

TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI *PREHEATING TEMPERATURE* PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*, KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK

**RIFKI ARGA IRFANSYAH
NRP. 0251184000097**

Dosen Pembimbing
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 198805012019031008
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
NIP. 195809101986031002

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI PREHEATING TEMPERATURE PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP WELD DEFECT, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK

**RIFKI ARGA IRFANSYAH
NRP. 0251184000097**

Dosen Pembimbing
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 198805012019031008
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
NIP. 195809101986031002

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF PREHEATING TEMPERATURE
IN ASTM A36 STEEL WELDING PROCESS USING SMAW ON
WATER SURFACE TO WELD DEFECT, HARDNESS AND
TENSILE STRENGTH**

**RIFKI ARGA IRFANSYAH
NRP. 0251184000097**

Advisor
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 198805012019031008
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
NIP. 195809101986031002

Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI *PREHEATING TEMPERATURE* PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **RIFKI ARGA IRFANSYAH**
NRP. 0251184000097


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

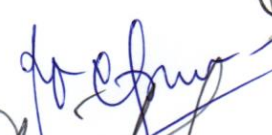
1. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

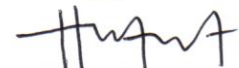
3. Dian Mughni Felicia, S.T, M.Sc.

4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.


Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji



SURABAYA
Juli 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS THE EFFECT OF PREHEATING TEMPERATURE IN ASTM A36 STEEL WELDING PROCESS USING SMAW ON WATER SURFACE TO WELD DEFECT, HARDNESS AND TENSILE STRENGTH

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **RIFKI ARGA IRFANSYAH**
NRP. 0251184000097

Approved by Final Project Examiner Team :

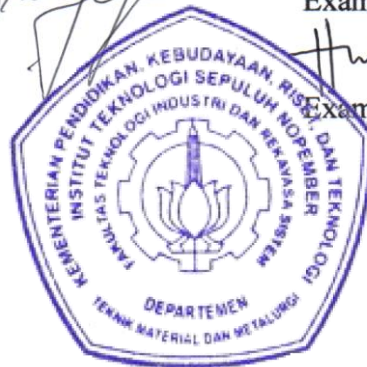
1. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
3. Dian Mughni Felicia, S.T, M.Sc.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Advisor

Co-Advisor

Examiner

Examiner



SURABAYA
July 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

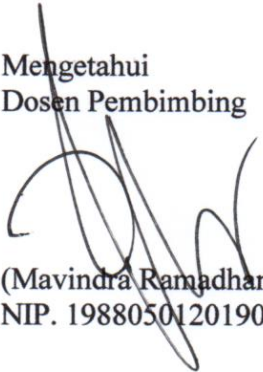
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa/NRP : Rifki Arga Irfansyah/0251184000097
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T./ 198805012019031008

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI *PREHEATING TEMPERATURE* PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

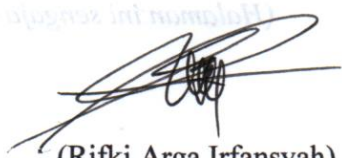
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui
Dosen Pembimbing


(Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.)
NIP. 198805012019031008

Surabaya, 07 Juli 2022

Mahasiswa


(Rifki Arga Irfansyah)
NRP. 0251184000097

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

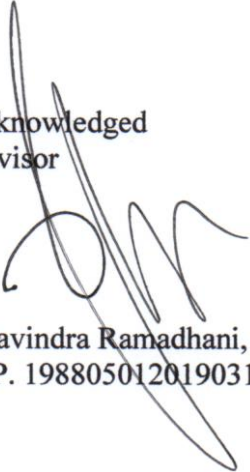
The undersigned below:

Name of student/NRP : Rifki Arga Irfansyah/02511840000097
Departement : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T./ 198805012019031008

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS THE EFFECT OF PREHEATING TEMPERATURE IN ASTM A36 STEEL WELDING PROCESS USING SMAW ON WATER SURFACE TO WELD DEFECT, HARDNESS AND TENSILE STRENGTH" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

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

Acknowledged
Advisor


(Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.)
NIP. 198805012019031008

Surabaya, July 7th 2022

Student


(Rifki Arga Irfansyah)
NRP. 02511840000097

(This page is intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH VARIASI *PREHEATING TEMPERATURE* PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*, KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK

Nama Mahasiswa / NRP : Rifki Arga Irfansyah/0251184000097
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi ITS
Dosen Pembimbing 1 : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstrak

Kebocoran pada tangki baik pada proses fabrikasi atau saat kondisi darurat membutuhkan perbaikan, pengosongan isi sebelum dilakukan pengelasan merupakan metode yang paling baik. Untuk meningkatkan efisiensi perbaikan dilakukan pengelasan perbaikan secara langsung dengan keadaan tangki terisi dengan air. Penelitian dilakukan untuk mengamati dan menganalisa fenomena yang terjadi akibat dilakukannya pengelasan di atas permukaan air pada material ASTM A36 dengan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Variabel yang digunakan yaitu proses pengelasan kering sebagai perbandingan dengan pengelasan di atas permukaan air tanpa *preheat*, dengan *preheat temperature* senilai 100°C dan 200°C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas permukaan pengelasan yang dilakukan pengujian *penetrant* tidak mengalami perbedaan, namun perlakuan *preheating* pada pengelasan di atas permukaan air dapat memberikan peningkatan *yield strength*, mereduksi nilai kenaikan kekerasan serta membantu memperbaiki nilai *tensile strength*. Dari variasi tanpa *preheat* nilai persentase *yield strength* dibandingkan dengan proses yang ideal adalah menurun sebesar 32,1%, sedangkan untuk dengan variasi *preheat* 100°C dan 200°C nilainya secara berurutan mengalami kenaikan sebesar 0,17% dan 12,31%. UTS mengalami persentase penurunan sebesar 5,1%, 2,54% dan 1,37% dengan nilai *yield* dan *tensile strength* adalah 305,33, 404 dan 453 MPa untuk *yield* serta 589,1, 603,86 dan 610,81 MPa merupakan nilai UTS. Nilai kekerasan pada HAZ untuk variasi tanpa *preheat*, *preheat* 100°C dan 200°C berturut-turut mengalami kenaikan sebesar 16,11%, 8,37% dan 2,91% dengan nilai 245, 228,67 dan 217,33 HV. Sedangkan *weld metal* juga mengalami kenaikan kekerasan sebesar 17,4%, 8,28% dan 6,77% dengan nilai 231,67, 213,67 dan 211,67 HV yang secara gradual mengalami penurunan. Kemudian stuktur mikro yang terbentuk adalah *ferrite* dan *pearlite*. Dengan persentase fasa *ferrite* dan *pearlite* yang terbentuk secara signifikan pada bagian *root weld* persentase *pearlite* memiliki tren menurun seiring dengan meningkatnya *temperature preheat* yang diberikan.

Kata Kunci: ASTM A36, SMAW, *Preheat*, Pengelasan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF PREHEATING TEMPERATURE IN ASTM A36 STEEL WELDING PROCESS USING SMAW ON WATER SURFACE TO WELD DEFECT, HARDNESS AND TENSILE STRENGTH

Student Name / NRP : Rifki Arga Irfansyah/0251184000097
Departement : Materials and Metallurgical Engineering ITS
Advisor : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
Co-Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstract

There was many cases of a leaking tank, those leaks could happen in fabrication process or in emergency case. Emptying the tank before the welding process is the safest method, but for increasing the efficiency then, practically direct welding process has done with water inside the tanks. This research are observe and analyze the effect of welding process which take place in water surface using ASTM A36 steel with Shielded Metal Arc Welding (SMAW). The variation of treatment are dry condition for comparison with in water surface weld without preheat, with preheat temperature at 100°C and 200°C. This research results has proved that preheating in above water surface welding process helps the increase of yield strength, reduce hardness increase value and gives better Ultimate Tensile Strength (UTS). From the variation without preheat the value of yield strength are decreased 32.1% compared to the dry condition, meanwhile for variation with preheat temperature at 100°C and 200°C occurs increased value of yield strength at 0.17% and 12.31% with value 305.33, 404 and 453 MPa in sequentially. Then UTS results were decreased by 5.1%, 2.54% and 1.37% with value of 589.1, 603.86 dan 610.81 MPa for those variation coherently. After that, the HAZ hardness value constantly declined for without preheat, preheat temperature at 100°C and 200°C with percentage in a row were 16.11%, 8.37% and 2.91% with value at 245, 228.67 dan 217.33 HV. Weanwhile on weld metal also end up with increased hardness but gradually decreased with higher preheat temperature value at 231.67, 213,67 and 211.67 HV or in percentage were 17.4%, 8.28% and 6.77%. For microstructure, ferrite and pearlite were formed. With percentage of the phase on root weld for pearlite have decrease trend along with the increase of preheating temperature given.

Keywords: ASTM A36, SMAW, Preheat, Welding

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS PENGARUH VARIASI PREHEATING TEMPERATURE PADA PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP POROSITAS, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS.
3. Ibu Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan nasihat dan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis.
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 07 Juli 2022
Penulis

Rifki Arga Irfansyah

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	xiii
Abstract	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pengelasan	3
2.1.1 <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW)	3
2.1.2 Sambungan Pengelasan	4
2.1.3 Polaritas	5
2.1.4 <i>Heat Input</i>	6
2.2 Baja	6
2.2.1 Baja ASTM A36	7
2.3 Elektroda E7016	8
2.4 <i>Preheat</i>	9
2.5 <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	10
2.6 Cacat pada Pengelasan	11
2.7 <i>Welding Procedure Specifications</i> (WPS)	14
2.8 Pengujian Spesimen	15
2.8.1 Pengujian Tarik	15
2.8.2 Pengujian Kekerasan	16
2.8.3 Pengujian <i>Liquid Penetrant</i>	16
2.8.4 Pengujian Metalografi	17
2.9 Penelitian Sebelumnya	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir	21
3.2 Metode Penelitian	22
3.3 Alat dan Bahan	22
3.3.1 Alat Penelitian	22
3.3.2 Bahan Penelitian	23
3.4 Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Prosedur Pengelasan	23
3.4.2 Prosedur Pemotongan Spesimen	26
3.5 Proses Pengujian	26
3.5.1 Pengujian <i>Liquid Penetrant</i>	27
3.5.2 Pengujian Tarik	27
3.5.3 Pengujian Metalografi	28
3.5.4 Pengujian Kekerasan	29
3.6 Rancangan Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33

4.1 Hasil <i>Penetrant Test</i>	33
4.2 Hasil Pengujian Tarik.....	34
4.3 Hasil Pengujian Metalografi	38
4.3.1 Perbandingan Persentase Fasa	43
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
UCAPAN TERIMA KASIH	77
BIODATA PENULIS.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Pengelasan	3
Gambar 2. 2 Skema Alat SMAW	4
Gambar 2. 3 <i>Butt Joint</i>	4
Gambar 2. 4 <i>Fillet T Joint</i>	5
Gambar 2. 5 <i>Lap Joint</i>	5
Gambar 2. 6 Diagram Fe-Fe ₃ C Material ASTM A36.....	8
Gambar 2. 7 Elektroda E7016.....	8
Gambar 2. 8 <i>Preheating</i> Lokal dengan <i>Blander</i>	9
Gambar 2. 9 Bagian pada Pengelasan	11
Gambar 2. 10 Film Radiografi Cacat <i>Lack of Fusion</i>	11
Gambar 2. 11 Skema Cacat <i>Lack of Fusion</i>	12
Gambar 2. 12 Cacat <i>Slag Inclusion</i>	12
Gambar 2. 13 Cacat Porositas	13
Gambar 2. 14 Cacat Retak	14
Gambar 2. 15 Kurva Tegangan – Regangan	15
Gambar 2. 16 Skema <i>Liquid Penetrant</i>	17
Gambar 2. 17 Hasil Uji Radiografi AISI 1018 dengan <i>preheat</i> 300 °C.....	18
Gambar 2. 18 Film Hasil Pengujian Radiografi pada Material API 5L Grade B	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3. 2 Pengukuran <i>Preheating Temperature</i>	24
Gambar 3. 3 Skema <i>Test Piece</i> Pengelasan Di Atas Permukaan Air.....	25
Gambar 3. 4 Proses Pengelasan <i>Test Piece</i> Di Atas Permukaan Air	25
Gambar 3. 5 <i>Test Piece</i> Sebelum dan Setelah Dipotong	26
Gambar 3. 6 Hasil <i>Machining</i> Spesimen Uji Tarik.....	26
Gambar 3. 7 <i>Magnaflux Liquid Penetrant Kit</i>	27
Gambar 3. 8 Spesimen Pengujian Tarik ASME IX QW-462.1(a).....	28
Gambar 3. 9 <i>Universal Testing Machine</i> DTMM-ITS (Kiri) dan PT. PAL Indonesia (Kanan)	28
Gambar 3. 10 Mikroskop Olympus BX51M-RF.	29
Gambar 3. 11 <i>Universal Hardness Tester</i> HBRV-187.5A	30
Gambar 3. 12 Ilustrasi Pengujian Kekerasan	30
Gambar 4. 1 Hasil <i>Penetrant Test</i> (PT) pada Spesimen (a.) D-NP, (b.) W-NP, (c.) W- P100 dan (d.) W-P200	33
Gambar 4. 2 <i>Rounded Indication</i> pada Spesimen <i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	34
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Rata-Rata <i>Yield Strength</i>	36
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Rata-Rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS).....	37
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Rata-Rata Elongasi (%)	37
Gambar 4. 6 Struktur Mikro Spesimen D-NP Perbesaran 500x (a.) <i>Base Metal</i> , (b.) HAZ dan (c.) <i>Weld Metal</i> dengan Etsa Nital	39
Gambar 4. 7 Struktur Mikro <i>Base Metal</i> Spesimen W-NP Perbesaran 500x dengan Etsa Nital	39
Gambar 4. 8 Struktur Mikro HAZ Spesimen W-NP Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	40
Gambar 4. 9 Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> Spesimen W-NP Perbesaran 500x dengan Etsa Nital (a.) <i>Root Weld</i> dan (b.) <i>Capping</i>	40
Gambar 4. 10 Struktur Mikro <i>Base Metal</i> Spesimen W-P100 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital	41

