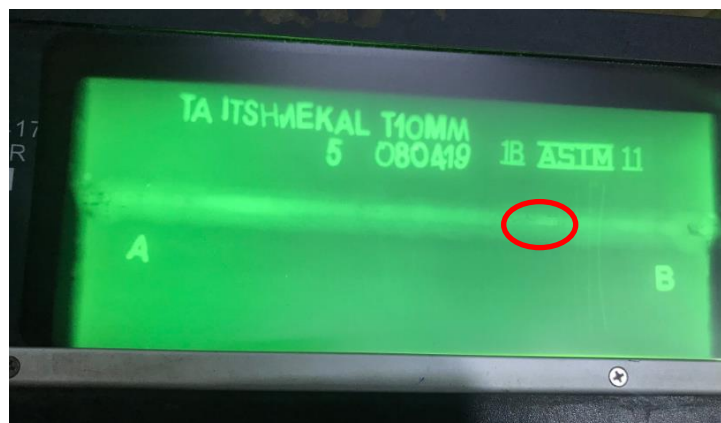
Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, didapatkan jenis cacat las berupa *elongated* sepanjang 1,3 mm di dalam *interest area*. *Elongated* merupakan salah satu jenis cacat porositas yang berbentuk lubang memanjang dan sejajar dengan akar las. *Elongated* ini disebabkan karena kurang stabilnya kondisi pembakaran pada saat proses pengelasan. Pada ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification, jenis cacat *elongated porosity* terdapat pada kategori *rounded indications*. Dimana tertulis dalam *acceptence 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 NDT radiografi untuk spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, didapatkan cacat las berupa *elongated* sepanjang 1,3 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C dapat dilihat pada Gambar 4.10, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10. Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C



Gambar 4.11. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

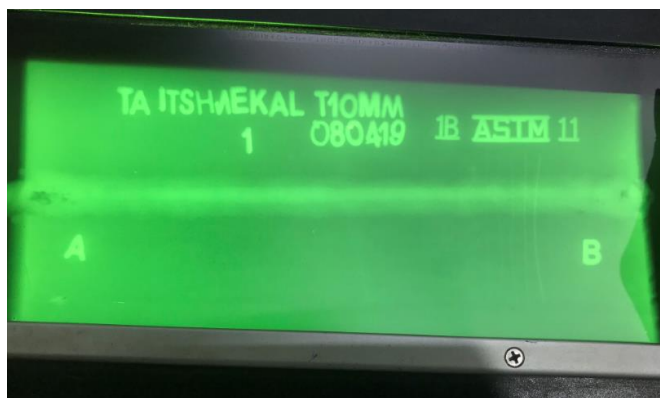
4.2.6 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, terdapat *porosity* diluar *interest area* yang mana tidak menjadi masalah karena bagian tersebut tidak akan digunakan untuk spesimen uji. *Porosity* diluar *interest area* ini disebabkan karena bagian tersebut merupakan bagian *tack weld* atau las kuncian. Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, tertulis bagian yang digunakan untuk spesimen uji adalah di *interest area* saja.

Pada hasil NDT radiografi untuk spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, tidak didapatkan cacat las sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C dapat dilihat pada Gambar 4.12, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.12. Hasil Pengelasan Spesimen dengan perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C



Gambar 4.13. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

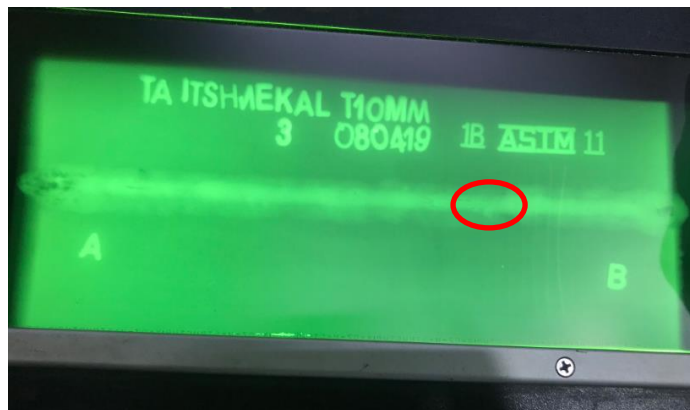
4.2.7 Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Pada hasil pengujian NDT spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C, didapatkan jenis cacat las berupa *elongated* sepanjang 1,5 mm di dalam *interest area*. *Elongated* merupakan salah satu jenis cacat porositas yang berbentuk lubang memanjang dan sejajar dengan akar las. *Elongated* ini disebabkan karena kurang stabilnya kondisi pembakaran pada saat proses pengelasan. Pada ASME *Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification*, jenis cacat *elongated 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 NDT radiografi untuk spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C, didapatkan cacat las berupa *elongated* sepanjang 1,5 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan pada spesimen ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke pengujian selanjutnya. Gambar hasil pengelasan spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C dapat dilihat pada Gambar 4.14, sedangkan hasil NDT radiografi nya dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.14. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C



Gambar 4.15. Hasil Pengujian NDT Radiografi Spesimen dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

4.3 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian kekuatan tarik dilaksanakan di Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Kapal di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS. Standar yang digunakan pada pengujian ini adalah ASME *Section IX*. Tujuan dari pengujian kekuatan tarik ini adalah 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.

4.3.1 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

Pada spesimen tanpa perlakuan PWHT, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,56 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,65 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 186,99 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 60 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 84 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 320,87 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 449,22 MPa. Pada spesimen tanpa perlakuan PWHT, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen tanpa perlakuan PWHT dapat dilihat pada Tabel 4.8, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Tabel 4.8. Hasil Kekuatan Tarik pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

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
6	19.56	9.65	186.99	60	84	320.87	449.22	BM



Gambar 4.16 Hasil Uji Tarik pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

4.3.2 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,49 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,63 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 187,68 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 64 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 86 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 341,01 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 458,22 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C dapat dilihat pada Tabel 4.9, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Tabel 4.9. Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

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)	
7	19.49	9.63	187.68	64	86	341.01	458.22	BM



Gambar 4.17. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

4.3.3 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,33 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,51 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 183,82 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 69 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 85 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 375,37 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 462,41 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C dapat dilihat pada Tabel 4.10, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Tabel 4.10. Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

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)	
2	19.33	9.51	183.82	69	85	375,37	462,41	BM



Gambar 4.18. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

4.3.4 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,28 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,53 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 183,74 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 65 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 87 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 353,76 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 473,49 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C dapat dilihat pada Tabel 4.11, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.19.

Tabel 4.11. Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

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	19.28	9.53	183.74	65	87	353.76	473.49	BM



Gambar 4.19. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

4.3.5 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,55 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,55 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 186,70 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 70 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 86 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 374,93 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 460,63 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C dapat dilihat pada Tabel 4.12, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.20.

Tabel 4.12. Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

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)	
5	19.55	9.55	186.70	70	86	374,93	460,63	BM



Gambar 4.20. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

4.3.6 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,35 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,56 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 184,98 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 65 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 87 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 351,38 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 470,32 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C dapat dilihat pada Tabel 4.13, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Tabel 4.13. Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

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	19.35	9.56	184.98	65	87	351.38	470.32	BM



Gambar 4.21. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

4.3.7 Hasil Uji Tarik Pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, ukuran lebar daerah uji material adalah 19,46 mm dan ketebalan daerah uji material adalah 9,43 mm, sehingga didapatkan luasan permukaan uji (CSA) sebesar 183,51 mm². Untuk nilai dari *yield force* (F_y) adalah 67 kN dan nilai dari *ultimate force* (F_u) adalah 88 kN, sehingga didapatkan nilai *yield strength* sebesar 365,10 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 479,53 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, daerah yang mengalami patahan adalah pada bagian *base metal*. Untuk rincian hasil kekuatan tarik pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C dapat dilihat pada Tabel 4.14, dan untuk mengetahui daerah yang patah dapat dilihat pada Gambar 4.22.

Tabel 4.14. Hasil Kekuatan Tarik pada Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

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	19.46	9.43	183.51	67	88	365.10	479.53	BM

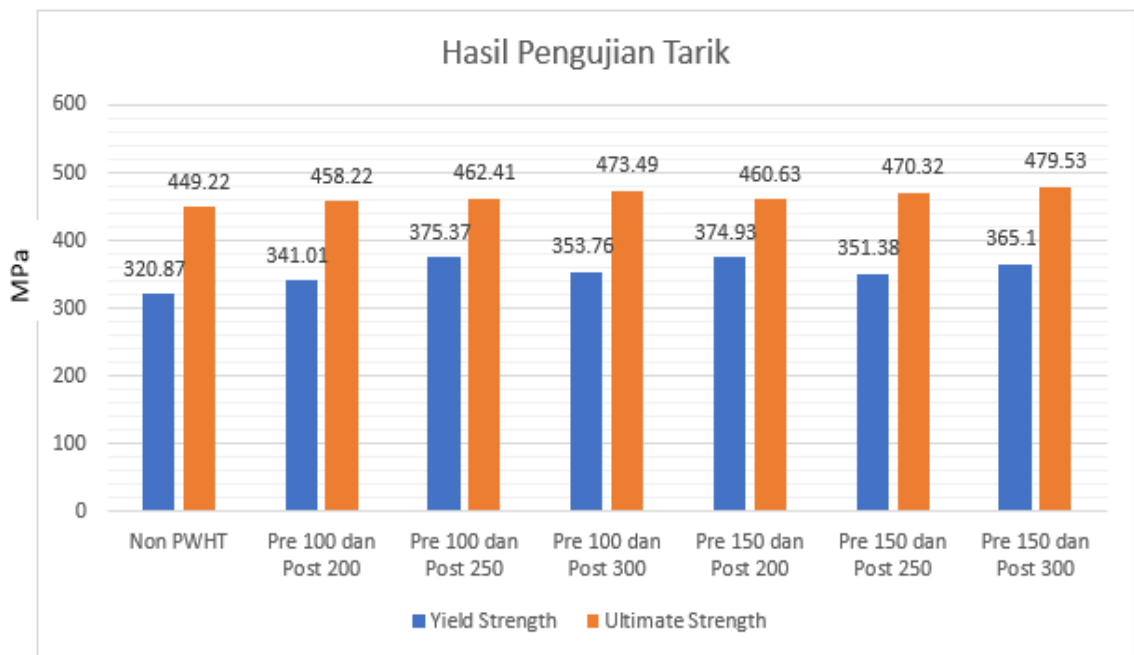


Gambar 4.22. Hasil Uji Tarik pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

4.3.8 Analisa Hasil Uji Tarik

Kriteria hasil pengujian tarik dapat diterima, apabila kekuatan tarik (yield strength dan ultimate strength) dari spesimen uji harus lebih besar dari kekuatan tarik minimum yang telah ditetapkan dari logam dasar. Pada base metal A53 mempunyai kriteria yield strength sebesar 205 MPa dan ultimate strength sebesar 330 MPa.