Gambar 4. 11	Struktur Mikro HAZ Spesimen W-P100 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	41
Gambar 4. 12	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> Spesimen W-P100 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital (a.) <i>Root Weld</i> dan (b.) <i>Capping</i>	41
Gambar 4. 13	Struktur Mikro <i>Base Metal</i> Spesimen W-P200 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	42
Gambar 4. 14	Struktur Mikro HAZ Spesimen W-P200 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	42
Gambar 4. 15	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> Spesimen W-P200 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital (a.) <i>Root Weld</i> dan (b.) <i>Capping</i>	43
Gambar 4. 16	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen D-NP	45
Gambar 4. 17	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen W-NP	46
Gambar 4. 18	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen W-P100	46
Gambar 4. 19	Grafik Nilai Kekerasan Spesimen W-P200	47
Gambar 4. 20	Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata <i>Base Metal</i> Seluruh Spesimen.....	47
Gambar 4. 21	Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata <i>Heat Affected Zone</i> Seluruh Spesimen	48
Gambar 4. 22	Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata <i>Weld Metal</i> Seluruh Spesimen	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Polaritas Pada Pengelasan SMAW	6
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja ASTM A36.....	7
Tabel 2. 3 <i>Mechanical Properties</i> dari Baja ASTM A36	7
Tabel 2. 4 Pengkodean Elektroda SMAW	9
Tabel 2. 5 Komposisi Kimia Kawat Las E7016	9
Tabel 2. 6 <i>Mechanical Properties</i> Elektroda E7016.....	9
Tabel 2. 7 Definisi Titik dalam Kurva Tegangan – Regangan	15
Tabel 2. 8 Perbedaan Indentor Metode Pengujian Kekerasan	16
Tabel 2. 11 Terminologi Syarat Keberterimaan <i>Penetrant Test</i>	16
Tabel 2. 12 Batas Syarat Keberterimaan <i>Penetrant Test</i> QW.195.2.2	16
Tabel 2. 13 Preparasi Uji Metalografi Sesuai ASTM E3.....	17
Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan <i>Root Pass</i>	23
Tabel 3. 2 Parameter Pengelasan <i>Hot Pass</i>	24
Tabel 3. 3 Parameter Pengelasan <i>Capping</i>	25
Tabel 3. 4 Rancangan Pengujian.....	31
Tabel 3. 5 Rancangan Jadwal Penelitian.....	31
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik	35
Tabel 4. 2 Persentase Selisih Nilai YS.....	35
Tabel 4. 3 Persentase Selisih Nilai UTS	35
Tabel 4. 4 Persentase Selisih Nilai Elongasi.....	36
Tabel 4. 5 Persentase Fasa Spesimen Pengelasan Kondisi Normal.....	43
Tabel 4. 6 Persentase Fasa Spesimen Pengelasan Di Atas Air dengan Variasi Perlakuan	44
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers (HV)	45
Tabel 4. 8 Persentase Selisih HV	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan salah satu urat nadi perputaran roda ekonomi dunia yang mencakup moda darat, laut dan udara. Melihat besarnya kebutuhan akan moda transportasi yang lebih memadai, maka penanganan atau sebuah mitigasi transportasi dianggap perlu dalam rangka perencanaan transportasi yang lebih baik dari segi ketersediaan maupun pengelolaannya. Seiring dengan perkembangan waktu dan tuntutan kebutuhan akan sarana dan prasarana yang mampu memberikan pelayanan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Dengan total *vessels* beredar di seluruh dunia adalah sejumlah kurang lebih 50.000 unit (Tolian et al., 2020). Sekitar 80% dari keseluruhan total *cargo* menggunakan *vessels* sebagai moda transportasinya. Dan semakin meningkatnya *volume cargo*, jumlah permintaan untuk transportasi menggunakan kapal dengan rute baru juga ikut terdampak (Lakshmi et al., 2021).

Penggunaan *vessels* kemudian tidak bisa lepas dari bagian tangki, sebuah *vessels* memerlukan berbagai jenis tangka untuk mengakomodir kebutuhan baik bahan bakar, logistic dan fluida pendukung lainnya. Selain kondisi darurat, dalam proses produksinya di PT. PAL Indonesia (Persero) pada tahap akhir fabrikasinya sebuah kapal perlu melewati proses *hydrostatic test*.

Metode ini adalah hal yang banyak digunakan untuk mengetahui kualitas dari tangki dan memastikan tidak ada kebocoran. Dan untuk melakukan pengujian ini, tangki perlu diisikan dengan air (Hassanzadeh & Rahmani, 2021).

Permasalahan yang kemudian muncul adalah saat dilakukan *hydrostatic test*, tangki diisikan air dan didapati adanya bagian *base metal* mengalami *leak* sehingga memerlukan tindakan lebih lanjut yang dimana sebelum *hydrostatic test* tidak didapati adanya *leaking* tersebut pada saat dilakukan *Non-Destructive Test* (NDT) karena pengujian terfokus pada bagian *weld metal*.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut terdapat beberapa pilihan, proses pengelasan dilakukan sesuai dengan kaidah pengelasan yakni dengan kondisi kering dengan catatan terlebih dahulu harus mengosongkan tangki yang telah terisi penuh atau salah satu alternatifnya adalah melakukan pengelasan pada bagian *leak* secara langsung dengan kondisi tangki terisi air.

Preheat atau pemanasan awal adalah perlakuan yang diberikan kepada logam induk untuk mengeliminasi embun dan kontaminan lainnya yang merupakan sumber dari kandungan hidrogen. Selain itu, *preheat* mampu mereduksi *cooling rate* saat *weld metal* mengalami pendinginan dari *welding temperature* ke *preheat temperature* sehingga menghasilkan struktur mikro dengan butir yang besar dan mempengaruhi *mechanical properties* yang lebih lunak (Odebiyi et al., 2019).

Pengelasan yang dilakukan dengan kondisi berair akan memberikan perubahan struktur mikro pada material dan mempengaruhi *mechanical properties* yang dapat menyebabkan daerah las menjadi getas.

Oleh sebab itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh perlakuan *preheat* pada pengelasan di atas permukaan air dengan proses *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW) pada baja ASTM A36 terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi *preheating temperature* pada pengelasan baja ASTM A36 di atas permukaan air terhadap kekerasan dan kekuatan tarik material dengan metode *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW)?

2. Bagaimana pengaruh variasi *preheating temperature* terhadap struktur mikro hasil pengelasan baja ASTM A36 di atas permukaan air dengan metode *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW)?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil yang optimal dan sesuai dengan yang diharapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan bebas cacat dengan dimensi dan komposisi sesuai standar ASTM A36.
2. Proses pengelasan dilakukan sesuai dengan *Welding Procedure Specification* (WPS) milik PT. PAL Indonesia (Persero).
3. Pengaruh dari lingkungan proses pengelasan dianggap ideal.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi *preheating temperature* pada pengelasan baja ASTM A36 di atas permukaan air terhadap kekerasan dan kekuatan tarik material dengan metode *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW)?
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi *preheating temperature* terhadap struktur mikro hasil pengelasan baja ASTM A36 di atas permukaan air dengan metode *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW)?

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai sarana memperluas ilmu serta wawasan di bidang keilmuan teknik material dan metalurgi praktis.
2. Sejumlah data yang didapatkan dapat menjadi tinjauan untuk diaplikasikan oleh PT. PAL Indonesia (Persero).
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya di masa mendatang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

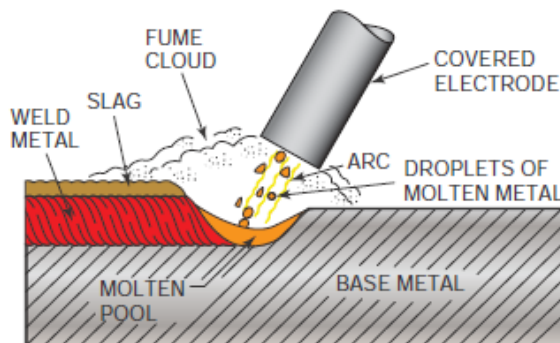
Definisi pengelasan menurut *American Welding Society* (AWS) adalah proses penyambungan logam atau non-logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur pencairan yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*).

Dari definisi tersebut dapat diambil pengertian jika pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau non-logam yang dilakukan dengan memanaskan daerah setempat yang akan disambung hingga mencair dan selanjutnya terjadi ikatan metalurgi pada logam tersebut (*American Welding Society. Structural et Welding Committee al., 2020*).

Deutsche Industrie Normen (DIN) mendefinisikan las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan melt atau cair. Dari definisi diatas dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari berbagai batang logam dengan menggunakan energi panas (*ASM International, 1993*).

2.1.1 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

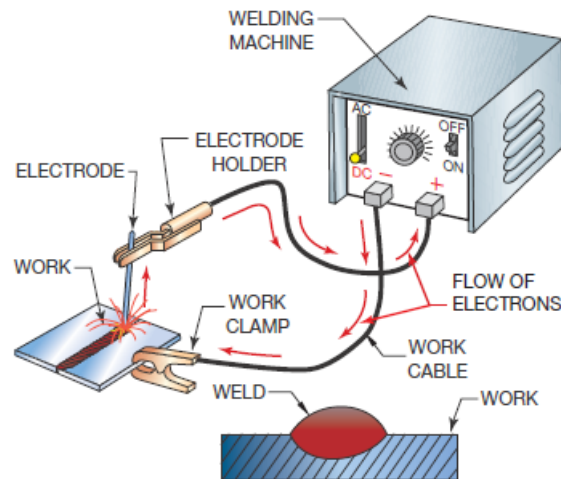
Shielded Metal Arc Welding (SMAW) adalah proses pengelasan yang paling banyak digunakan sekaligus yang paling sederhana dalam hal peralatan, tetapi, mungkin, yang paling sulit dalam sangat bergantung kepada kemampuan *welder*. Pada Gambar 2.1 merupakan penjelasan skema pengelasan SMAW.



Gambar 2. 1 Skema Pengelasan (Jeffus, 2012)

Seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.2, alat yang cukup sederhana membuat harga alat relatif rendah, ditambah dengan kemudahan untuk ketersediaan elektroda las (kecuali tipe logam yang tertentu seperti titanium, magnesium) sangat mudah ditemukan.

Selain itu SMAW juga memiliki fleksibilitas paling baik diantara proses pengelasan lainnya, karena dapat digunakan di semua posisi (datar, vertikal, horizontal, dan *overhead*) serta dengan hampir semua ketebalan benda kerja mulai dari 1,6 mm hingga tak terbatas (*ASM International, 1993*).



Gambar 2. 2 Skema Alat SMAW (Jeffus, 2012)

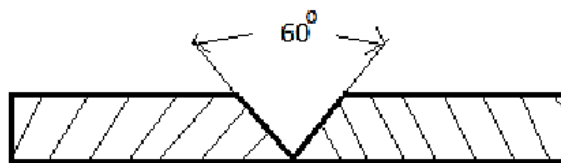
Namun di sisi lain, siklus pekerjaan *welder* umumnya sangat singkat dan tidak terlalu efisien dari segi kecepatan pengerjaan, karena setiap elektroda yang habis dalam kurun waktu 2-3 menit dan membutuhkan penggantian. Selain mengganti elektroda yang habis, *welder* diharuskan untuk "merusak" atau menghilangkan *slag* dan membersihkan di area terakhir sebelum berhenti untuk tempat mulainya pengelasan dengan sikat kawat agar memungkinkan adanya deposisi yang tepat dari lasan yang terhenti (ASM International, 1993).

2.1.2 Sambungan Pengelasan

Pengelasan adalah penyambungan dua buah material yang mana dalam prosesnya, terdapat beberapa jenis sambungan. Adapun celah antara dua logam yang akan disambung sering disebut dengan kampuh.

1. *Butt Joint*

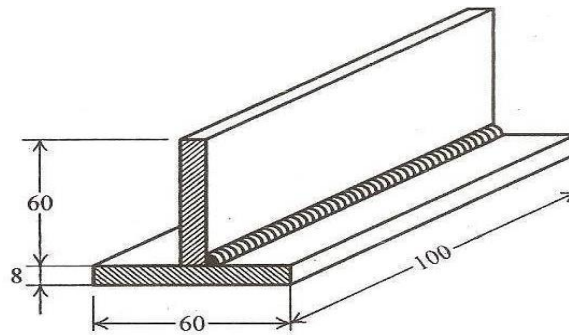
Dapat disebut juga sebagai sambungan sebidang, *butt joint* memiliki berbagai jenis kampuh seperti *Single V Groove*, *Double V Groove*, dan sebagainya. Contoh *butt joint* disajikan pada Gambar 2.3 (The American Society of Mechanical Engineers, 2019).



Gambar 2. 3 *Butt Joint* (The American Society of Mechanical Engineers, 2019)

2. *T Joint*

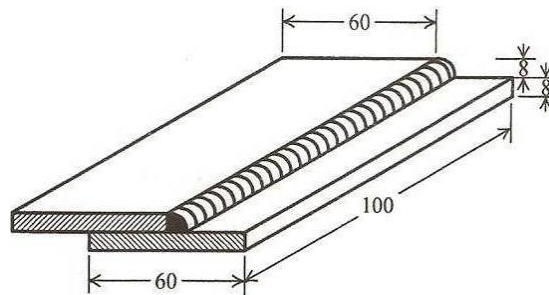
Sambungan ini juga sering disebut dengan *fillet joint*. Bentuknya seperti huruf T dan umumnya diaplikasikan seperti segel atau *seal* yang banyak ditemui pada daerah yang memiliki sudut siku-siku. Contoh *T fillet joint* disajikan pada Gambar 2.4 (The American Society of Mechanical Engineers, 2019).



Gambar 2. 4 *Fillet T Joint* (The American Society of Mechanical Engineers, 2019)

3. *Lap Joint*

Disebut juga sebagai sambungan lewatan, tipe ini seringkali digunakan pada pengelasan *seam* atau *spot*. Dua logam akan dilas dengan posisi bertumpukan. *Lap joint* sering ditemukan dalam konstruksi bangunan. Contoh *lap joint* disajikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 *Lap Joint* (The American Society of Mechanical Engineers, 2019)

2.1.3 Polaritas

Polaritas dalam pengelasan merupakan penempatan atau pemasangan kabel kutub ke mesin las dan benda kerja. Adapun tujuan dari penempatan ini untuk menentukan distribusi panas saat proses pengelasan untuk variasi ketebalan tertentu. Secara umum, arus yang sering digunakan dalam pengelasan adalah *Direct Current* (DC) yang dibagi menjadi 2 yakni *Direct-Current Electrode Negative* (DCEN), *Direct-Current Electrode Positive* (DCEP), dan *Alternate Current* (AC) (Jeffus, 2012).