Pada spesimen tanpa perlakuan PWHT didapatkan nilai *yield strength* sebesar 320,87 MPa dan *ultimate strength* sebesar 449,22 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C didapatkan nilai *yield strength* sebesar 341,01 MPa dan *ultimate strength* sebesar 458,22 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C didapatkan nilai *yield strength* sebesar 375,37 MPa dan *ultimate strength* sebesar 462,41 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C didapatkan nilai *yield strength* sebesar 353,76 MPa dan *ultimate strength* sebesar 473,49 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C didapatkan nilai *yield strength* sebesar 374,93 MPa dan *ultimate strength* sebesar 460,63 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C didapatkan nilai *yield strength* sebesar 351,38 MPa dan *ultimate strength* sebesar 470,32 MPa. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C didapatkan nilai *yield strength* sebesar 365,10 MPa dan *ultimate strength* sebesar 479,53 MPa. Dari ketujuh spesimen hasil pengujian tarik ini, dinyatakan semua spesimen lolos dari pengujian tarik. Untuk grafik hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23. Grafik Hasil Uji Tarik

Berdasarkan Gambar 4.23, dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan spesimen baja ASTM A53 dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih bagus daripada spesimen yang lainnya. Hal ini dikarenakan semakin tingginya temperatur *postheating* yang diberikan, maka laju pendinginan pada material tersebut akan lebih lama. Sehingga terbentuklah sifat *pearlite* yang lebih banyak, karena pada fasa *pearlite* ini sifat material akan menjadi lebih ulet namun juga tetap memiliki sifat keras karena campuran fasa *cementite*, karena *pearlite* adalah gabungan dari fasa *ferrite* dan *cementite*.

4.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilaksanakan di Laboratorium Kontruksi dan Kekuatan Kapal di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS. Pengujian makro merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui daerah-daerah hasil proses pengelasan, diantaranya pada daerah HAZ (Heat Affected Zone), daerah weld metal, dan daerah base metal. Selain itu, fungsi dari pengujian makro adalah untuk mengetahui cacat las yang ada di dalam hasil pengelasan. Pada foto struktur makro, dilakukan dengan perbesaran 7x dengan menggunakan DSLR. Sedangkan, pengujian mikro merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui bentuk dan perubahan struktur mikro akibat adanya perubahan fase, dalam hal ini struktur mikro pengelasan. Pada foto struktur mikro, dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron dengan perbesaran 400x. Sebelum pengujian metalografi ini dikerjakan, dilakukan lah terlebih dahulu proses pemolesan. Proses ini dimulai dengan pemolesan menggunakan kertas gosok dengan grit 80, 120, 200, 320, 400, 600, 800, 1000, 1500 dan 2000. Setelah proses pemolesan dengan menggunakan kertas gosok, dilanjutkan dengan proses etsa agar material uji dapat terlihat struktur nya lebih jelas. Proses etsa ini menggunakan campuran antara HNO₃ dengan alkohol. Setelah proses etsa dilakukan, maka pengamatan struktur makro dan mikro dapat dilaksanakan.

4.4.1 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

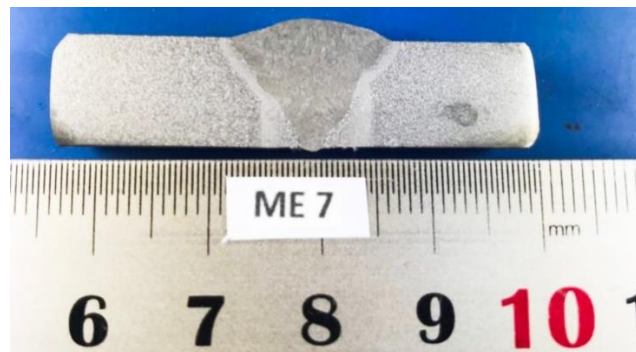
Pada pengamatan foto makro spesimen tanpa perlakuan PWHT, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen tanpa perlakuan PWHT, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen tanpa perlakuan PWHT adalah sepanjang 16 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. Hasil Foto Makro pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

4.4.2 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Pada pengamatan foto makro spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C adalah sepanjang 18 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

4.4.3 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

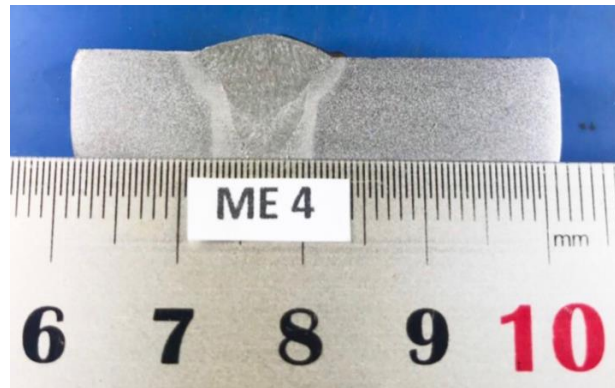
Pada pengamatan foto makro spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C adalah sepanjang 19 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26. Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

4.4.4 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Pada pengamatan foto makro spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C adalah sepanjang 19 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27. Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

4.4.5 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

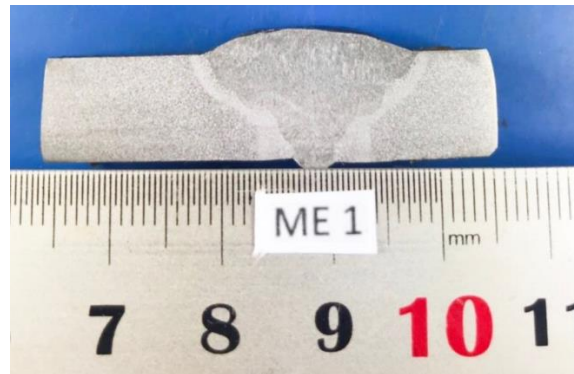
Pada pengamatan foto makro spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C adalah sepanjang 22 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

4.4.6 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

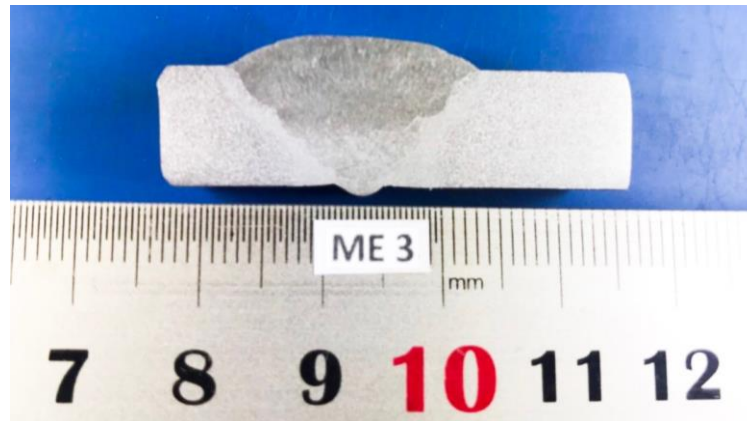
Pada pengamatan foto makro spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C adalah sepanjang 22 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29. Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

4.4.7 Hasil Pengamatan Foto Makro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Pada pengamatan foto makro spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C, tidak ditemukan cacat las pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal. Untuk panjang dari daerah HAZ pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C adalah sepanjang 23 mm. Untuk hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar 4.30.



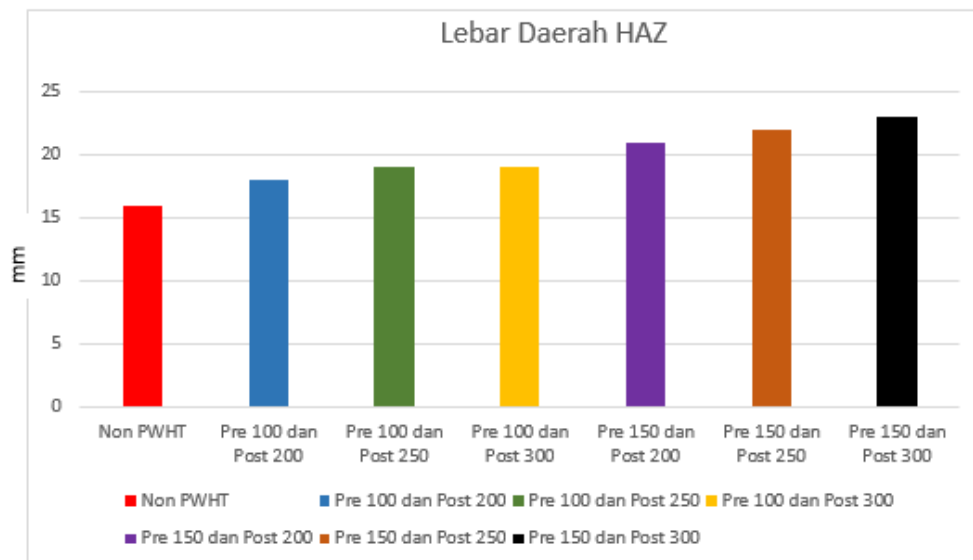
Gambar 4.30. Hasil Foto Makro pada Spesimen Dengan Perlakuan *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

4.4.8 Analisa Hasil Foto Makro

Pada hasil foto makro, didapatkan daerah HAZ yang paling lebar adalah pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C dengan lebar daerah HAZ 23,00 mm. Kemudian dilanjutkan dengan spesimen *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, spesimen *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, spesimen *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, spesimen *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, spesimen *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C dan pengelasan tanpa PWHT dengan lebar HAZ berturut-turut yaitu sebesar 22,00 mm; 22,00 mm; 19,00 mm; 19,00 mm; 18,00 mm dan 16,00 mm. Dari data tersebut, didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar temperatur *preheating* yang diberikan maka daerah HAZ yang terbentuk akan semakin lebar. Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur yang diberikan pada pemanasan material sebelum pengelasan menyebabkan daerah disekitar lasan menjadi lebih cepat memanas yang berpengaruh pada lebar daerah yang terkena pengaruh panas atau biasa disebut *Heat Affected Zone* atau HAZ. Untuk detail dari lebar daerah HAZ pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.15, dan grafik perbandingan lebar HAZ antar spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 4.31.