Adapun perbandingan antara DCEN, DCEP dan AC disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Polaritas Pada Pengelasan SMAW (Jeffus, 2012)

DCEN	DCEP	AC
Kutub positif (+) berada pada <i>base metal</i> , sedangkan kutub negatif (-) berada pada elektroda.	Kutub negatif (-) berada pada <i>base metal</i> , sedangkan kutub positif (+) berada pada elektroda.	Benda kerja dan elektroda bergantian menjadi anoda dan katoda secara konsisten.
Elektron bergerak dari elektroda ke benda kerja.	Elektron bergerak dari benda kerja ke elektroda.	Elektron bergerak bergantian sesuai siklus.
1/3 panas terjadi di elektroda dan 2/3 panas terjadi di benda kerja.	2/3 panas terjadi di elektroda dan 1/3 panas terjadi di benda kerja.	Panas yang terjadi terdistribusi secara merata di elektroda dan benda kerja.
Karakter penetrasi yang dalam, sehingga cocok untuk pengelasan pelat tebal.	Memiliki penetrasi yang cenderung dangkal, sehingga cocok untuk pengelasan pelat tipis.	Kemampuan penetrasi tergantung dari <i>heat input</i> yang digunakan.

2.1.4 Heat Input

Besarnya energi dari proses pengelasan ketika sumber panas (busur listrik) bergerak disebut dengan *heat input*. Penentuan *heat input* menjadi penting karena akan mempengaruhi kualitas pengelasan serta seberapa banyak elektroda dan *base material* mencair dan fusi, Adapun besaran *heat input* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1 berikut :

$$HI = \frac{E \times I \times 60}{V \times 1000} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: HI = *Heat Input* (J/mm)
I = Arus (Ampere)
E = Tegangan (Volt)
V = *Travel Speed* (mm/s) (Fahrizal, 2016).

2.2 Baja

Berdasarkan persentase kadar karbonnya, baja dibagi menjadi tiga macam yaitu baja karbon rendah, menengah, dan tinggi. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon pada komposisinya. Oleh karena itu, baja karbon ini kemudian dikelompokkan kedalam tiga kelompok besar berdasarkan kadar karbon yang terkandung di dalamnya.

Baja karbon rendah (*low carbon steel/mild steel*), kadar karbon sampai 0,30%. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan.

Baja karbon menengah (*medium carbon steel*), kadar karbon 0,30-0,70% masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan tetapi getas.

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*), kadar karbon lebih dari 0,70% lebih kuat dan lebih keras, tetapi keuletan dan ketangguhannya semakin menurun. Pada baja karbon apabila semakin besar kandungan karbonnya maka material akan semakin kuat tetapi ketangguhannya menurun (Kalpakjian, 2014).

2.2.1 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan material yang sangat banyak digunakan di dunia *structure* karena memiliki *weldability* yang sangat baik dan mudah untuk dilakukan berbagai macam proses produksi. Baja ini umumnya digunakan dalam bentuk seperti *rectangle bar*, *circular rod*, *square bar*, *H-beams*, *I-beams* dan *plate* yang mana komposisi kimianya disesuaikan menurut aplikasi serta ketebalan materialnya.

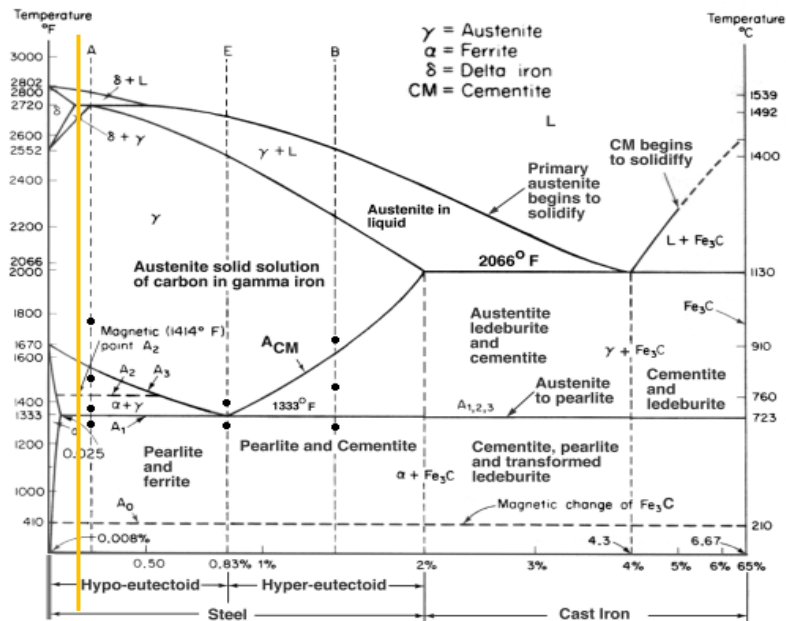
Pada Tabel 2.2 merupakan komposisi kimia yang terdapat dalam ASTM A36 untuk *plate* dengan ketebalan kurang dari 20 mm dengan komposisi tersebut dapat maka Gambar 2.6 merupakan letaknya pada diagram Fe-Fe₃C, sedangkan untuk *mechanical properties* dapat dilihat pada Tabel 2.3 (ASTM International, 2004).

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja ASTM A36 (ASTM International, 2004)

Unsur	Komposisi (%)
<i>Carbon (C), Max</i>	0.25
<i>Mangan (Mn), Max</i>	0.8-1.2
<i>Phosphorus (P), Max</i>	0.03
<i>Silicon (Si), Max</i>	0.40
<i>Sulphur (S), Max</i>	0.03
<i>Copper (Cu), Max</i>	0.20
<i>Iron (Fe)</i>	<i>Balance</i>

Tabel 2. 3 *Mechanical Properties* Baja ASTM A36 (ASTM International, 2004)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	Elongasi
400 – 500 MPa	250 MPa	23%
55 – 80 ksi	36 ksi	



Gambar 2. 6 Diagram Fe-Fe₃C Material ASTM A36 (Kalpakjian, 2014)

2.3 Elektroda E7016

Elektroda pengelasan umumnya berbentuk kawat dengan lapisan *flux* seperti yang tertera pada Gambar 2.7. *Flux* berfungsi sebagai *shielded* untuk logam cair dari kontaminasi udara dan lingkungan sekitar.

Penulisan kode elektroda SMAW memiliki standarisasi dengan penulisan “E XX A B” dengan keterangan masing-masing. Adapun aturan pengkodean elektroda SMAW dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini (Jeffus, 2012).



Gambar 2. 7 Elektroda E7016 (Kobelco Industries, 2012)

Tabel 2. 4 Pengkodean Elektroda SMAW (Jeffus, 2012)

Kode	Keterangan
E	Menyatakan elektroda untuk pengelasan busur listrik.
XX	Dua angka setelah E menyatakan kekuatan tarik deposit las (satuan ksi).
A	Satu angka setelah XX menyatakan posisi pengelasan.
B	Satu angka setelah A menyatakan jenis flux dan arus listrik.

Mengacu pada standar AWS A5.1 yang menjelaskan mengenai spesifikasi elektroda untuk pengelasan *carbon steel* dengan metode SMAW dan berdasarkan *Welding Specification Procedure* (WPS), elektroda yang digunakan adalah E7016. Untuk komposisi elektroda E7016 dapat dilihat pada Tabel 2.5 sedangkan untuk *mechanical properties*nya disajikan pada Tabel 2.6 (American Welding Society. Structural Welding Committee et al., 2020).

Tabel 2. 5 Komposisi Kimia Kawat Las E7016
(American Welding Society. Structural Welding Committee et al., 2020)

Elemen	Komposisi (%)
<i>Carbon (C), Max</i>	0.12
<i>Mangan (Mn), Max</i>	0.16
<i>Phosphorus (P), Max</i>	0.004
<i>Silicon (Si), Max</i>	0.75
<i>Sulphur (S), Max</i>	0.035

Tabel 2. 6 *Mechanical Properties* Elektroda E7016
(The American Society of Mechanical Engineers, 2019)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	Elongasi (%)
520 – 570 MPa	31-33
75 – 82 ksi	

2.4 Preheat

Preheat atau pemanasan awal menurut *American Welding Society* (AWS) adalah perlakuan yang diberikan kepada logam induk yang akan dilakukan proses pengelasan. Sedangkan *preheat temperature* adalah *temperature* dari logam induk atau *base metal* di area yang akan dilakukan pengelasan sebelum pengelasan dimulai (ASM International, 1993).



Gambar 2. 8 *Preheating* Lokal dengan *Blander* (Kalpakjian, 2014)

Preheat dapat dilakukan pada keseluruhan benda kerja atau hanya pada daerah di sekitar daerah sambungan saja dengan menggunakan *blander* seperti pada Gambar 2.8. Panas harus diberikan pada bidang kerja dengan cukup lebar, sehingga *temperature* daerah pengelasan tidak turun terlalu cepat di bawah *preheat temperature* minimum yang disyaratkan sebelum dan selama proses pengelasan berlangsung (ASM International, 1993).

Terdapat empat alasan utama untuk memberikan perlakuan *preheat*:

1. Memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih besar.
2. Memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar sehingga mengurangi potensi cacat pada pengelasan.
3. Mengurangi tegangan sisa dalam logam las dan pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)*.
4. Mengurangi resiko patah getas dan meningkatkan ketangguhan logam las.

Laju pendinginan setelah pengelasan juga dipengaruhi oleh nilai *preheat temperature*, dimana semakin tinggi temperatur menyebabkan laju pendinginan melambat dan menghasilkan sifat kekerasan material akan sedikit menurun namun kekuatan tariknya sedikit meningkat karena menjadi ulet atau *ductile* (Funderburk, 1997).

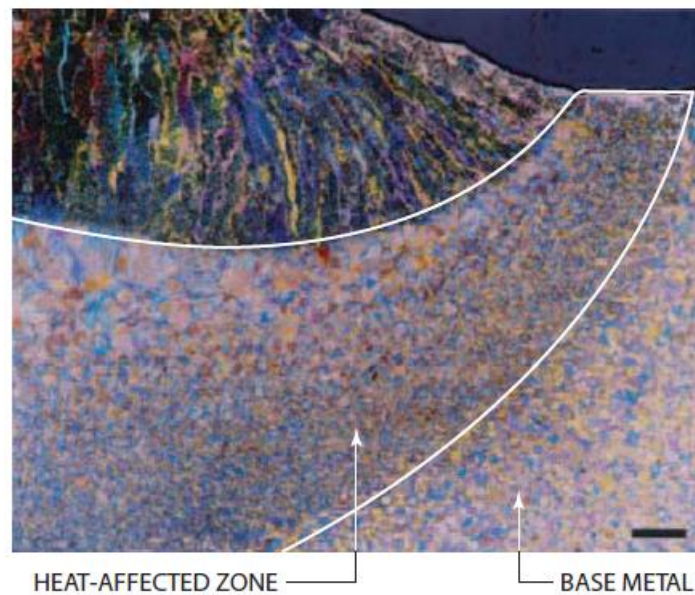
Selain itu perlakuan *preheat* yang meningkatkan *temperature base metal* di atas *temperature* ruangan mampu mereduksi *cooling rate* pada *weld metal* dan pada bagian HAZ sehingga mampu sekaligus menghindari adanya *crack* (Armentani et al., 2007).

Preheat mengeliminasi embun dan kontaminan lainnya yang merupakan sumber dari kandungan hidrogen. Selain itu, *preheat* mampu mereduksi *cooling rate* saat *weld metal* mengalami pendinginan dari *welding temperature* ke *preheat temperature* sehingga menghasilkan struktur mikro dengan butir yang besar dan mempengaruhi *mechanical properties* yang lebih lunak. Makin tinggi *preheat temperature*, makin tinggi *cooling rate* (waktu pendinginan yang lebih lama) (Odebiyi et al., 2019).

Preheating benda kerja sebelum memulai pengelasan mereduksi *stress* yang disebabkan *heat input* dan membantu aliran *filler metal*. *Preheat temperature* yang sering digunakan memiliki nilai 250°F hingga 400°F (120°C hingga 200°C) untuk hampir semua baja (Jeffus, 2012).

2.5 Heat Affected Zone (HAZ)

Setelah proses pengelasan telah dilakukan, akan terlihat secara kasat mata tiga daerah berbeda, yaitu *weld metal zone*, *Heat Affected Zone (HAZ)* dan *base metal zone* yang selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.9. Sebagian dari *base metal* yang belum sempat meleleh dan merupakan daerah yang paling dekat dengan daerah *weld metal* merupakan daerah yang *mechanical properties* dan atau struktur mikro-nya telah berubah akibat adanya masukan panas dari proses las yang dilakukan dan merupakan daerah yang paling rawan karena keberadaannya diharapkan seminimal mungkin (The American Society of Mechanical Engineers, 2019).



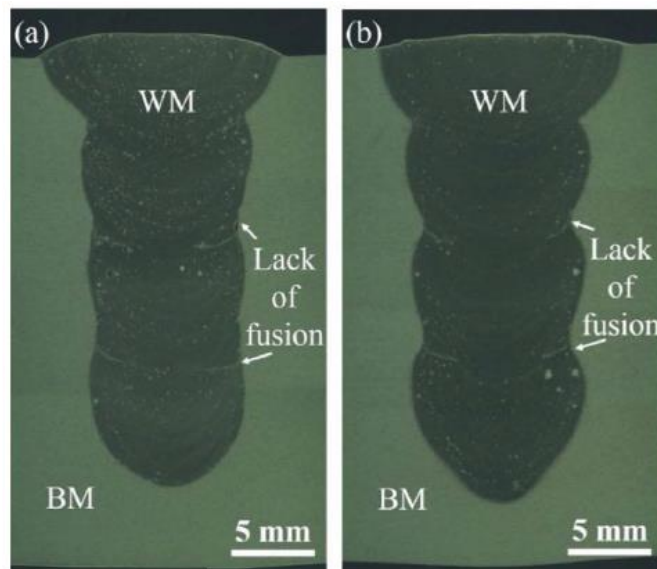
Gambar 2. 9 Bagian pada Pengelasan (Jeffus, 2012)

2.6 Cacat pada Pengelasan

Dalam proses pengelasan juga dapat terjadi kesalahan yang mengakibatkan cacat pada benda kerja dan mempengaruhi kualitasnya, sebagian dari contohnya adalah:

1. Kurang Menyatu (*Lack of Fusion*)

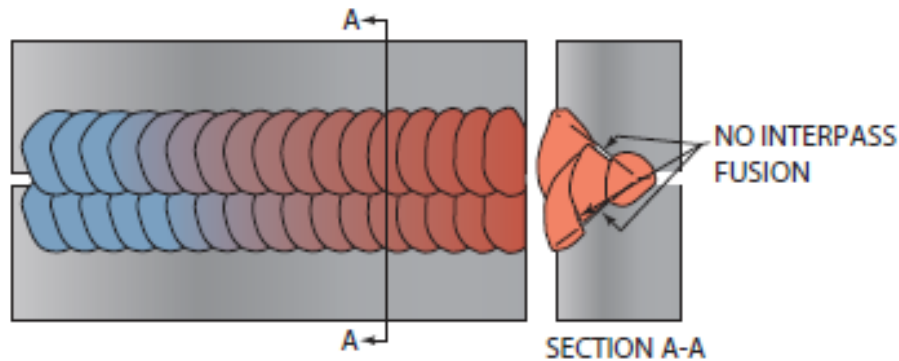
Cacat las ini terjadi karena logam las dan benda kerja gagal menyatu dengan sempurna. Cacat jenis ini bisa terjadi akibat *temperature* benda kerja yang terlalu rendah atau permukaan benda kerja yang kurang bersih. Untuk ilustrasi cacat las kurang menyatu (*Lack of Fusion*) dari hasil pengujian radiografi yang dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah.