Tabel 4.15. Hasil Analisa Struktur Makro

Keterangan	Lebar HAZ (mm)
Non PWHT	16
<i>Preheating 100°C dan Postheating 200°C</i>	18
<i>Preheating 100°C dan Postheating 250°C</i>	19
<i>Preheating 100°C dan Postheating 300°C</i>	19
<i>Preheating 150°C dan Postheating 200°C</i>	22
<i>Preheating 150°C dan Postheating 250°C</i>	22
<i>Preheating 150°C dan Postheating 300°C</i>	23



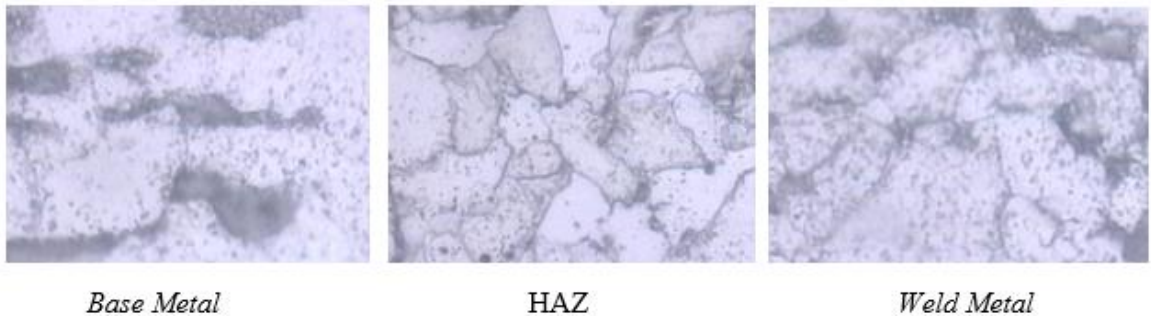
Gambar 4.31. Grafik Hasil Analisa Uji Makro

4.4.9 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

Pada pengamatan struktur mikro ini, digunakan perbesaran 400x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24.

Tabel 4.16. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

Daerah	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>
Base Metal	26%	74%
HAZ	28%	72%
Weld Metal	29%	71%



Gambar 4.32 Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

4.4.10 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C, digunakan perbesaran 100x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24 hingga Gambar 4.28.

Tabel 4.16. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

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

Daerah	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>
Weld Metal	30%	70%



Gambar 4.33 Struktur Mikro Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

4.4.11 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, digunakan perbesaran 100x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24 hingga Gambar 4.28.

Tabel 4.17. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

Daerah	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>
Base Metal	30%	70%
HAZ	32%	68%
Weld Metal	33%	67%



Gambar 4.34 Struktur Mikro Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 250°C

4.4.12 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, digunakan perbesaran 100x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24 hingga Gambar 4.28.

Tabel 4.18. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Daerah	Pearlite	Ferrite
Base Metal	34%	66%
HAZ	35%	65%
Weld Metal	37%	63%



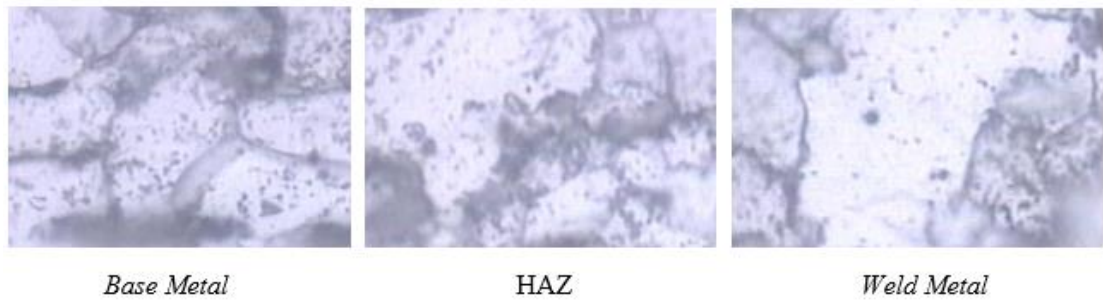
Gambar 4.35 Struktur Mikro Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

4.4.13 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, digunakan perbesaran 100x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24 hingga Gambar 4.28.

Tabel 4.19. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Daerah	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>
Base Metal	29%	71%
HAZ	31%	69%
Weld Metal	32%	68%



Gambar 4.36 Struktur Mikro Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

4.4.14 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, digunakan perbesaran 100x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24 hingga Gambar 4.28.

Tabel 4.20. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Daerah	Pearlite	Ferrite
Base Metal	32%	68%
HAZ	34%	66%
Weld Metal	35%	65%



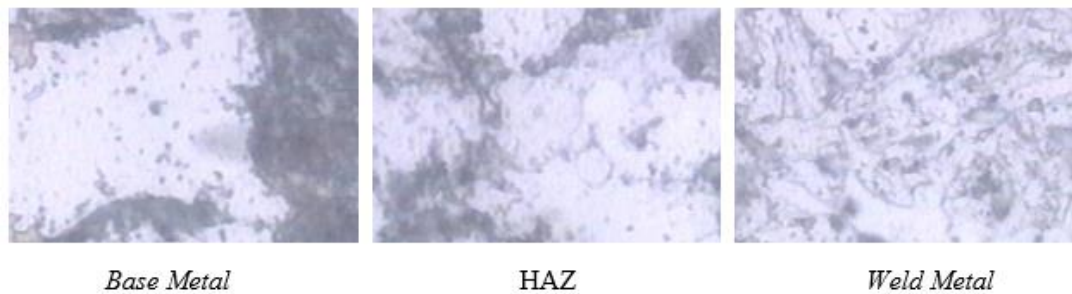
Gambar 4.37 Struktur Mikro Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

4.4.15 Hasil Pengamatan Foto Mikro pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Pada pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C, digunakan perbesaran 100x pada 3 daerah, yaitu base metal, HAZ dan weld metal. Pada hasil pengamatan struktur mikro akan didapatkan persentase pearlite dan ferrite pada ketiga daerah tersebut. Dalam foto mikro akan tambah bagian berwarna gelap (hitam) yaitu pearlite, sedangkan yang berwarna terang (putih) adalah ferrite. Adapun nilai persentase pearlite dan ferrite yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan hasil foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.24 hingga Gambar 4.28.

Tabel 4.21. Persentase Hasil Foto Mikro Pada Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Daerah	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>
Base Metal	35%	65%
HAZ	36%	64%
Weld Metal	38%	62%



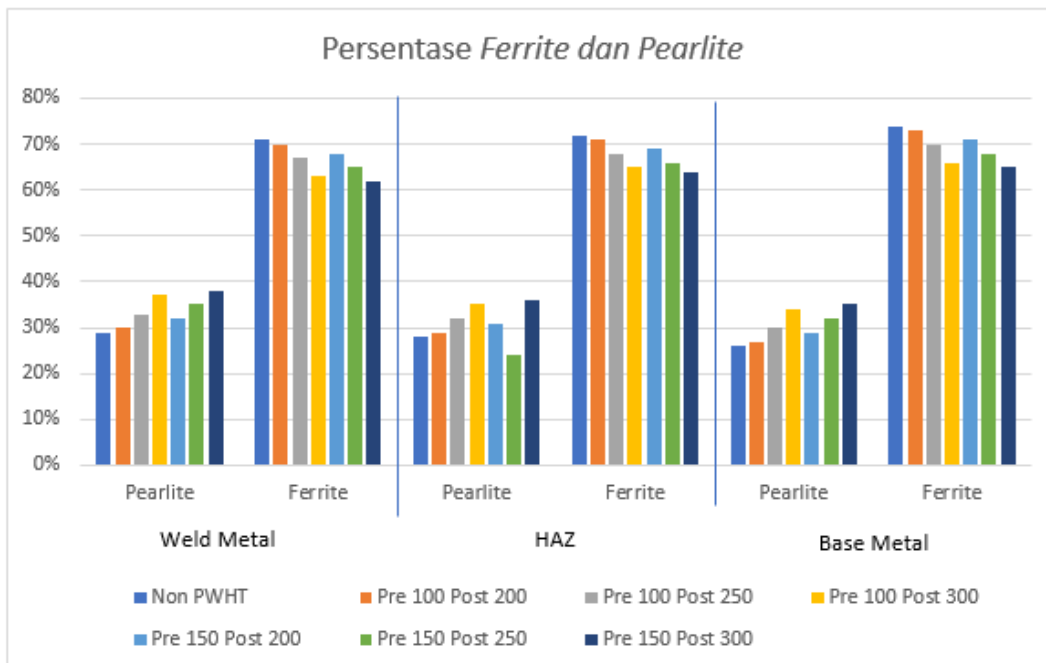
Gambar 4.38 Struktur Mikro Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

4.4.16 Analisa Hasil Foto Mikro

Pada hasil pengamatan struktur mikro, pada ketujuh spesimen mempunyai struktur ferrite dan pearlite yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat terjadi karena penambahan temperatur *preheating* dan *postheating* yang diberikan tidak terlalu signifikan. Semakin banyak struktur *ferrite* yang terbentuk maka membuat material semakin mudah patah. Pada hasil pengamatan struktur mikro keempat spesimen, dapat disimpulkan bahwa *base metal* spesimen *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mempunyai kekuatan tarik yang paling tinggi dikarenakan struktur ferrite yang terbentuk pada daerah *base metal* pada spesimen *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C adalah yang paling kecil, yaitu 65%. Sedangkan untuk hasil uji tarik paling buruk terdapat pada spesimen tanpa perlakuan PWHT, dengan kandungan *ferrite* pada *base metal* paling tinggi yaitu 74%. Sehingga dengan lebih banyak struktur *pearlite* yang terbentuk pada *weld metal* maka membuat hasil lasan lebih kuat dan patahan akan terjadi pada *base metal*. Untuk detail hasil dari pengamatan mikro pada ketujuh spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.22, serta analisa foto mikro berupa grafik pada Gambar 4.44.

Tabel 4.23. Analisa Hasil Foto Mikro

Spesimen	Base Metal		HAZ		Weld Metal	
	Pearlite	Ferrite	Pearlite	Ferrite	Pearlite	Ferrite
Non PWHT	26%	74%	28%	72%	29%	71%
Preheating 100°C Postheating 200°C	27%	73%	29%	71%	30%	70%
Preheating 100°C Postheating 250°C	30%	70%	32%	68%	33%	67%
Preheating 100°C Postheating 300°C	34%	66%	35%	65%	37%	63%
Preheating 150°C Postheating 200°C	29%	71%	31%	69%	32%	68%
Preheating 150°C Postheating 250°C	32%	68%	34%	66%	35%	65%
Preheating 150°C Postheating 300°C	35%	65%	36%	64%	38%	62%



Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Struktur Mikro Tujuh Spesimen

4.5 Pengujian Prediksi Laju Korosi

Penelitian prediksi laju korosi ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknologi Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode sel tiga elektroda dan dibantu dengan seperangkat peralatan Potensiostat Autolab (PGSTAT30) dan *software* NOVA. Pada tahap penelitian, pertama-tama memasukkan data-data yang diperlukan yaitu diantaranya massa jenis = 7.85 g/cm^3 , *equivalent weight* = 54.47 g/mol , dan area yang terendam oleh larutan elektrolit = 5 cm^2 .

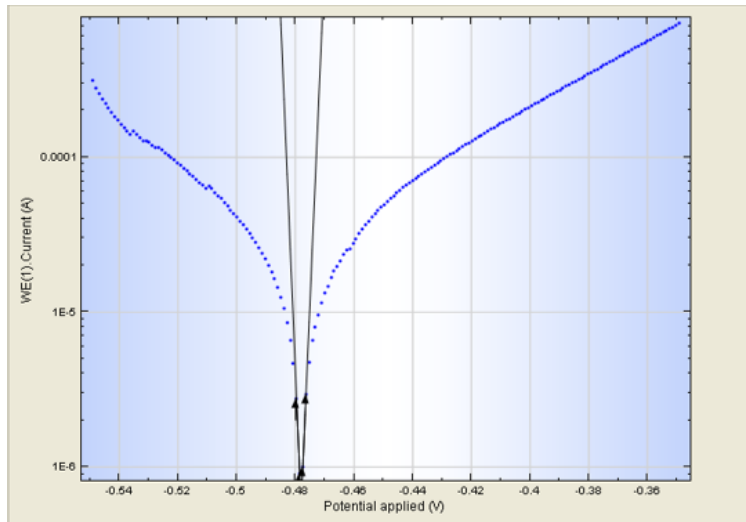
Pengujian korosi pada tiap spesimen dilakukan dengan menggunakan metode sel tiga elektroda dengan media alat potensiostat autolab (PGSTAT302N) dan *software* nova. Secara otomatis *software* akan menghitung laju korosi dari tiap-tiap spesimen yang diuji. Data yang diperlukan untuk pengujian ini antara lain massa jenis (g/cm^3) *equivalent weight* (g/mol) dan luas area specimen yang diuji (cm^2). Data yang didapatkan dari output pengujian adalah nilai rapat arus dan potensial. Perhitungan laju korosi juga dilakukan berdasar pada hukum faraday dengan cara memasukkan nilai kerapatan arus dari hasil pengujian ke persamaan hukum faraday, selanjutnya hasilnya dibandingkan dan dianalisis. Dari analisis didapatkan diagram tafel yang menunjukkan potensial dan kerapatan arus. Pada diagram tafel sumbu X menunjukkan potensial sedangkan sumbu Y menunjukkan kerapatan arus. Diagram tafel akan membentuk titik-titik kerapatan dan potensial arus sesuai dari alat yang digunakan. Dari titik-titik tersebut ditarik dua garis lurus sesuai dengan ketentuan yang ada dan akan diperoleh nilai laju korosi spesimen.

4.5.1 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

Pengelasan tanpa perlakuan PWHT mendapatkan hasil dari perhitungan *software* NOVA, yaitu nilai potensial $-465,55 \text{ mV}$, kerapatan arus $22,61 \mu\text{A/cm}^2$, dan prediksi laju korosi $0,51 \text{ mmpy}$. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.23 dan Gambar 4.31.

Tabel 4.24. Output Software NOVA Pengelasan Tanpa Perlakuan PWHT

Keterangan	Ecorr (Mv)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Corrosion Rate (mmpy)
Non PWHT	-465,55	22,61	0,51



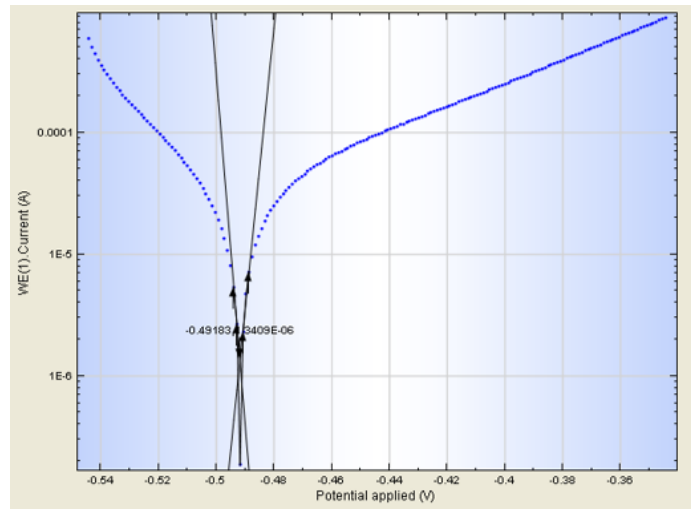
Gambar 4.40. Diagram Tafel Pada Spesimen Tanpa Perlakuan PWHT

4.5.2 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Pengelasan menggunakan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C mendapatkan hasil dari perhitungan *software* NOVA, yaitu nilai potensial -491,83 mV, kerapatan arus 7,40 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, dan prediksi laju korosi 0,17 mmpy. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.41 dan Gambar 4.32.

Tabel 4.25. Output Software NOVA Pengelasan Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 200°C

Keterangan	Ecorr (mV)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Corrosion Rate (mmpy)
<i>Preheating</i> 100°C dan <i>Postheating</i> 200°C	-491,83	7,40	0,17



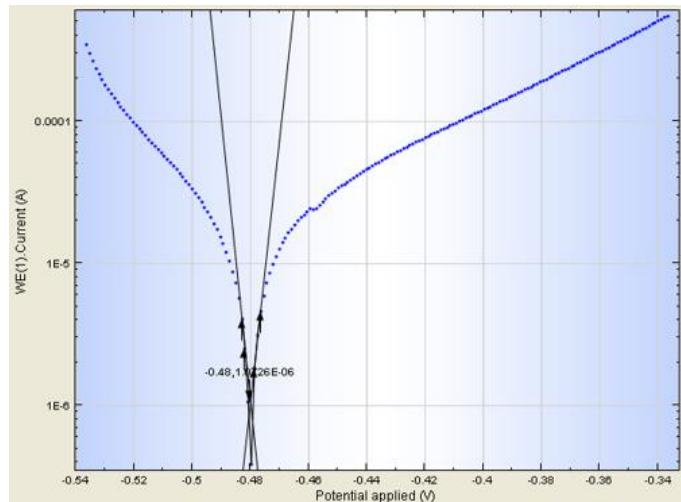
Gambar 4.41. Diagram Tafel Pada Spesimen
Preheating 100°C dan Postheating 200°C

4.5.3 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating 100°C dan Postheating 250°C*

Pengelasan menggunakan temperatur *preheating 100°C* dan *postheating 250°C* mendapatkan hasil dari perhitungan *software NOVA*, yaitu nilai potensial – 480,00 mV, kerapatan arus 6,15 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, dan prediksi laju korosi 0,13 mmpy. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.24 dan Gambar 4.33.