Gambar 2. 10 Film Radiografi Cacat *Lack of Fusion* (Kumar & Singh, 2019)

Lack of fusion adalah kurangnya penyatuan antara *molten filler metal* dengan *filler metal layer* yang terdeposit sebelumnya dan/atau *base metal*. Gambar 2.11 merupakan skema dari cacat *lack of fusion*. *Lack of fusion* antara *weld metal* dan *base metal* yang bersentuhan langsung dengan *weld metal* disebut dengan cacat *lack of sidewall fusion*.

Keduanya masalah ini biasanya muncul di sepanjang atau sebagian besar panjang las.



Gambar 2. 11 Skema Cacat *Lack of Fusion* (Jeffus, 2012)

2. Cacat *Slag Inclusion*

Slag Inclusion adalah cacat yang terjadi akibat bahan bukan logam, seperti *slag* dan oksida, yang terperangkap dalam *weld metal*, antara *weld beads*, atau antara *weld metal* dan *base metal*. *Slag Inclusion* memiliki bentuk yang tidak teratur seperti yang digambarkan pada Gambar 2.12. Namun, *slag inclusion* juga dapat terbentuk dalam sebuah garis kontinu. Hal ini menyebabkan *stress* terkonsentrasi dan mengurangi kekuatan dari hasil pengelasan (Kalpakjian, 2014).



Gambar 2. 12 Cacat *Slag Inclusion* (Dodo et al., 2016)

Meski tidak terlihat secara visual, proses terbentuknya bisa diperkirakan muncul apabila *slag* dari lasan sebelumnya tidak dibersihkan dengan baik atau memiliki kontur yang buruk. *Slag inclusion* dapat ditafsirkan sebagai cacat lainnya ketika tidak dipastikan dengan pengujian radiografi, slag inclusion dibagi kedalam 2 jenis utama yakni:

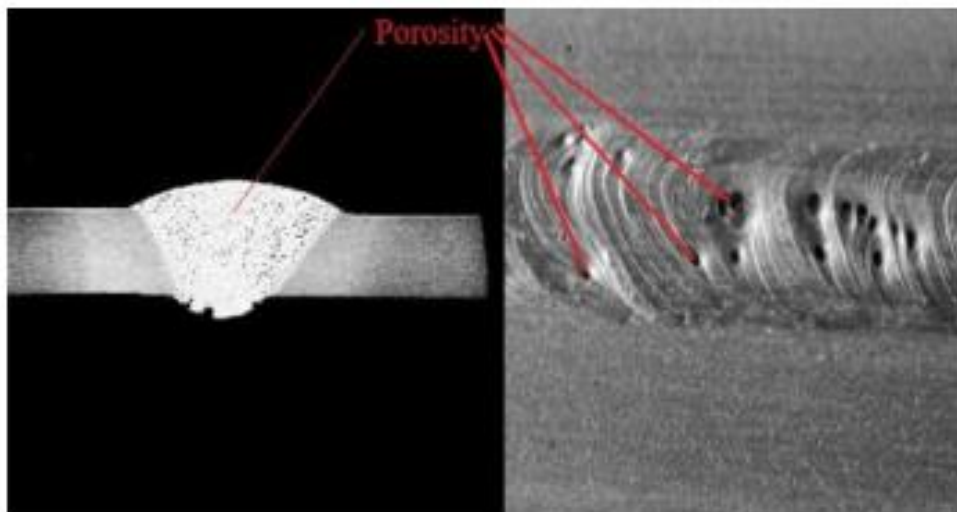
- a) *Linier slag inclusion* dalam radiografi umumnya tergambar dengan detail berupa bayangan; jika tidak muncul bayangan, maka *slag inclusion* ditafsirkan sebagai cacat kurangnya fusi. Cacat ini hasil dari kurangnya kontrol terak yang disebabkan oleh proses pembersihan yang buruk atau dengan hasil pengelasan dengan *crown* yang terlalu tinggi, dan *incomplete fusion*.
- b) *Scattered slag inclusion* berbentuk menyerupai porositas tetapi, memiliki bentuk tidak seperti porositas. *Heavy mill scale* atau *rust* merupakan sumber utamanya, atau dapat dihasilkan dari potongan-potongan pelapis elektroda yang tidak

mengalami fusi dan kemudian jatuh ke dalam *weld pool*.

Syarat terjadinya cacat *slag inclusion* antara lain adalah:

- Slag* dan/atau oksida tidak memiliki cukup waktu untuk mengapung ke permukaan kolam las cair.
- Ada *notch* tajam di antara *weld beads* atau antara *weld metal* dan *base metal* yang menjebak *slag* sehingga tidak dapat mengapung.
- Rancangan sambungan las dengan ruang yang tidak cukup untuk pembersihan (Jeffus, 2012).

3. Cacat Porositas



Gambar 2. 13 Cacat Porositas (Ristyanto et al., 2014)

Pada Gambar 2.13 dapat dilihat gambar cacat porositas pada *weld metal*. Porositas dihasilkan dari *impurities* atau fluida pada benda kerja yang menguap akibat adanya *heat input* dan berubah bentuk menjadi gas yang ikut terlarut dalam *weld pool*. Gas tersebut kemudian membentuk gelembung dan terperangkap saat *weld metal* mengalami solidifikasi.

Porositas memiliki bentuk *spherical* (berbentuk bola) atau *tube/tunnel shape* (tabung atau terowongan). Porositas silinder disebut *wormhole*, dan ini adalah jenis porositas yang paling mungkin terjadi hingga permukaan las dan terlihat secara langsung. Dengan karakteristik bentuk porositas dengan ujung yang membulat, porositas cenderung mengurangi *stress* di sekitar mereka. Karena itu, sejatinya porositas tidak terlalu bahkan tidak sama sekali mempengaruhi aspek kekuatan dari hasil las.

Porositas paling sering disebabkan oleh teknik pengelasan yang tidak tepat sehingga permukaan *weld metal* tidak terproteksi dengan baik dengan *flux* dan/ *shielding gas*, kontaminasi, atau ketidakseimbangan komposisi kimia antara *filler* dan logam dasar.

Porositas dapat dikelompokkan menjadi 4 jenis:

- Uniformly scattered porosity* paling banyak terjadi akibat teknik pengelasan yang salah atau material yang memiliki cacat.
- Clustered porosity* sering terjadi pada daerah *start-stop* pengelasan hal ini terjadi akibat *improper technique*.
- Linear porosity* muncul akibat adanya kontaminasi pada daerah *joint*, *root*, atau *interbead boundaries*.

- d. *Piping porosity* atau *wormhole* terjadi akibat kontaminasi pada daerah *root*. Porositas ini terbentuk dari gas yang terlepas di *weld pool* dengan kelajuan yang sama dengan kecepatan solidifikasi (Jeffus, 2012).

4. Cacat Retak

Retak sering terjadi pada lasan maupun bagian benda kerja yang dekat dengan lasan. Retakan yang sering terjadi berupa retakan yang sangat sempit, walaupun tidak menutup kemungkinan terjadi retakan yang luas. Atau lengkapnya dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.14 di bawah ini (Kalpakjian, 2014).



Gambar 2. 14 Cacat Retak (Ristyanto et al., 2014)

Crack atau retak terbentuk di *weld pool* saat proses *shrinkage* dan mengeras, Material dengan *melting temperature* rendah akan menyisakan pusat *weld pool* menjadi daerah yang terakhir dingin. Karena daerah ini adalah wilayah yang terakhir membeku, mereka ditarik terpisah atau dipisahkan sebagai akibat dari logam las menyusut saat dingin. Dan adanya *shrinkage stress* makin memicu pembentukan retak.

Retak diminimalkan, dengan tidak memotong busur dengan cepat di ujung las, yang memungkinkan kondisi *heat input* turun secara bertahap, dan *weld pool* terisi dan mendingin dengan lebih lambat. Untuk sebagian besar proses pengelasan, cara efektif untuk mencegah retakan adalah dengan menarik *arc* sedikit ke belakang di atas akhiran las, sehingga memungkinkan *weld pool* berakhir di bagian atas las (Jeffus, 2012).

2.7 *Welding Procedure Specifications (WPS)*

Sebelum melakukan proses pengelasan diperlukan perancangan prosedur secara rinci yang mengacu pada kode atau standar. Prosedur tersebut disebut dengan *Welding Procedure Specification (WPS)*. Adapun standar yang banyak digunakan untuk pengelasan adalah ASME *Section IX*, AWS (untuk pengelasan struktural).

WPS sendiri berisikan *record* pengelasan material atau lebih dikenal dengan istilah *Procedure Qualification Record (PQR)* yang akan digunakan dengan parameter yang telah ditentukan (tegangan, arus, *travel speed*, elektroda, jenis kampuh, hingga *welding sequence*) yang kemudian dilakukan pengujian *destructive* dan *non-destructive* yang bertujuan untuk memastikan kualitas pengelasan yang akan dilakukan. Adapun jenis pengujian dan pembuatan

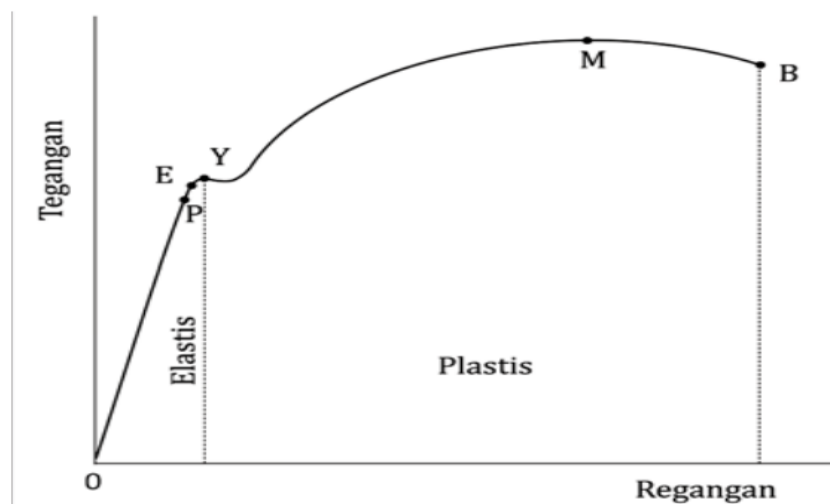
spesimen mengacu pada kode atau standar yang digunakan. Hasil dari pengujian tersebut kemudian didokumentasikan dan disahkan untuk menjadi sebuah WPS (Prana et al., 2017).

2.8 Pengujian Spesimen

Sebuah material memiliki sifat mekanik yaitu kemampuan untuk menerima beban secara dinamis maupun statis tanpa mengalami kegagalan atau deformasi. Beberapa contoh dari sifat mekanik adalah kekuatan, kekerasan, dan keuletan. Oleh sebab itu sebelum diaplikasikan diperlukan pengujian spesimen terlebih dahulu agar sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan (Rahmatika et al., 2021).

2.8.1 Pengujian Tarik

Disebut juga *tensile test*, pengujian merusak ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari sebuah material. Adapun deformasi yang dialami material dapat ditinjau dari kurva tegangan – regangan, seperti pada Gambar 2.15, dan untuk definisi setiap titik kurva disajikan pada Tabel 2.7 (Widyastuti et al., 2019).



Gambar 2. 15 Kurva Tegangan – Regangan (Widyastuti et al., 2019)

Tabel 2. 7 Definisi Titik dalam Kurva Tegangan – Regangan (Widyastuti et al., 2019)

Titik	Nama	Definisi
P	<i>Proportional Limit</i>	Regangan dan tegangan memiliki hubungan linier atau berbanding lurus.
E	<i>Elastic Limit</i>	Batas elastisitas spesimen, apabila diberi pembebanan kemudian beban tersebut dihilangkan, maka spesimen akan kembali ke bentuk semula.
Y	<i>Yield Point</i>	Titik di mana spesimen bertambah panjang akibat penambahan beban yang sama.
M	<i>Maximum Point</i>	Titik di mana spesimen menerima beban maksimum sehingga mulai menimbulkan <i>necking</i> .
B	<i>Breaking Point</i>	Titik di mana spesimen mengalami kegagalan atau patah.

2.8.2 Pengujian Kekerasan

Disebut juga *hardness test*, pengujian merusak ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan penetrasi atau indentasi dari sebuah material. Beberapa metode yang sering digunakan pada *hardness test* adalah *Rockwell*, *Vickers*, dan *Brinell*. Adapun perbedaan mendasar pada 3 jenis pengujian kekerasan disajikan pada Tabel 2.8 (Kalpakjian, 2014).

Tabel 2. 8 Perbedaan Indentor Metode Pengujian Kekerasan (Kalpakjian, 2014)

Metode	Indentor
<i>Brinell</i>	<i>Sphere</i> berukuran 10 mm terbuat dari <i>tungsten carbide</i>
<i>Vickers</i>	Intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136°
<i>Rockwell</i>	Intan berbentuk <i>cone</i> dengan sudut puncak 120°

2.8.3 Pengujian *Liquid Penetrant*

Liquid Penetrant Testing (PT) merupakan salah satu metode pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test*) pada material, pengujian *penetrant* ini dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan atau diskontinuitas yang terbuka pada permukaan. Penggunaan uji penetrant sangat luas, selain untuk memeriksa sambungan las dan *surface* pada benda kerja, metode uji penetrant ini juga bisa untuk mendeteksi retak yang terjadi pada komponen pesawat seperti part mesin (*crank shaft*, *gear*), *part aircraft*, *landing gear*, dan pada *aircraft support assembly*.

Metode penetrant ini menggunakan cairan penetrant yang berdaya resap tinggi, dapat berupa cairan warna merah atau hijau *fluorescent* (bersinar jika terkena cahaya *ultraviolet*), cairan berwarna terang ini bertujuan untuk mengetahui keretakan atau kerusakan pada material solid baik logam maupun non-logam, untuk skema dapat dilihat pada Gambar 2.16.