Tabel 4.26. Output Software NOVA Pengelasan Spesimen
Preheating 100°C dan Postheating 250°C

Keterangan	Ecorr	Icorr	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
<i>Preheating 100°C dan Postheating 250°C</i>	-480,00	6,15	0,13



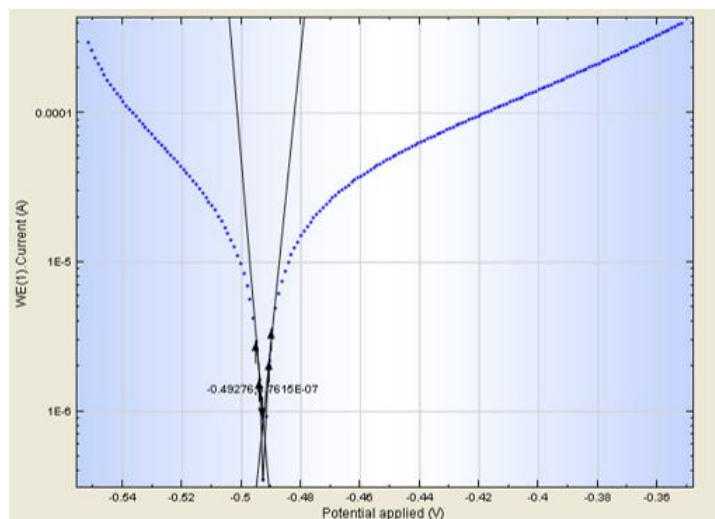
Gambar 4.42. Diagram Tafel Pada Spesimen
Preheating 100°C dan Postheating 250°C

4.5.4 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

Pengelasan menggunakan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C mendapatkan hasil dari perhitungan *software* NOVA, yaitu nilai potensial -492,76 mV, kerapatan arus 4,18 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, dan prediksi laju korosi 0,09 mmpy. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.25 dan Gambar 4.34.

Tabel 4.27. Output Software NOVA Pengelasan Spesimen
Preheating 100°C dan Postheating 300°C

Keterangan	Ecorr	Icorr	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
<i>Preheating 100°C dan Postheating 300°C</i>	-492,76	4,18	0,09



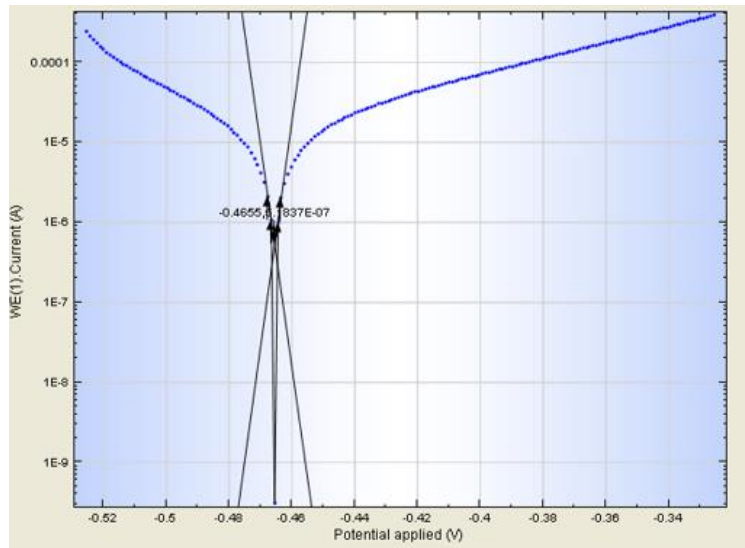
Gambar 4.43. Diagram Tafel Pada Spesimen *Preheating* 100°C dan *Postheating* 300°C

4.5.5 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Pengelasan menggunakan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C mendapatkan hasil dari perhitungan *software* NOVA, yaitu nilai potensial -465,55 mV, kerapatan arus 7,07 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, dan prediksi laju korosi 0,16 mmpy. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.26 dan Gambar 4.35.

Tabel 4.28. Output Software NOVA Pengelasan Spesimen *Preheating* 150°C dan *Postheating* 200°C

Keterangan	Ecorr	Icorr	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
<i>Preheating</i> 150°C dan <i>Postheating</i> 200°C	-465,55	7,07	0,16



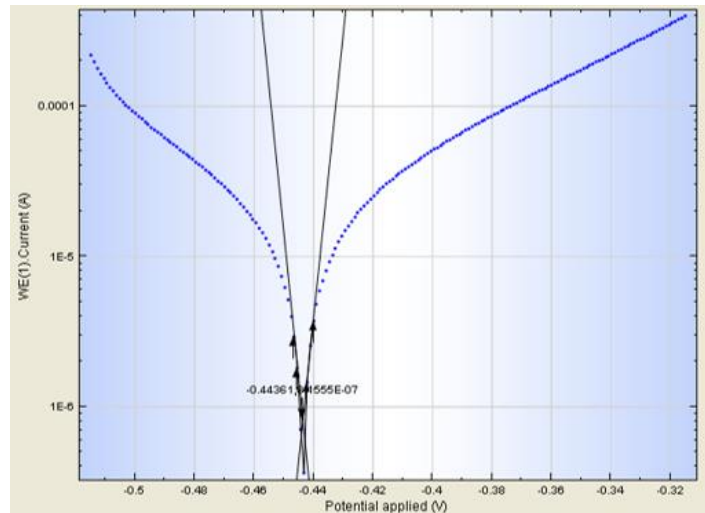
Gambar 4.44. Diagram Tafel Pada Spesimen
Preheating 150°C dan Postheating 200°C

4.5.6 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 250°C

Pengelasan menggunakan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C mendapatkan hasil dari perhitungan *software* NOVA, yaitu nilai potensial -443,61 mV, kerapatan arus 5,08 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, dan prediksi laju korosi 0,11 mmpy. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.27 dan Gambar 4.36.

Tabel 4.29. Output Software NOVA Pengelasan Spesimen
Preheating 150°C dan Postheating 250°C

Keterangan	Ecorr	Icorr	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
<i>Preheating 150°C dan Postheating 250°C</i>	-443,61	5,08	0,11



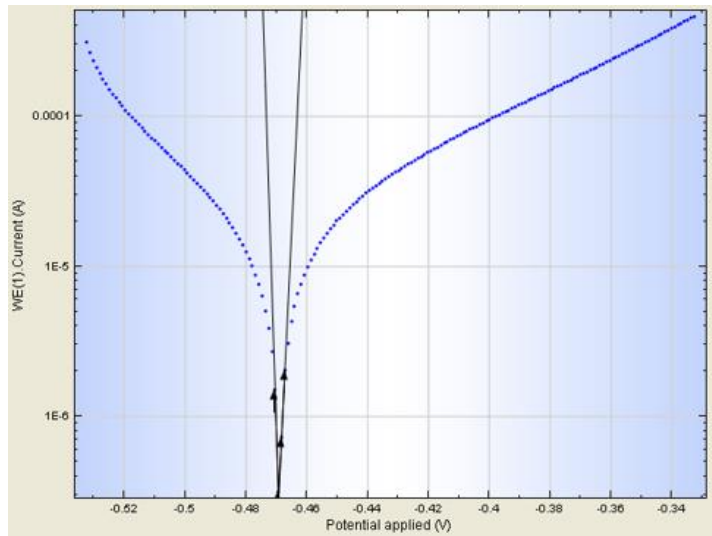
Gambar 4.45. Diagram Tafel Pada Spesimen
Preheating 150°C dan Postheating 250°C

4.5.7 Prediksi Laju Korosi pada Spesimen Dengan Temperatur *Preheating* 150°C dan *Postheating* 300°C

Pengelasan menggunakan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mendapatkan hasil dari perhitungan *software* NOVA, yaitu nilai potensial -469,28 mV, kerapatan arus 0,82 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, dan prediksi laju korosi 0,01 mmpy. Hasil lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel. 4.28 dan Gambar 4.37.

Tabel 4.30. Output Software NOVA Pengelasan Spesimen
Preheating 150°C dan Postheating 300°C

Keterangan	Ecorr	Icorr	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
<i>Preheating 150°C dan Postheating 300°C</i>	-469,28	0,82	0,01



Gambar 4.46. Diagram Tafel Pada Spesimen
Preheating 150°C dan Postheating 300°C

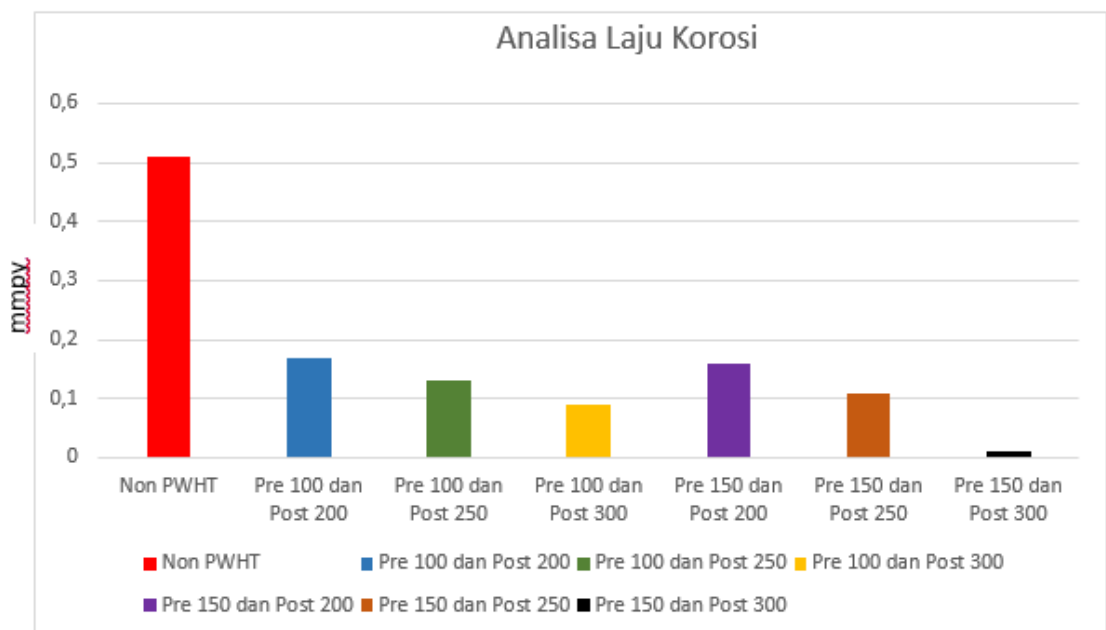
4.5.8 Analisa Hasil Prediksi Laju Korosi

Pada perhitungan prediksi laju korosi menyatakan bahwa kerapatan arus (i_{corr}) berbanding lurus dengan nilai prediksi laju korosi yang nanti didapatkan. Semakin kecil nilai laju korosi suatu material, maka sifat ketahanan korosinya semakin baik (Fontana, 1987). Klasifikasi ketahanan korosi dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.7. Lalu untuk hasil analisa prediksi laju korosi dari tujuh spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan Gambar 4.47. dan untuk diagram tafel dari tujuh spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.48.

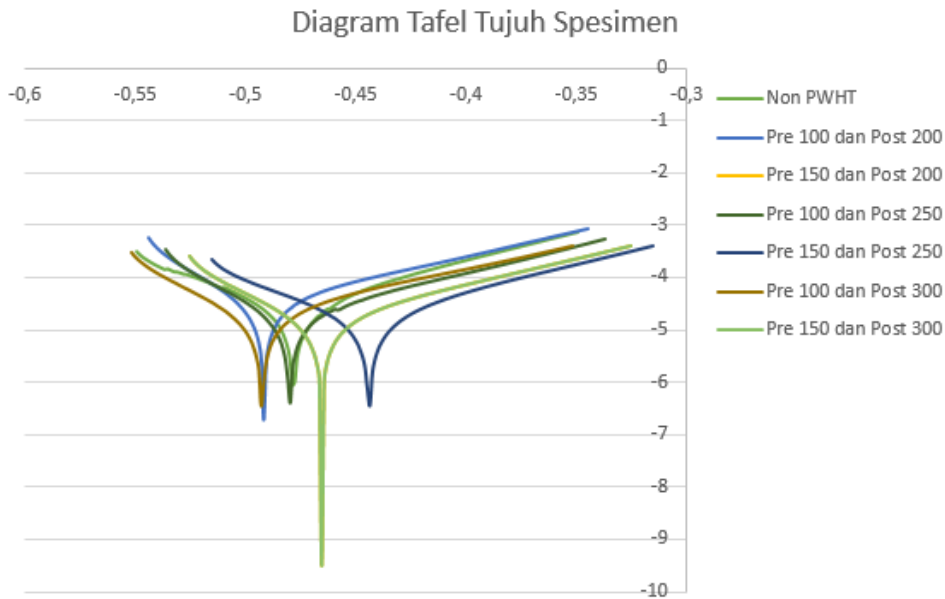
Tabel 4.31. Analisa Laju Korosi Tujuh Spesimen

Specimen	E_{corr}	I_{corr}	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
Non PWHT	-465,55	22,61	0,51
<i>Preheating 100°C Postheating 200°C</i>	-491,83	7,40	0,17
<i>Preheating 100°C Postheating 250°C</i>	-480,00	6,15	0,13
<i>Preheating 100°C Postheating 300°C</i>	-492,76	4,18	0,09

Specimen	Ecorr	Icorr	Corrosion Rate
	(mV)	($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	(mmpy)
<i>Preheating 150°C</i> <i>Postheating 200°C</i>	-465,55	7,07	0,16
<i>Preheating 150°C</i> <i>Postheating 250°C</i>	-443,61	5,08	0,11
<i>Preheating 150°C</i> <i>Postheating 300°C</i>	-469,28	0,82	0,01



Gambar 4.47. Grafik Perbandingan Laju Korosi Tujuh Spesimen



Gambar 4.48. Diagram Tafel Tujuh Spesimen

Dari hasil uji prediksi laju korosi pada Tabel 4.29 dan Gambar 4.47 dapat disimpulkan bahwa nilai prediksi laju korosi yang paling rendah adalah pada pengelasan menggunakan menggunakan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C yang mempunyai nilai 0,01 mmpy, dan nilai tersebut dikategorikan luar biasa (*outstanding*). Sedangkan untuk nilai laju korosi terbaik setelah itu adalah pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100°C dan *postheating* 300°C, *preheating* 150°C dan *postheating* 250°C, *preheating* 100°C dan *postheating* 250°C, *preheating* 150°C dan *postheating* 200°C, *preheating* 100°C dan *postheating* 200°C dan pengelasan tanpa perlakuan PWHT dengan nilai laju korosi berturut-turut yaitu 0,09 mmpy; 0,11 mmpy; 0,13 mmpy; 0,16 mmpy; 0,17 mmpy; 0,51 mmpy.

4.6 Hubungan Antara Kekuatan Tarik, Struktur Makro-Mikro dan Prediksi Laju Korosi

Dari pengujian tarik, pengamatan struktur makro-mikro dan analisa laju korosi, dapat dilihat bahwa variasi temperatur *preheating* dan *postheating* yang diberikan pada saat proses pengelasan memberikan pengaruh pada hasil pengelasan. Dimana pada spesimen tanpa perlakuan PWHT memiliki nilai

kekuatan tarik paling rendah dibandingkan dengan pengelasan dengan menggunakan perlakuan *preheating* dan *postheating*. Dan spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mendapatkan nilai kekuatan tarik paling baik diantara spesimen dengan temperatur *preheating* dan *postheating* yang lebih rendah.

Pada pengamatan struktur makro, spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C memiliki HAZ paling lebar yang dipengaruhi oleh besarnya temperatur *preheating* yang diberikan pada saat sebelum pengelasan. Sedangkan pada pengamatan struktur mikro, spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C memiliki persentase fasa *pearlite* terbanyak jika dibandingkan dengan spesimen yang lainnya pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Hal ini diakibatkan karena semakin tinggi temperatur pemanasan, maka akan memperlambat laju pendinginan sehingga fasa *pearlite* akan lebih banyak.

Sedangkan untuk analisa hasil prediksi laju korosi, spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C memiliki hasil laju korosi paling rendah diantara spesimen yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena persentase *pearlite* yang terdapat pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C adalah yang paling tinggi diantara spesimen lainnya. Karena jumlah fasa *pearlite* dan laju korosi berbanding terbalik. Semakin tinggi fasa *pearlite* yang terbentuk maka laju korosi akan semakin rendah pula.

Dari tiga pengujian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa persentase nilai *pearlite* yang terbentuk juga mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan laju korosi. Semakin banyak *pearlite* yang terbentuk, maka hasil uji tarik akan semakin baik dan laju korosi juga akan semakin menurun. Jadi dapat disimpulkan bahwa hubungan antara temperatur *postheating* yang diberikan akan berbanding lurus dengan nilai kekuatan tarik yang semakin baik dan nilai laju korosi yang semakin rendah dikarenakan terbentuknya persentase fasa *pearlite* yang lebih banyak. Dan juga semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan, maka akan semakin memperlebar daerah HAZ yang terbentuk karena penetrasi pengelasan akan semakin tinggi jika temperatur *preheating* juga semakin tinggi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi temperatur *preheating* dan *postheating* pada pengelasan SMAW baja ASTM A53, didapatkan 3 poin kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini. Berikut merupakan uraian 3 poin kesimpulan, yaitu:

1. Pada sifat mekanik yang berupa kekuatan tarik, nilai terbesar didapatkan pada spesimen pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C, yaitu *yield strength* sebesar 365.10 Mpa dan *ultimate strength* sebesar 479.53 MPa. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur *postheating* yang diberikan, maka akan memperlambat laju pendinginan, dimana material akan memiliki persentase struktur *pearlite* lebih banyak yang berpengaruh pada kekuatan tarik spesimen.
2. Pada pengamatan makro-mikro, didapatkan lebar daerah HAZ paling lebar pada pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C dengan lebar HAZ 23,00 mm. Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan akan memberikan penetrasi yang makin besar pula pada saat pengelasan. Sedangkan untuk struktur mikro pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C mempunyai struktur *pearlite* pada bagian *weld metal* terbanyak dibandingkan pada pengelasan lain, yaitu sebesar 38% dan *pearlite* 62%.
3. Pada prediksi laju korosi, didapatkan nilai laju korosi paling rendah pada spesimen pengelasan dengan temperatur *preheating* 150°C dan *postheating* 300°C dengan nilai laju korosi 0,01 mmpy atau dapat dikategorikan luar biasa (*outstanding*). Struktur *pearlite* yang terkandung pada *weld metal* spesimen tersebut adalah faktor dari rendahnya nilai laju korosi, karena semakin tinggi persentase struktur *pearlite*, maka spesimen tersebut akan memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen lain yang memiliki persentase *pearlite* yang lebih sedikit.

4. Dari tiga pengujian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa persentase nilai *pearlite* yang terbentuk juga mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan laju korosi. Semakin banyak *pearlite* yang terbentuk, maka hasil uji tarik akan semakin baik dan laju korosi juga akan semakin menurun. Jadi dapat disimpulkan bahwa hubungan antara temperatur *postheating* yang diberikan akan berbanding lurus dengan nilai kekuatan tarik yang semakin baik dan nilai laju korosi yang semakin rendah dikarenakan terbentuknya persentase fasa *pearlite* yang lebih banyak. Dan juga semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan, maka akan semakin memperlebar daerah HAZ yang terbentuk karena penetrasi pengelasan akan semakin tinggi jika temperatur *preheating* juga semakin tinggi.