Kemudian untuk syarat keberterimaan berdasarkan ASME Sec. IX pada kode QW-195 *Liquid Penetrant Examination* disebutkan bahwa hasil PT “*shall be judge unaccepeted*” ketika hasil pengujian menunjukkan indikasi apa pun yang melebihi batas yang ditentukan pada Tabel 2.9 dengan terminologi berdasarkan Tabel 2.10.

Tabel 2. 9 Terminologi Syarat Keberterimaan *Penetrant Test*
(The American Society of Mechanical Engineers, 2019)

Indikasi	Penjelasan
<i>Relevant Indications</i>	Indikasi dengan dimensi utama lebih besar dari 1/16 inci (1,5 mm)
<i>Linear Indications</i>	Indikasi yang memiliki panjang > 3x lebarnya
<i>Rounded Indications</i>	Indikasi yang melingkar atau bulat memanjang ≤ 3x lebarnya

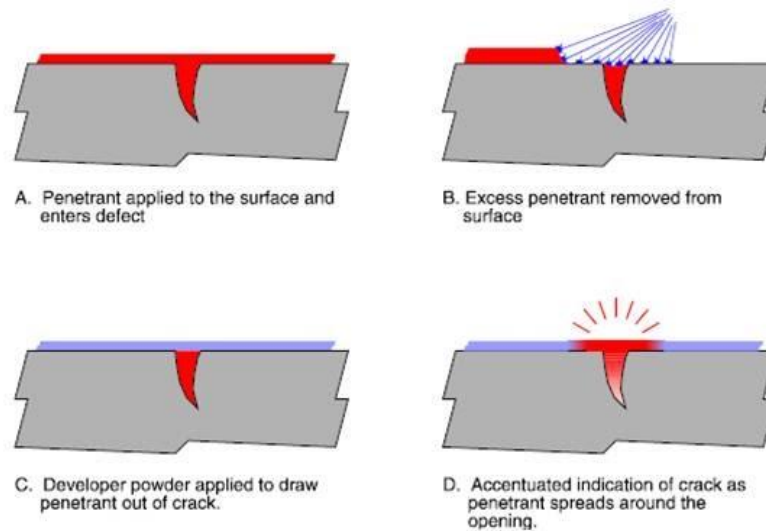
Tabel 2. 10 Batas Syarat Keberterimaan *Penetrant Test* QW.195.2.2
(The American Society of Mechanical Engineers, 2019)

Batas Syarat Keberterimaan *Penetrant Test*

Relevant linear indications

Relevant rounded indications yang lebih dari 3/16 in. (5 mm)

Empat atau lebih *relevant rounded indications* dalam satu garis yang berjarak 1/16 in. (1.5 mm) atau kurang (berdempetan)



Gambar 2. 16 Skema *Liquid Penetrant* (Nurhaya, 2016)

2.8.4 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati struktur mikro dari benda kerja menggunakan mikroskop optik. Adapun urutan tahap preparasi disajikan pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Preparasi Uji Metalografi Sesuai ASTM E3
(American Society of Testing Materials, 2012)

Urutan	Tahap	Tujuan	Alat dan Bahan
1	<i>Cutting</i>	Memotong spesimen menjadi ukuran kecil pada daerah yang ingin diamati.	Gergaji
2	<i>Grinding</i>	Meratakan permukaan spesimen untuk memudahkan pengamatan struktur mikro.	Kertas ampelas dan air
3	<i>Polishing</i>	Pemolesan permukaan yang telah diampelas hingga <i>grade</i> tertentu agar bebas dari <i>scratch</i> .	<i>Metal polish</i>
4	<i>Etching</i>	Proses pengikisan permukaan spesimen secara kimiawi agar dapat terlihat menggunakan mikroskop optik	Larutan etsa, air, alkohol

2.9 Penelitian Sebelumnya

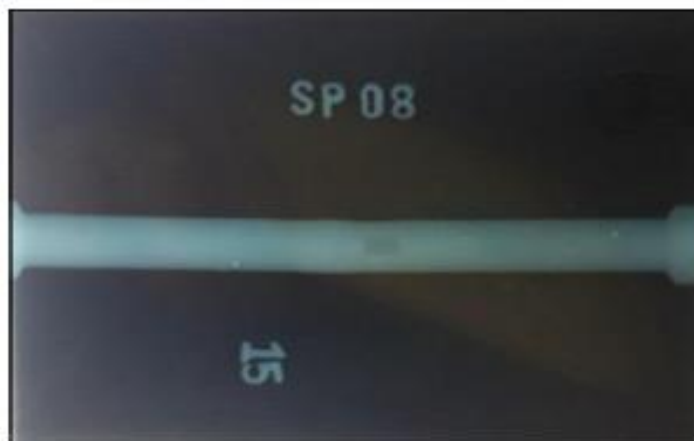
Penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian ini adalah: Kasuya et. al (1995) melakukan penelitian mengenai pentingnya perlakuan *preheat* untuk menghindari retak dingin, munculnya retak tersebut diperkirakan muncul karena adanya difusi hidrogen, tegangan sisa dan juga perbedaan nilai kekerasan yang signifikan pada daerah retakan awal (Yurioka & Kasuya, 1995).

Pada penelitian dengan judul berbeda pada tahun yang sama Kasuya et. al (1995) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi *ambient temperature* dan pentingnya perlakuan *preheat* untuk menghindari adanya retak dingin. Dengan menggunakan material JIS Z 3158 dengan beberapa variasi ketebalan 10, 20, 25, 38 dan 100 mm. Semua spesimen diberikan perlakuan

preheat selama 12 jam dengan menggunakan *furnace* agar menghasilkan panas yang homogen dan *uniform*. Namun terdapat satu spesimen yang menggunakan *local preheat* dengan menggunakan *burner* (Kasuya & Yurioka, 1995).

Preheat yang dilakukan dengan *furnace* selama 12 jam pada *temperature* 125 °C memberikan hasil yang lebih baik ketimbang dengan menggunakan gas *burner* pada *temperature* 150°C. Dan kesimpulan yang didapatkan adalah penurunan kecenderungan retak dingin pada *Heat Affected Zone* (HAZ) (Kasuya & Yurioka, 1995).

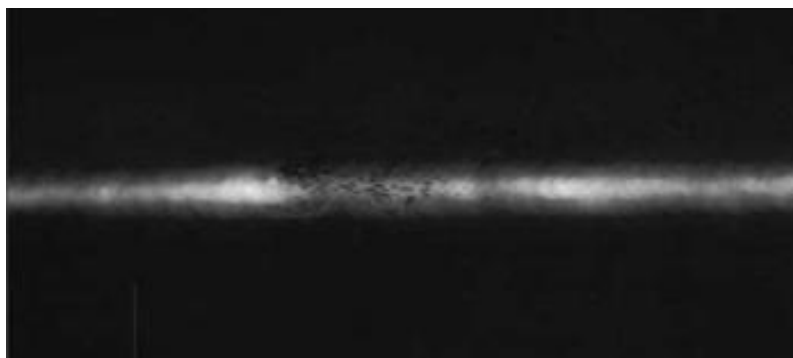
(Kumar & Singh, 2019) pada penelitiannya mengenai kekuatan tarik pada pengelasan SMAW baja AISI 1018 *mild steel* dengan ketebalan 15 mm yang kemudian diberikan perlakuan *preheat* dengan variasi *temperature preheat* 275-300 °C dan menggunakan elektroda E6013.



Gambar 2. 17 Hasil Uji Radiografi AISI 1018 dengan *preheat* 300 °C (Kumar & Singh, 2019)

Hasilnya menunjukkan setelah dilakukan pengujian radiografi pada spesimen dapat membantu mengurangi adanya cacat porositas pada hasil pengelasan seperti pada Gambar 2.17 di atas yang merupakan hasil pengujian radiografi pada spesimen dengan *preheat* pada *temperature* 300°C. Dan pada penelitian yang sama juga disimpulkan bahwa pemberian perlakuan *preheat* terbukti mampu mengurangi porositas pada *weld metal*.

Adhyaksa et. al (2019) yang melakukan penelitian mengenai *welding disabilities* pada pipa baja karbon (API 5L grade B) dengan *outside diameter* (OD) 60.3 mm, *inside diameter* 52.48 mm dan ketebalan pipa adalah 3.15 mm menggunakan metode SMAW dan elektroda E7016 dan E7018. Penelitian sebelum ini menunjukkan hasil dimana *defect* yang banyak terjadi pada proses tersebut adalah tidak adanya perlakuan *preheating* dan hasilnya dapat diketahui ketika dilakukan pengujian radiografi.



Gambar 2. 18 Film Hasil Pengujian Radiografi pada Material API 5L Grade B (Lumban Gaol et al., 2019)

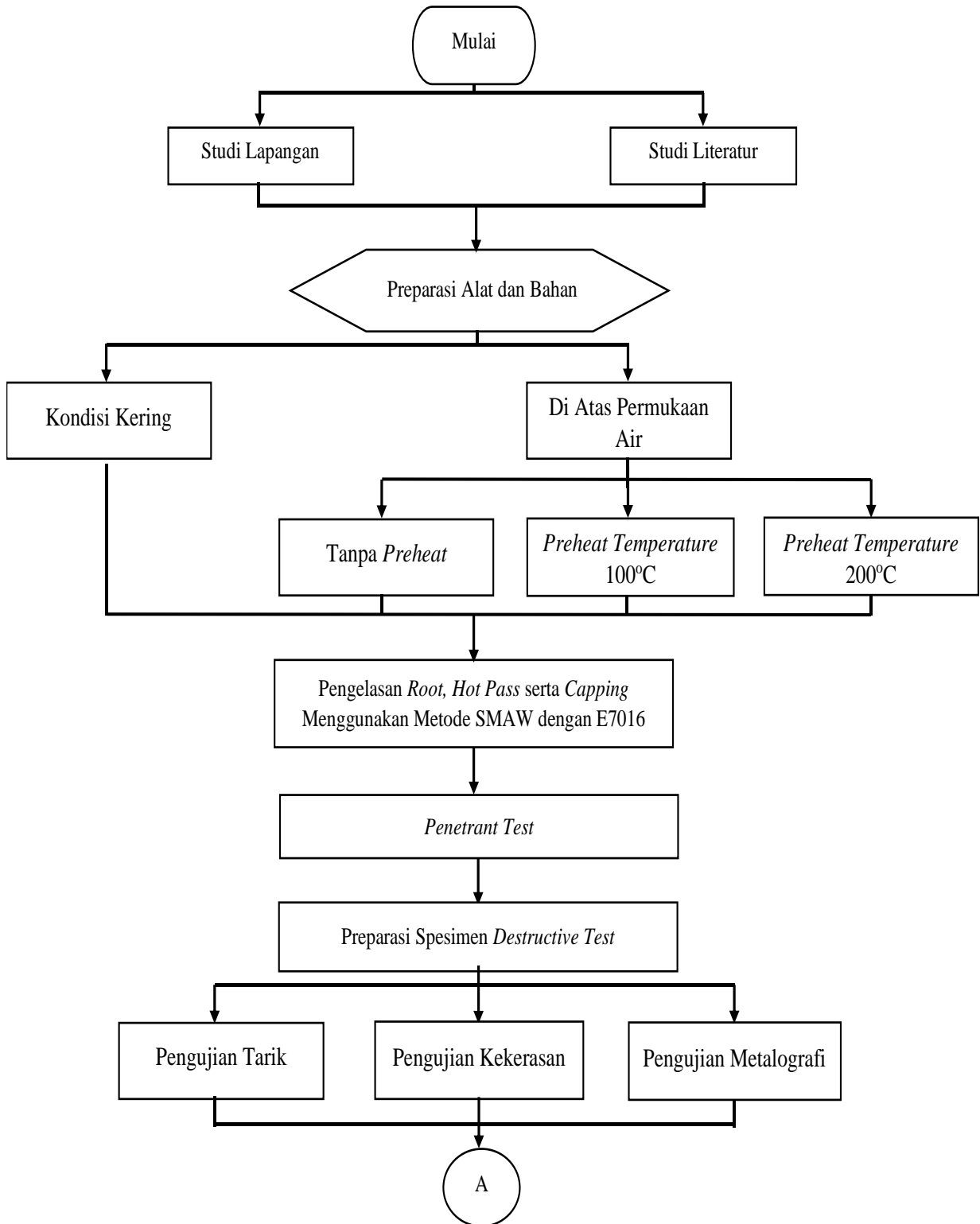
Penelitian ini kemudian memberikan perlakuan *preheat* pada *filler metal* yang digunakan sebagai perlakuan yang diharapkan mampu meminimalisir adanya *weld defect*, sebelum digunakan, *filler metal* terlebih dulu dioven pada *temperature* 80°C selama 2 jam. Dan kesimpulan dari penelitian ini menyimpulkan bahwa perlakuan *preheat* pada elektroda SMAW berhasil mengurangi *defect* yang muncul saat dilakukan pengelasan dan memenuhi *acceptance criteria* dari API 1104 walaupun tidak membuat hasil pengelasannya 100% terbebas dari adanya *defect* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.18 (Lumban Gaol et al., 2019).

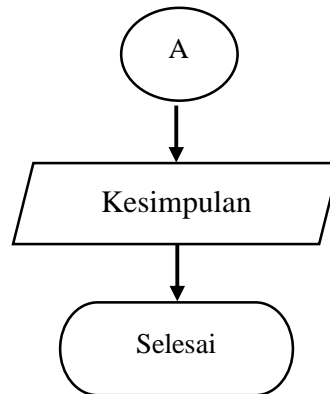
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Diagram alir penelitian penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan untuk penelitian ini adalah:

1. Studi Lapangan

Pada studi lapangan, penulis yang melaksanakan *On The Job Training* (OJT) di PT. PAL Indonesia mendapati sebuah permasalahan yang muncul di proses produksi kapal di PT. PAL Indonesia yang kemudian penulis banyak melakukan diskusi dengan pembimbing lapangan yang merupakan seorang *Welding Engineer* yang didasari rasa keingintahuan serta menanyakan ketersediaan terkait perizinan secara verbal dan formal administrasi.

2. Studi Literatur

Pada tahapan studi literatur, dilakukan pencarian tinjauan melalui buku, jurnal, maupun penelitian serupa mengenai pengelasan dengan pendinginan cepat atau *underwater wet welding* dengan material ASTM A36.

3. Diskusi

Tahapan ini dilakukan dalam upaya untuk memperluas wawasan terkait permasalahan dan menemukan solusi pada penelitian yang akan dirancang. Diskusi berlangsung bersama pihak yang bersangkutan dengan penelitian dalam hal ini adalah dosen pembimbing dan *Welding Engineer* sekaligus pembimbing lapangan dari PT. PAL Indonesia (Persero).