5.2 Saran

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

1. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan metode pengelasan jenis lain, seperti FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) atau GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)
2. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan material jenis lain, seperti baja karbon tinggi yang membutuhkan *heat treatment* khusus.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan pengujian lain seperti uji tekuk, uji kekerasan atau uji takik.
4. Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan pengaruh *heat input* terhadap nilai prediksi laju korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. 1989. *Teori Dan Praktik Las*. Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
- Amit R. Patel and G.D Acharya. 2017. "Effect of Post Weld Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of P11 Weld". *Journal of Experimental & Applied Mechanics* Vol. 8 Issue 3
- Anugerah, Hatta. 2019. "*Analisis Pengaruh Variasi Elektroda dan Heat Input Pengelasan SMAW pada Weld Joint Baja A53 dan Baja A36 terhadap Sifat Mekanik dan Prediksi Laju Korosi*". Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- ASM Handbook Vol 9. 2004. *Metallography and Microstructures*, ASM Handbook Committee, United State
- ASME Sec IX, 1995. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators* , ASME, New York.
- ASTM. 2004. *Metals_Mechanical Testing_ Elevated and Low-Temperature Tests_ Metallograph*, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01, E-8M.
- AWS, 2000. *Structural Welding Code Steel*, AWS Standard, Vol. D1.1.
- Bintoro, G.A. 2000. *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*. Kanisius. Yogyakarta.
- Byung-hyun, Shin., et. al. 2019 "Effect of Post-Weld Heat Treatment on the Corrosion Behavior of Resistance Spot Welded Super Duplex Stainless UNS S 32750" *International Journal of Electrochemical Science* Vol. 14
- Ernandy, S. 2007. "Case Study of Post Weld Heat Treatment Influence to Corroton Rate and Toughness of Ballast Pipe ASTM A53". *Journal of Piping and Advanced Engineering*
- Fontana,Mars.G.,1978, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, Inc.
- Groover, Mikell P. 1996. *Fundamental Of Modern Manufacturing, Material, Proses And System*. Penerbit Prentice-Hall Inc. USA.

- Kholis, Ikhsan. 2012. “ Analisa Laju Korosi Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Umur Pipa Pada Pipa API 5L GRADE B”. *Jurnal Forum Teknologi* Vol.2 No. 1
- Momoh I.M., Akinribide O.J., Ayanleke J., Olowonubi J., Olorunfemi G.O., Oshodin T. 2013. “Investigating the Mechanical Properties of Post Weld Heat Treated 0.33%C Low Alloy Steel” *International Journal of Science and Technology Volume 2* No. 6
- M.R Dodo, T. Ause, M.A. Adamu, Y.M. Ibrahim. 2016. “Effect Of Post-Weld Heat Treatment On The Microstructure And Mechanical Properties Of Arc Welded Medium Carbon Steel”. *Nigerian Journal of Technology* Vol. 35 No. 2
- Palgunadhi, Hasri. 2017. “*Analisis Pengaruh Suhu Preheating Baja Karbon Sedang (ASTM 53) Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Weldjoint Pada Lingkungan Laut*”. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Parmar, A., and A. Dubey. 2017. “Study of Heat Affected Zone for SMAW Process for Low Carbon Steel Specimen with Controlled Parameters”. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research* 11(4): 23-28
- Pratikno,Herman. 2010. *Pengaruh Jenis Proses Las FCAW/SMAW dan Salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja Pada Underwater Welding di Lingkungan Laut*. ITS. Surabaya.
- Sergio, S. 2014. “Effect of Post Weld Heat Treatment on the Micro Structure and Mechanical Properties of Dissimilar Weld of Stainless Steel” *International Journal of Metalurgical and Materials* Vol. 11
- Sidhu, G.S., and S.S. Chatha. 2012. “Role of Shielded Metal Arc Welding Consumables on Pipe Weld Joint”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2: 746–750

- Srivastava, B. et. al. 2010. "A Review on Effect of Preheating and/or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Behaviour of Ferrous Metals" International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2
- Suratman, D. 1994. *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga penelitian ITB. Bandung.
- Trethewey, Kenneth R. and Chamberlain, John. 1991. *KOROSI: Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Wirjosumarto, H Dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Ke 8. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Tae-Hoon, Nam. et. al. 2018. "Effect of Post Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of a Submerged-Arc-Welded 304 Stainless Steel ". Journal of Materials Science and Engineering
- Yu, W., et. al. 2018. "A Comparison Between Fracture Toughness at Different Locations of SMAW and GTAW Welded Joints of Primary Coolant Piping". Journal of Engineering Fracture Mechanics 202: 135 - 146
- www.amerpipe.com/products/carbon-pipe/a53/a53-specifications/ diakses pada 3 Februari 2019
- www.astm.org/Standards/A53.htm diakses pada 15 Januari 2019
- www.fedsteel.com/products/carbon-pipe-and-tube/astm-a53-pipe.html diakses pada 12 Januari 2019
- www.hima-tl.ppns.ac.id diakses pada 15 Januari 2019
- www.indotrading.com/kabel-las_4354/ diakses pada 3 Februari 2019 diakses pada 3 Februari 2019

Lampiran A
Certificate of Welder's Qualification



NIPPON KAIJI KYOKAI
Certificate
OF
WELDER'S QUALIFICATION

Certificate No. : WE17SB0165

Date : 17 Nov 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 : WQ17006306

Welder's Name : Soegiantoro

Date of Birth : 14 May 1979

Employer's Name : PT. KAMPUH WELDING INDONESIA

Qualification

Material(*)	Welding Process(*)	Kind(*)	Grade(*)	Class(*)	Valid until(*)
CS	M	N	2	P	16 Nov 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

RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT

Customer : HAEKAL (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
 Name : Plate Isotope Type : Ir 192 Brand : AGFA Thickness: 0.125 mm
 OD : - Activity : 20 Film Type : D7 Placement: Front
 Base Mat'l Type : C/S X-ray Equipment : - Dimension: 4x10 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
 Backing : Yes No Source Size (mm) : - Yes No Film Side

TECHNIQUE
 Exposure : Single Wall Double Wall
 Viewing : Single Wall Double Wall Panoramic SWSV SWSV DWDV
 Exposure Time : 45 Sec
 Ug : 0.5 mm
 SOD : 12 Inch
 SSOF : 13 mm
Note:
 SOD : Source to Object Distance
 SSOF : Source side to Object Film

EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH

IMAGE QUALITY INDICATOR
 Wire Set: 1B Wire ID: 6
 Dia.: 0.25 mm
 Hole Designation: -
 Visible Hole
 1T 2T 4T
 Placement:
 Source Side
 Film Side
DENSITY: Min : 2
 Max : 4

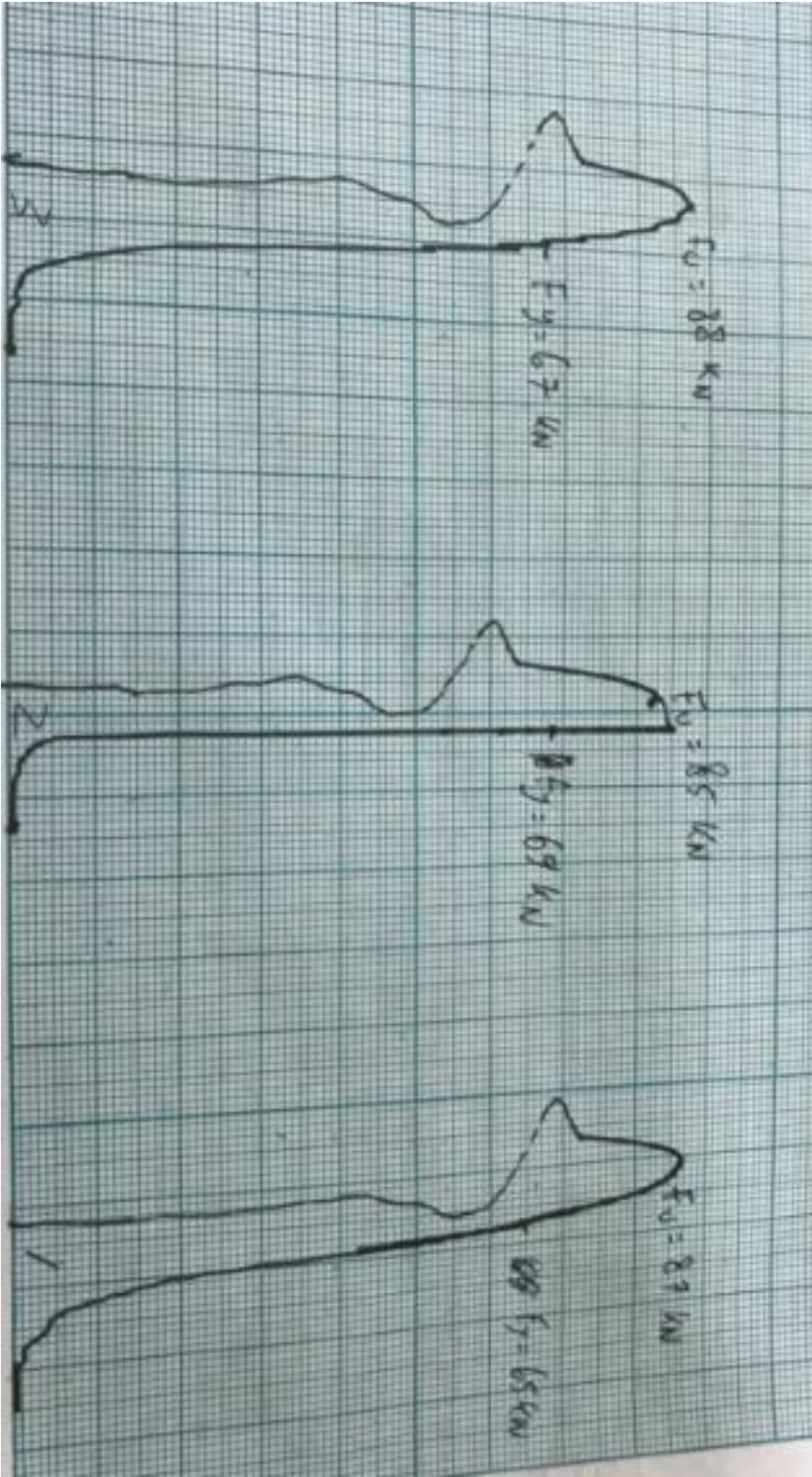
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity								Result		Remark / Comment		
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	Acc	Rej				
09/04 2019	-	1	A - B	6 Wire										√	Acc	-	Cp= out of interest area
		2	A - B	6 Wire										√	Acc	-	lc,Cp= out of interest area
		3	A - B	6 Wire										√	Acc	-	P = 1.5 mm
		4	A - B	6 Wire										√	Acc	-	P = 1.2 mm
		5	A - B	6 Wire										√	Acc	-	P = 1.3 mm
		6	A - B	6 Wire										√	Acc	-	Cp= out of interest area
		7	A - B	6 Wire										√	Acc ²	-	elongated= out of interest area

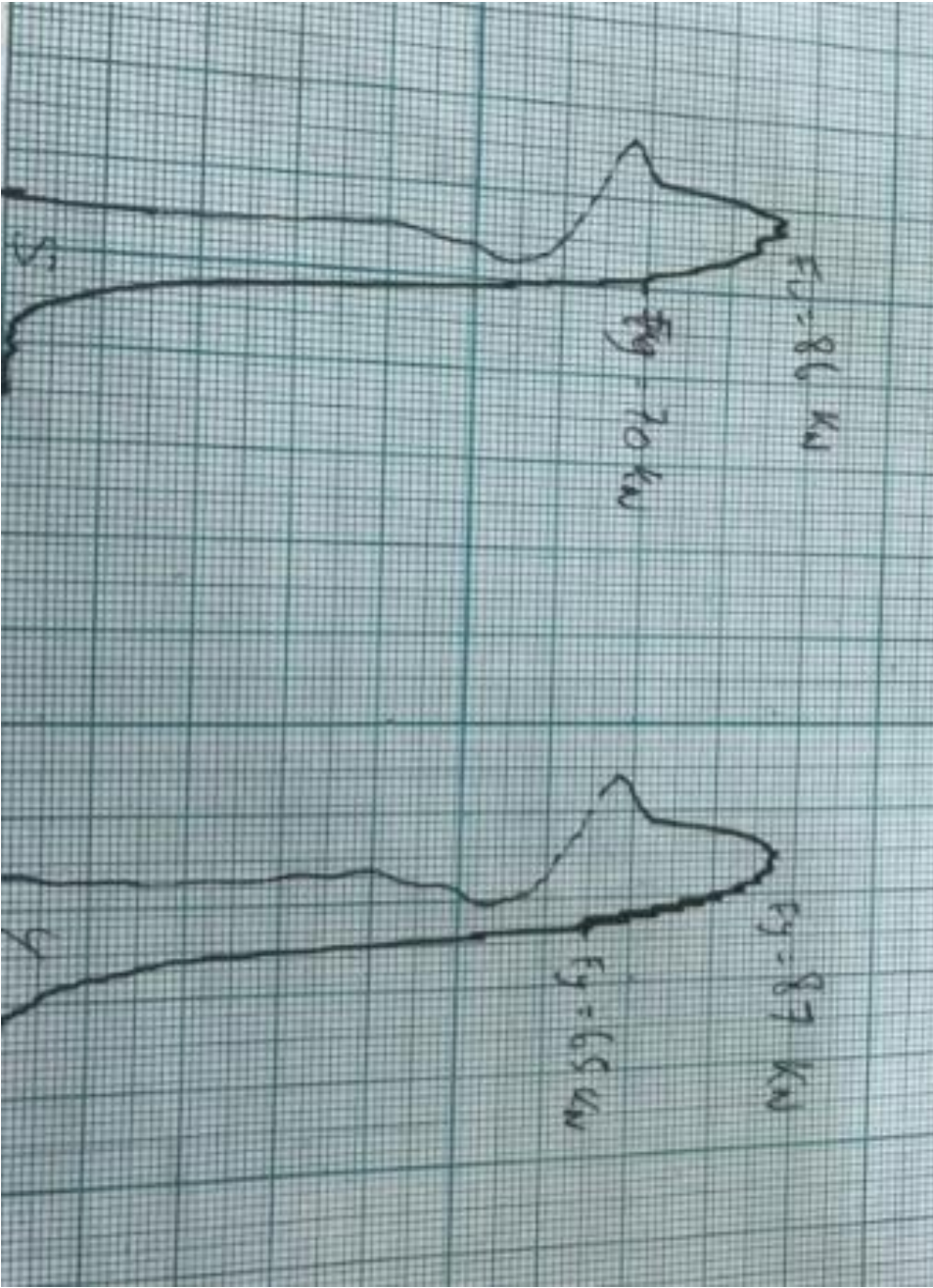
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack
 Welding Process(es) : -
 Total Film/s : 4" x 10" = 7 Sheet/s 4" x 15" = - Sheet/s

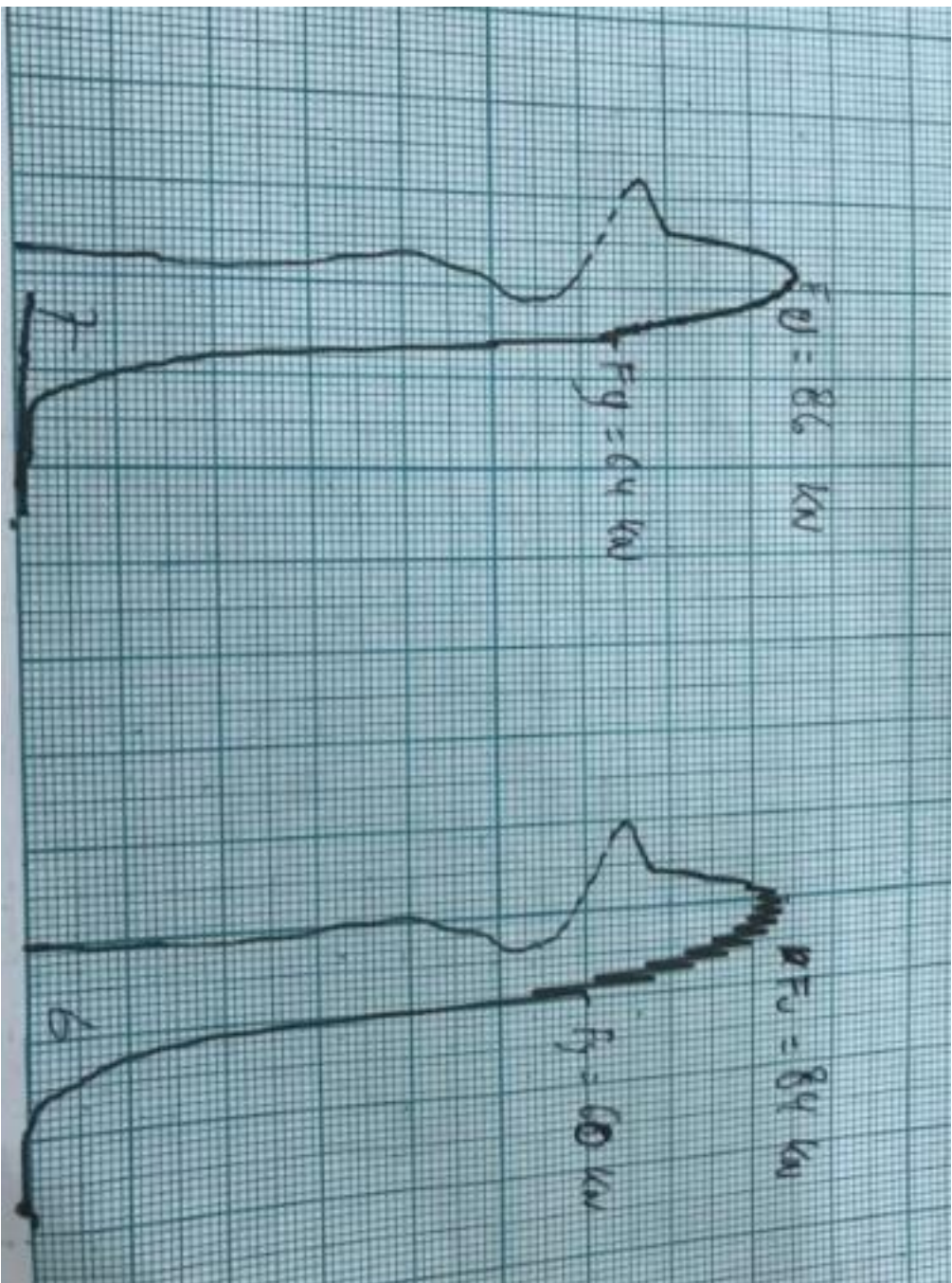
Examined By, NDT Level II Date:09-04-2019	Reviewed/Witnessed By, Date:	Reviewed/Witnessed By, Date:	Reviewed/Witnessed By, Date:
---	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Lampiran C

Hasil Pengujian Kekuatan Tarik







BIODATA PENULIS



Haekal Alif Fathur Rohman adalah nama lengkap dari penulis laporan tugas akhir ini. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 23 Juli 1997 dan beralamat di Asem Jaya, Surabaya. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, dari pasangan Bapak Abd. Rohman dan Ibu Anis. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Aisyiyah 18 Surabaya, kemudian dilanjutkan di SD Muhammadiyah 20 Surabaya. Setelah lulus dari sekolah dasar, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 6 Surabaya dan SMA Negeri 5 Surabaya. Setelah lulus dari bangku SMA, penulis melanjutkan ke perguruan tinggi yaitu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada jurusan Teknik Kelautan melalui jalur SNMPTN.

Di dalam dunia kampus, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan organisai. Dalam kegiatan berorganisasi, penulis menjadi staff Departemen Inovasi Karya HIMATEKLA FTK-ITS periode 2016/2017 dan menjabat sebagai ketua Departemen Inovasi Karya HIMATEKLA FTK-ITS untuk periode 2017/2018. Untuk kepanitiaan, penulis pernah menjadi staff sie keamanan dan perijinan OCEANO 2018.

Penulis juga sempat melakukan kerja praktek di PT. Pelabuhan Indonesia III selama 2 bulan di daerah Gresik, Jawa Timur. Dari kerja praktek tersebut, penulis mendapatkan pengalaman menngerjakan analisis kesibukan dermaga.

Email: haekal.alif07@gmail.com