4. Eksperimental

Metode penelitian ini dilakukan dengan pengelasan sesuai dengan *Welding Procedure Specification* (WPS) dan metode modifikasi dengan dilakukan di atas permukaan air tawar serta pengujian radiografi NDT, pengujian tarik, pengujian tekan dan pengujian *microstructure*.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW)
2. *Burner/torch*
3. Gerinda tangan
4. Gergaji besi
5. Sikat baja
6. *Thermometer* inframerah
7. Kikir
8. Mesin *polishing*
9. Mesin *scrub/milling*
10. *Universal Testing Machine*

11. *Optical Microscope*
12. Mesin uji kekerasan Vickers
13. *Hairdryer*
14. Senter
15. *Pneumatic Shovel*

3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Baja ASTM A36
2. Elektroda E7016
3. Kertas amplas grade 80, 120, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 5000
4. *Aluminium Oxide*
5. Larutan Ethanol 96%
6. Larutan HNO₃

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini prosedur penelitian yang dilakukan adalah:

3.4.1 Prosedur Pengelasan

Proses pengelasan material dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penyiapan material dengan ukuran 300 x 200 x 10 mm sejumlah 4 buah yang telah di-*bevel* pada alur lasnya.
2. Pemeriksaan kelurusan material, *root opening*, *root face dimension*.
3. Persiapan wadah air dan diisi penuh dengan air tawar.
4. Persiapan mesin las SMAW dengan elektroda E7016 dan menggunakan parameter pengelasan *root pass* sesuai dengan Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan *Root Pass*

Parameter	Value
<i>Voltase (V)</i>	25±3
<i>Ampere (A)</i>	100±8
<i>Travel Speed (mm/min)</i>	100±3
<i>Heat Input (kJ/mm)</i>	1.5
<i>Preheat (°C)</i>	Sesuai Variasi
<i>Electrode</i>	E7016 Lincoln
<i>Groove (°)</i>	60
<i>Position</i>	1G
<i>Polarity</i>	DCEP

5. Menyiapkan *oxygen acetylene gas* dan *blander* untuk perlakuan *preheat* dengan metode *flame heating*.
6. Pengelasan *test piece* dengan variasi perlakuan *preheat*, pengelasan *root pass* atau layer pertama dilakukan dengan parameter pada Tabel 3.1, namun ditambahkan dengan adanya nilai pemanasan awal dengan nilai 100 °C dan 200 °C.
7. Pemanasan awal dengan *temperature* 100 °C dan 200 °C bisa tercapai dengan menahan api yang ditembakkan *blander* pada material *test piece* untuk waktu ±2 menit dan ±5 menit sambil diamati menggunakan *infrared thermometer* hingga mencapai *temperature* yang diinginkan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pengukuran *Preheating Temperature*

8. Pembersihan *slag* dari fluks pengelasan dengan menggunakan *pneumatic shovel* dan sikat baja.
9. Pengelasan *hot pass* yang merupakan layer ke dua dilakukan dengan parameter sesuai Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Parameter Pengelasan *Hot Pass*

Parameter	Value
<i>Voltase (V)</i>	27±3
<i>Ampere (A)</i>	155±8
<i>Travel Speed (mm/min)</i>	120±3
<i>Heat Input (kJ/mm)</i>	2.0925
<i>Preheat (°C)</i>	0
<i>Electrode</i>	E7016
<i>Groove (°)</i>	60
<i>Posisi</i>	1G
<i>Polarity</i>	DCEP

10. Pengelasan layer ke tiga sekaligus terakhir atau *capping* sesuai dengan parameter yang disajikan ada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Parameter Pengelasan *Capping*

Parameter	Value
<i>Voltase (V)</i>	26±3
<i>Ampere (A)</i>	150±5
<i>Travel Speed (mm/min)</i>	120±2
<i>Heat Input (kJ/mm)</i>	2.0925
<i>Preheat (°C)</i>	0
<i>Electrode</i>	E7016
<i>Groove (°)</i>	60
<i>Posisi</i>	1G
<i>Polarity</i>	DCEP

Gambar 3.3 merupakan skema pengelasan *test piece* yang dilakukan dengan kondisi di atas permukaan air. Dan Gambar 3.4 merupakan proses pengelasan yang dilakukan.



Gambar 3. 3 Skema *Test Piece* Pengelasan Di Atas Permukaan Air

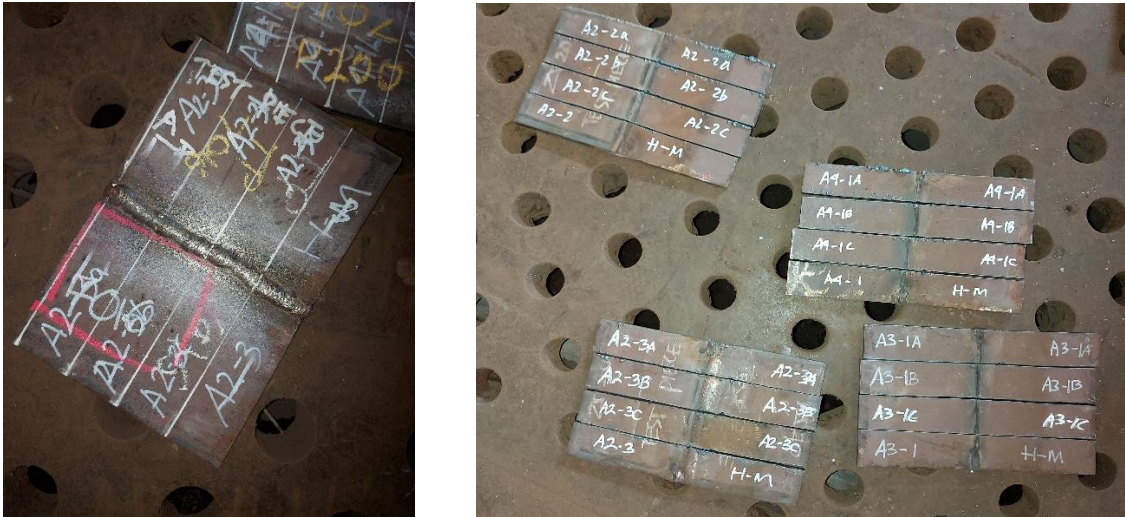


Gambar 3. 4 Proses Pengelasan *Test Piece* Di Atas Permukaan Air

3.4.2 Prosedur Pemotongan Spesimen

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pemotongan material. Proses pemotongan material dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengukur dimensi spesimen pada *test piece* dan diberikan *marking* menggunakan penggaris disesuaikan dengan jenis dan jumlah pengujian yang dilakukan seperti pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Test Piece Sebelum dan Setelah Dipotong

2. Melakukan proses pemotongan berdasarkan marking yang telah ditentukan.
3. Mengukur kembali material yang telah dipotong dan dikelompokkan sesuai penomoran awal seperti pada Gambar 3.5.
4. Melakukan *machining* pada material untuk membentuk spesimen uji tarik dengan menggunakan mesin untuk mendapatkan bentuk seperti yang tercantum pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hasil *Machining* Spesimen Uji Tarik

3.5 Proses Pengujian

Pada penelitian ini beberapa pengujian dilakukan dalam upaya untuk mengetahui pengaruh dalam aspek *mechanical properties* dan struktur mikro dari perlakuan *preheat* yang diberikan pada pengelasan di atas permukaan air.

3.5.1 Pengujian *Liquid Penetrant*

Liquid Penetrant adalah metode pengujian *non-destructive* yang efektif sebagai sarana untuk mendeteksi diskontinuitas yang terbuka pada permukaan logam yang tidak berpori. Beberapa diskontinuitas yang dapat dideteksi dengan metode ini adalah: *crack*, *seams*, *laps*, *cold shuts*, *laminations*, dan *porosity*. Dan standar yang digunakan adalah ASME Sec. V *Nondestructive Examination* pada artikel 6.



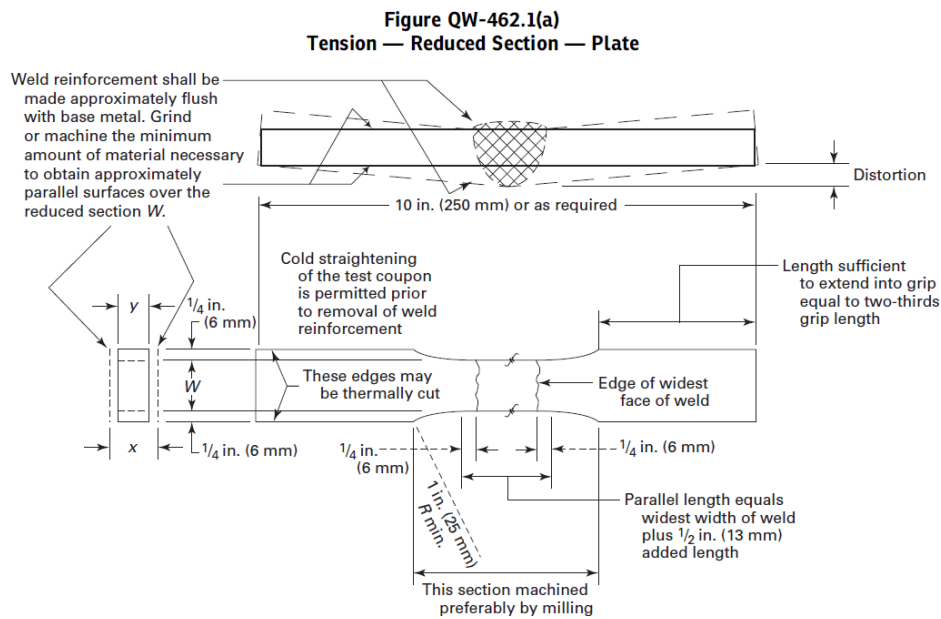
Gambar 3. 7 Magnaflux *Liquid Penetrant Kit*

Pengujian *Liquid Penetrant* dilakukan di PT. PAL Indonesia (Persero) yang dilakukan oleh NDE Level 2 menggunakan *Liquid Penetrant Kit* merk Magnaflux seperti pada Gambar 3.7. Pada prinsipnya, cairan penetrant diaplikasikan (bisa disemprotkan atau dioles menggunakan kuas) ke permukaan benda kerja yang akan diperiksa dan didiamkan selama 5 menit untuk benda kerja *steel* dan *weld* berdasarkan kode T-672 pada standar yang digunakan agar dapat masuk ke diskontinuitas pada benda kerja. Cairan penetrant kemudian dibersihkan dengan kain bersih hingga kering. Kemudian diaplikasikan cairan developer dengan cara disemprotkan pada bagian yang telah dibersihkan.

Cairan developer berfungsi sebagai *blotter* untuk menyerap kembali cairan penetrant yang meresap dan terjebak dalam diskontinuitas pada benda kerja dan sekaligus berfungsi sebagai warna yang kontras untuk meningkatkan visibilitas apabila terdapat indikasi diskontinuitas

3.5.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian material yang paling dasar dimana material yang sudah dipotong dengan ukuran yang sesuai standard diuji dengan cara ditarik searah gaya aksial untuk mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap gaya tarik dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Pembuatan spesimen uji harus sesuai dengan standar yang ditentukan yang mana dalam pengujian ini mengikuti ASME IX yang selengkapnya dapat disaksikan pada Gambar 3.8. Hasil dari pengujian ini akan mendapatkan profil tarikan berupa diagram tegangan-regangan (*stress-strain diagram*) serta merupakan metode untuk mengetahui nilai *tensile strength*, *yield point*, dan elongasi dari material.



Gambar 3. 8 Spesimen Pengujian Tarik ASME IX QW-462.1(a)

Pengujian tarik ini dilakukan menggunakan *Material Testing Machine* dan standar dari pengujian yang digunakan adalah ASME Sec. IX QW-462.1 untuk spesimen *plate* di Laboratorium *Destructive Test* PT. PAL Indonesia dan Laboratorium Metalurgi DTMM-ITS seperti yang tercantum pada Gambar 3.9 di bawah.



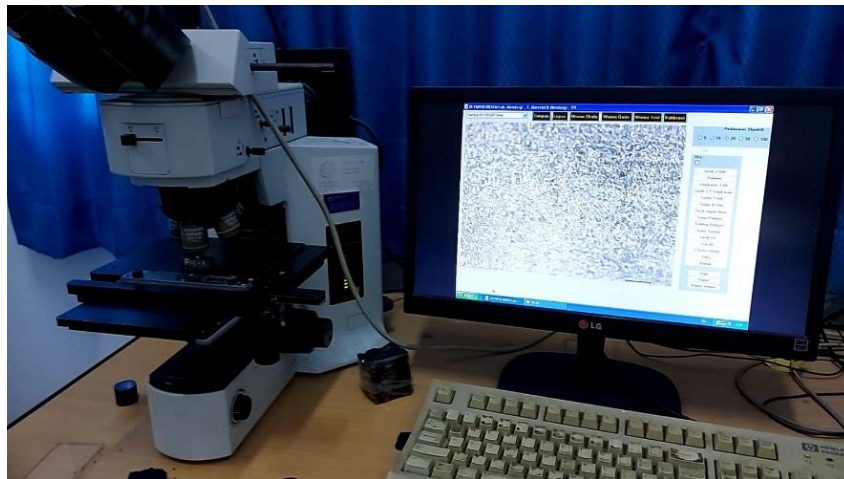
Gambar 3. 9 *Universal Testing Machine* DTMM-ITS (Kiri) dan PT. PAL Indonesia (Kanan)

3.5.3 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi merupakan suatu metode untuk mengetahui struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut struktur mikro.

Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. Dengan pengujian struktur mikro, dapat diamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas dan perbedaan komposisi.

Untuk melakukan pengujian mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan yang harus dilalui adalah mounting, grinding, polishing dan etching.



Gambar 3. 10 Mikroskop Olympus BX51M-RF.

Pengujian metalografi dilakukan dengan mikroskop metalografi Olympus BX51M-RF. pada Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya seperti pada Gambar 3.10 dengan menggunakan standar pengujian yang digunakan dalam preparasi spesimen uji metalografi adalah ASTM E3 dan ASTM E407-07 untuk larutan etsa. Yang mana kemudian diambil gambar struktur mikronya pada daerah *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ) untuk kemudian dianalisis serta dibandingkan lebih lanjut.

3.5.4 Pengujian Kekerasan

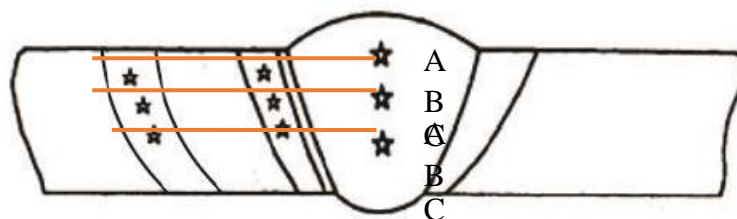
. Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang penting dan paling banyak digunakan dalam uji *mechanical properties* yang bertujuan untuk mengetahui sifat logam serta material tertentu lainnya dan dinilai ketahanannya terhadap indentor (deformasi tekan) secara permanen.



Gambar 3. 11 *Universal Hardness Tester HBRV-187.5A*

Sebuah indenter ditekan ke permukaan logam yang akan diuji dengan beban serta interval waktu tertentu. Hasil kekerasan diperoleh dari luasan indenter. Pengujian kekerasan pada material dilakukan pada daerah potongan melintang meliputi daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal* tiap material. Standard pengujian yang dilakukan menggunakan ASTM E92-17 sebagai standar pengujian kekerasan menggunakan dengan *Universal Hardness Tester HBRV-187.5A* milik Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya seperti pada Gambar 3.11.

Dengan jumlah 9 titik diambil pada 3 daerah *base metal*, *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ) yang mana mengikuti standard ASME Sec. IX untuk masing-masing 3 nilai kekerasan dari 3 daerah tersebut dan kemudian diambil nilai rata-ratanya serta dilakukan analisis lebih lanjut. Dan selengkapnya seperti yang tertera pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 *Ilustrasi Pengujian Kekerasan*

3.6 Rancangan Penelitian

Secara umum, penelitian ini dapat ditempuh selama 4 bulan pengerjaan dimulai dengan studi literatur hingga penyusunan laporan. Rancangan penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.4 dan dapat ditentukan jumlah masing-masing spesimen dari 3 sampel berdasarkan variabel yang diamati.

Terdapat 1 pengujian yang *non-destructive test* dan 3 jenis *destructive test*. Masing-masing sampel *destructive test* membutuhkan 3 spesimen pengujian tarik, 1 spesimen pengujian kekerasan dan 1 spesimen untuk metalografi. Sehingga total spesimen yang dibutuhkan adalah sebanyak 12 buah spesimen. Kemudian Tabel 3.5 menunjukkan rancangan jadwal penelitian secara lebih terperinci.

Tabel 3. 4 Rancangan Pengujian

Variasi Perlakuan	Pengujian			
	<i>Penetrant</i>	Tarik	Kekerasan	Metalografi
Kering (D-NP)	✓	✓	✓	✓
Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	✓	✓	✓	✓
<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	✓	✓	✓	✓
<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	✓	✓	✓	✓

Tabel 3. 5 Rancangan Jadwal Penelitian

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei			
	Minggu Ke-															
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan Alat dan Bahan	■	■	■	■	■	■										
Proses Pengelasan							■	■								
Pengujian Radiografi									■							
Pemotongan Spesimen										■						
Pengujian Metalografi											■	■				
Pengujian Tarik											■	■				
Pengujian Kekerasan											■	■				
Penyusunan Laporan Akhir											■	■	■	■	■	■

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penetrant Test

Pengujian *Non-Destructive* dengan metode *Liquid Penetrant Test* (PT) dilakukan untuk secara praktis mengetahui adanya cacat pada hasil pengelasan yang dilakukan. Pengujian *Penetrant Test* (PT) dilakukan di Divisi Jaminan Kualitas, Departemen Rekayasa Umum.

Dan sesuai dengan penelitian tentang aplikasi *Non-Destructive Test Penetrant Test* (NDT-PT) bahwa PT merupakan metode NDT yang cocok untuk mendeteksi *surface cracks*. (Endramawan et al., 2017). Kemudian membandingkan hasilnya antara dengan yang dilakukan dalam kondisi ideal serta dilakukan di atas permukaan air dengan variasi *preheat* yang diberlakukan, yang mana ketika ditemukan cacat pada area permukaan hasil lasan maka terdapat kemungkinan untuk terjadinya kecoboran yang dihindari.



Gambar 4. 1 Hasil *Penetrant Test* (PT) pada Spesimen (a.) D-NP, (b.) W-NP, (c.) W-P100 dan (d.) W-P200

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, hasil *Penetrant Test* (PT) yang dilakukan pada spesimen (a.) D-NP, (b.) W-NP, (c.) W-P100 dan (d.) W-P200 terdapat indikasi pada *surface welds* pada

spesimen W-P100 dengan perlakuan *preheat* 100°C yang memiliki 1 titik *rounded indication* dengan diameter 2 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.2, namun telah dilakukan interpretasi oleh NDE Level 2 PT. PAL Indonesia (Persero) dan dinilai masih termasuk dalam *acceptance standards* berdasarkan ASME IX pada poin QW-195.2.2.



Gambar 4. 2 *Rounded Indication* pada Spesimen *Preheat* 100°C (W-P100)

Kemudian hasil dari *Penetrant Test* (PT) ini menunjukkan bahwa pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air tanpa diberikan perlakuan ataupun dengan variasi perlakuan *preheat* 100°C dan 200°C tidak mempengaruhi kualitas permukaan hasil pengelasan secara signifikan apabila dibandingkan dengan spesimen yang dilakukan pengelasan dengan kondisi kering.

Namun dengan adanya *rounded indication* seperti pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa masih terdapat indikasi cacat yang muncul dan sejatinya dipengaruhi banyak faktor. Salah satu porositas yang dapat terjadi adalah *piping porosity* atau *wormhole* yang terjadi akibat kontaminasi pada daerah *root pass*. Porositas ini terbentuk dari gas yang terlepas di *weld pool* yang terdapat genangan air akibat proses pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air.

Pengelasan spesimen dilakukan dengan tiga *layer* dan perlakuan *preheat* hanya diberikan sebelum pengelasan *layer* pertama. Hal tersebut memungkinkan fenomena indikasi cacat bisa terjadi akibat proses pengelasan yang dilakukan membuat air di balik permukaan benda kerja mengalami getaran dan mengendap pada area tertentu namun tidak sempat menguap.

4.2 Hasil Pengujian Tarik

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat mekanik utama yang dapat menjadi parameter ketika adanya ketidaksesuaian kondisi pengelasan. Nilai kekuatan tarik ini didapatkan dari pengujian tarik yang dilakukan dengan standar ASME IX QW-462.1. Dan dilakukan di Laboratorium DT-NDT PT. PAL Indonesia (Persero) menggunakan alat *Universal Testing Machine* 50tf (Fuji Seiki Company) dan Laboratorium Metalurgi DTMM-ITS dengan menggunakan *Universal Testing Machine* Gotech GT-7001-LC50.

Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lebih spesifik dari dengan dan atau tanpa perlakuan *preheat* pada pengelasan di atas air terhadap kekuatan tarik yang selengkapny dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tarik

No.	Variasi	Spesimen	YS (MPa)	Rata- Rata	UTS (MPa)	Rata- Rata	Elongasi (%)	Rata- Rata
1.	Kering (D-NP)	D-NP-A	410	403,33	622,87	619,17	24,18	23,04
2.		D-NP-B	375		612,64		19,3	
3.		D-NP-C	425		622,01		25,64	
4.	Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	W-NP-A	348	305,33	655,58	589,1	0,83	4,78
5.		W-NP-B	323		603,54		7,4	
6.		W-NP-C	245		508,17		6,1	
7.	<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	W-P100-A	399	404	633,06	603,86	8,89	10,95
8.		W-P100-B	409		616,4		13,7	
9.		W-P100-C	404		562,11		10,26	
10.	<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	W-P200-A	398	453	667,74	610,81	12,23	10,22
11.		W-P200-B	466		584,57		8,52	
12.		W-P200-C	495		580,13		9,92	

Dari Tabel 4.1 kemudian didapatkan nilai persentase selisih dari variasi yang dilakukan dengan dibandingkan dengan nilai dari spesimen dengan pengelasan normal yang disajikan pada Tabel 4.2, 4.3 dan 4.4 yang secara berurutan adalah selisih dalam bentuk persentase untuk *yield strength*, *ultimate tensile strength* dan elongasi.

Tabel 4. 2 Persentase Selisih Nilai YS

Variasi	Selisih YS (%)
Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	-32,1
<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	0,17
<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	12,31

Tabel 4.2 menunjukkan selisih dari nilai *yield strength* (YS) ketika dibandingkan dengan nilai spesimen yang proses pengelasannya dilakukan dalam kondisi ideal. Hasil dari data tersebut adalah YS dari spesimen W-NP mengalami penurunan hingga mencapai 32,1% dari nilai ideal. Namun hasil dari spesimen yang diberikan perlakuan *preheat* 100°C dan 200°C secara konsisten mengalami tren kenaikan nilai *yield strength* dengan nilai 0,17 dan 12,31% secara berurutan.

Tabel 4. 3 Persentase Selisih Nilai UTS

Variasi	Selisih UTS (%)
Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	-5,10
<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	-2,54
<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	-1,37

Tabel 4.3 menyajikan data selisih nilai *ultimate tensile strength* (UTS) ketika dibandingkan dengan nilai spesimen yang proses pengelasannya dilakukan dalam kondisi normal. Hasil dari data tersebut adalah UTS dari seluruh variasi baik tanpa dengan ataupun dengan *preheat* menghasilkan nilai yang menurun sebesar 5,1% untuk tanpa *preheat*, 2,54% untuk dengan *preheat* 100°C dan 1,37% *preheat* 200°C

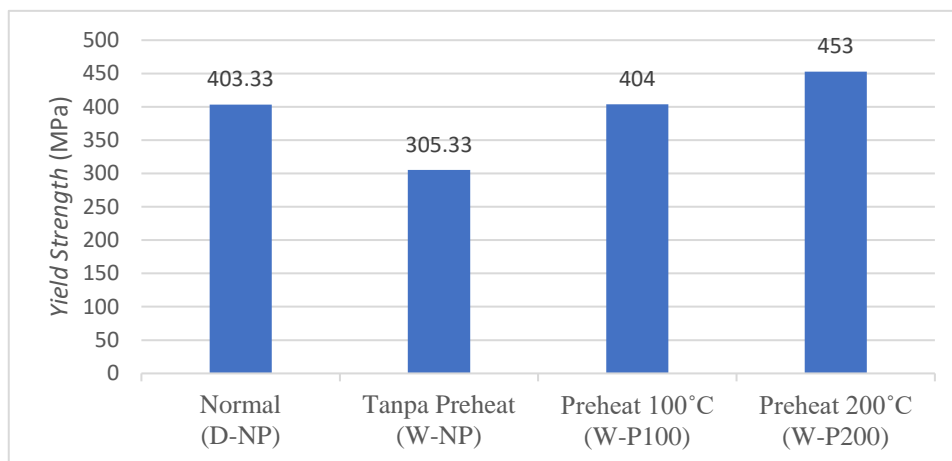
Namun dari nilai persentase penurunan pada Tabel 4.3, dari spesimen yang diberikan perlakuan *preheat* 100°C dan 200°C gradual mengalami kenaikan nilai *ultimate tensile strength* dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan *preheat*.

Tabel 4. 4 Persentase Selisih Nilai Elongasi

Variasi	Selisih Elongasi (%)
Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	-382,1
<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	-110,41
<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	-125,44

Selain selisih YS dan UTS, data selisih nilai elongasi dengan dibandingkan dengan nilai spesimen yang proses pengelasannya dilakukan dalam kondisi ideal. Tabel 4.4 menyajikan data tersebut dengan nilai elongasi dari seluruh variasi baik tanpa dengan ataupun dengan *preheat* menghasilkan penurunan nilai yang signifikan, yakni mencapai 382,01% untuk tanpa *preheat*, 110,41% untuk dengan *preheat* 100°C dan 125,44% *preheat* 200°C ketika dibandingkan nilainya dengan spesimen dengan pengelasan kondisi ideal.

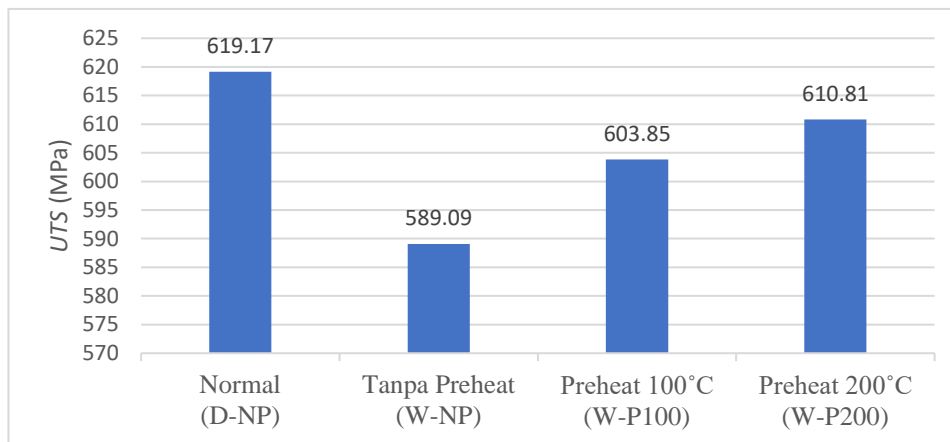
Adapun Gambar 4.3 yang menunjukkan data grafik nilai rata-rata kekuatan luluh (*yield*) dari data hasil pengujian. Gambar 4.4 yang menunjukkan grafik nilai rata-rata UTS yang didapatkan dan Gambar 4.5 adalah grafik nilai rata-rata elongasi dari penelitian ini.



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Rata-Rata *Yield Strength*

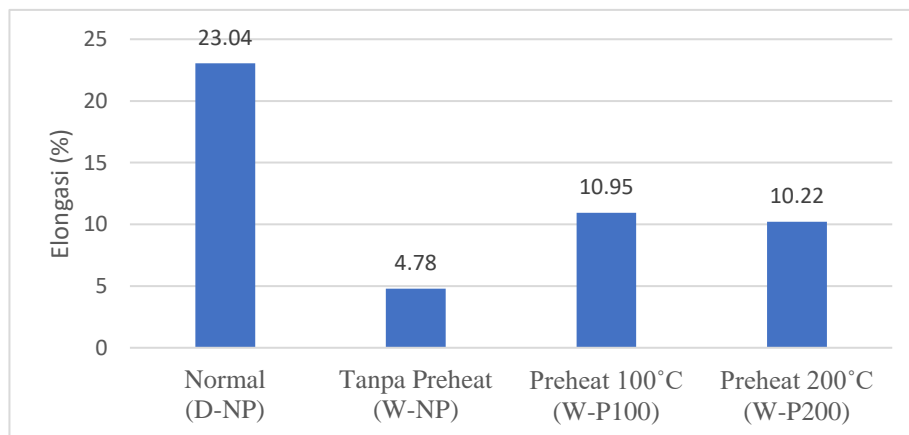
Gambar 4.3 yang menunjukkan nilai grafik dari kekuatan luluh atau *yield strength* dari tiap spesimen. Spesimen kondisi kering dengan kode D-NP mendapatkan nilai kekuatan luluh senilai 403,33 MPa. Sedangkan untuk pengelasan spesimen yang dilakukan di atas permukaan air namun tanpa diberikan perlakuan (W-NP) mendapatkan nilai luluh 305,33 MPa, kemudian untuk pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air dengan diberikan *preheat* 100°C (W-

P100) dan 200°C (W-P200) memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 404 MPa dan 453 MPa secara berurutan.



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Rata-Rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS)

Gambar 4.4 menunjukkan data spesimen dengan pengelasan dilakukan dengan kondisi kering dan ideal (D-NP) mendapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi, yakni dengan nilai 619.17 MPa. Sedangkan untuk pengelasan spesimen yang dilakukan di atas permukaan air namun tanpa diberikan perlakuan (W-NP) mencapai nilai UTS hingga 589,09 MPa, kemudian untuk pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air dengan diberikan *preheat* 100°C (W-P100) dan 200°C (W-P200) mendapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 603,85 MPa dan 610,81 MPa.



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Rata-Rata Elongasi (%)

Gambar 4.5 menyajikan data spesimen dengan kondisi kering (D-NP) mendapatkan nilai elongasi tertinggi, dengan nilai 23,04%. Sedangkan untuk pengelasan spesimen yang dilakukan di atas permukaan air namun tanpa diberikan perlakuan (W-NP) mengalami penurunan elongasi yang sangat signifikan dengan nilai elongasi 4,78%, kemudian untuk pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air dengan diberikan *preheat* 100°C (W-P100) dan 200°C (W-P200) mendapatkan nilai persentase elongasi sebesar 10,95% dan 10,22% berturut-turut.

Pada Gambar 4.3 yang merupakan perbandingan dari *yield strength* masing-masing spesimen menunjukkan adanya tren kenaikan seiring dengan adanya variasi perlakuan *preheat* yang mana hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Arifin et al., 2012) yang juga memiliki persamaan tren dari sisi *yield* dan *tensile strength*.

Grafik kenaikan UTS yang terdapat pada Gambar 4.4 dapat dikatakan sejalan dengan penelitian dari (Kumar & Singh, 2019) mengenai analisis tentang variasi yang paling mempengaruhi kekuatan tarik menggunakan metode pengelasan SMAW dimana kekuatan tarik dari spesimen AISI 1018 *mild steel* terpengaruh temperatur *preheat* dengan kontribusi sebesar 40,45%.

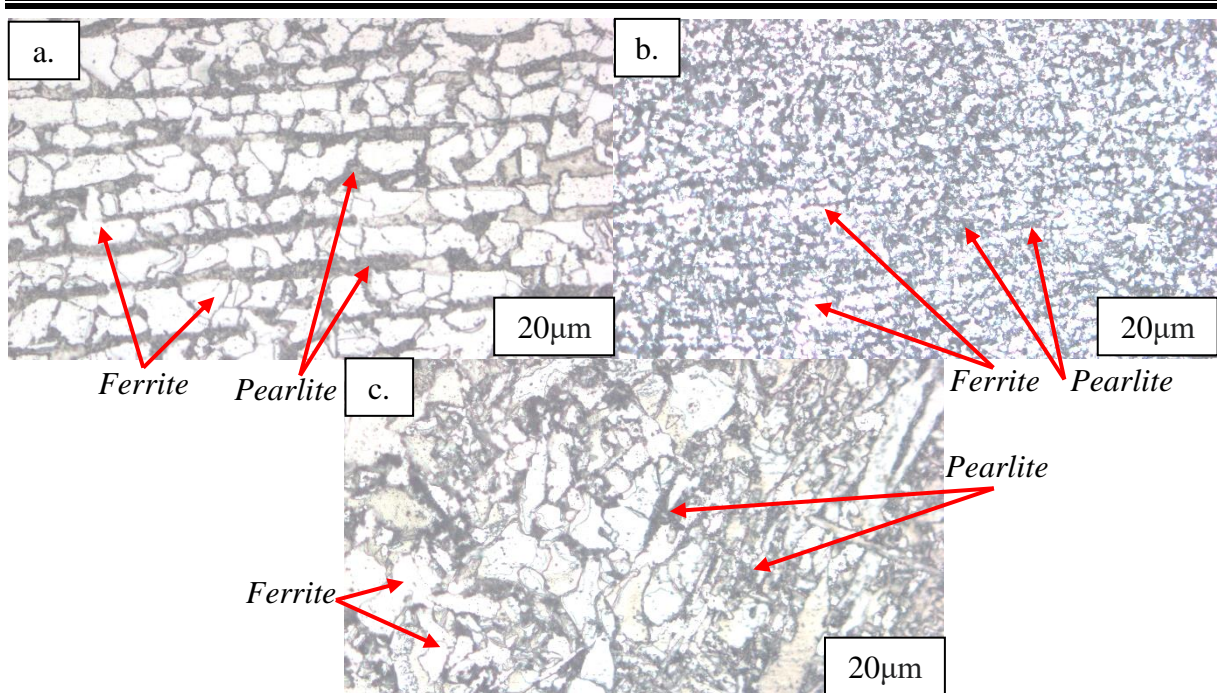
Selain itu pada penelitian lain yang membahas mengenai *preheat* pada pengelasan baja karbon menengah ASTM A53 juga memiliki menunjukkan adanya tren peningkatan kekuatan tarik searah dengan temperatur *preheat* yang diberikan. Fenomena tersebut dapat terjadi disebabkan karena dengan adanya pengaruh temperatur *preheat* yang semakin tinggi maka akan memberikan waktu penetrasi saat berlangsungnya proses pengelasan akan semakin dalam dan memperlambat laju pendinginan sehingga *base metal* dan *weld metal* menyatu dengan lebih baik (Palgunadhi & Pratikno, 2017).

Berdasarkan *mechanical properties* dalam hal *tensile strength* yang mengalami peningkatan, hal tersebut akan dibarengi dengan penurunan kekerasan seiring dengan kenaikan *heat input* pada apapun proses pengelasan dan jenis baja karbon-nya (Odebiyi et al., 2019).

4.3 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada struktur mikro material, metalografi dilakukan pada area *base metal*, HAZ dan *weld metal* tiap spesimen. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop perbesaran 500 kali dan gambar struktur mikro pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.15 yang merupakan keseluruhan spesimen D-NP, W-NP, W-P100 dan W-P200 secara berurutan.

Baja ASTM A36 termasuk dalam klasifikasi baja karbon rendah dan dapat menggunakan diagram fasa Fe-Fe₃C sebagai tinjauan fasa yang muncul pada struktur mikro. Berdasarkan hasil pengujian metalografi, dapat dilihat fasa pada spesimen yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* memiliki ciri-ciri area berwarna terang, yang memiliki karakter cenderung ulet. Sedangkan *pearlite* memiliki ciri-ciri berwarna gelap, dan untuk *pearlite* memiliki sifat mekanik yang cenderung keras. Nilai persentase perpaduan masing-masing dari 2 fasa ini juga kemudian dihitung dengan menggunakan *software* ImageJ dan akan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda pula.



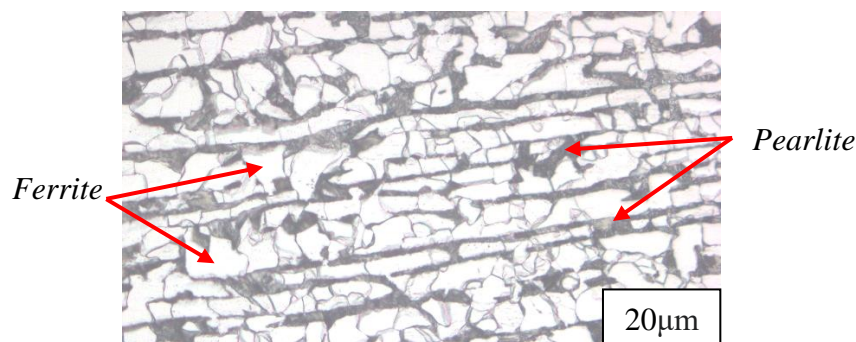
Gambar 4. 6 Struktur Mikro Spesimen D-NP Perbesaran 500x (a.) *Base Metal*, (b.) HAZ dan (c.) *Weld Metal* dengan Etsa Nital

Untuk spesimen D-NP yang dilakukan pengelasan dalam kondisi kering, didapatkan fasa seperti Gambar 4.6 (a.), (b.) dan (c.) merupakan hasil uji metalografi untuk *base metal*, HAZ dan *weld metal* secara berturut-turut.

Dimana untuk *base metal* yang merupakan plat baja ASTM A36 memiliki fasa yang *ferrite* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6a memiliki tampilan dominan berwarna putih dan *pearlite* yang pada gambar memiliki warna hitam dan berjarak sedikit merenggang. Dan Gambar 4.6a kemudian dianalisis persentasenya yang mana menghasilkan persentase 79,85% *ferrite* dan 20,15% *pearlite*.

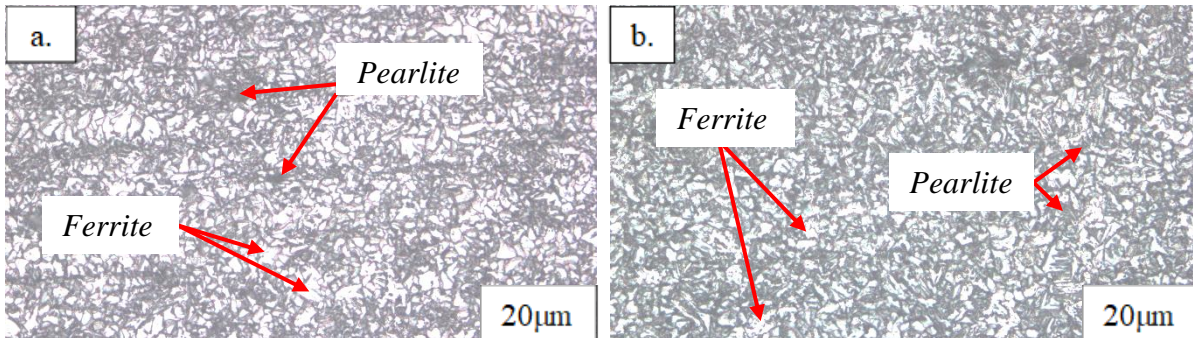
Kemudian untuk struktur mikro dari HAZ yang ditunjukkan pada Gambar 4.6b memiliki peningkatan *pearlite* yang signifikan dan lebih merata diseluruh bagian dibandingkan dengan *base metal*. Untuk persentase fasa yang dihasilkan adalah 70,62% *ferrite* dan 29,38% *pearlite*.

Sedangkan untuk struktur mikro dari *weld metal* pada Gambar 4.6c dimana struktur mikronya cenderung didominasi oleh *ferrite* namun terdapat peningkatan kandungan *pearlite* apabila dibandingkan dengan *base metal*. Selain itu secara karakteristik bentuk, *weld metal* juga mengalami perubahan apabila dibandingkan dengan struktur mikro *base metal*-nya. Dan secara persentase fasa, yang dihasilkan dari Gambar 4.6c adalah 78,98% *ferrite* dan 21,02% *pearlite*.



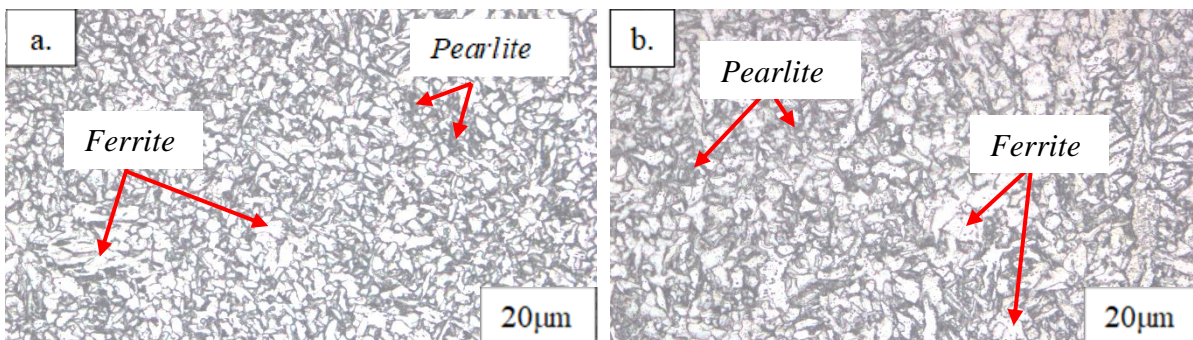
Gambar 4. 7 Struktur Mikro *Base Metal* Spesimen W-NP Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Gambar 4.7 merupakan struktur mikro dari *base metal* dari spesimen W-NP yang mana adalah variasi tanpa perlakuan. Secara umum tidak memiliki perbedaan dengan Gambar 4.6a karena *base metal* merupakan daerah yang tidak terpengaruh oleh proses pengelasan yang kemudian dianalisis dan menghasilkan persentase fasa senilai 79,85% *ferrite* dan 20,15% *pearlite*.



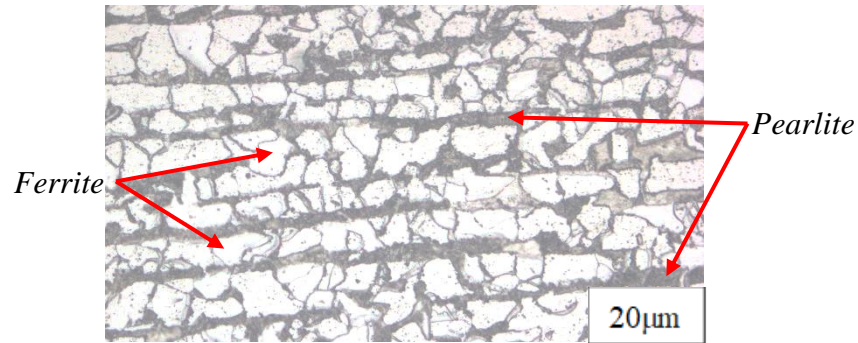
Gambar 4. 8 Struktur Mikro HAZ Spesimen W-NP Perbesaran 500x dengan Etsa Nital
(a.) *Root Weld* dan (b.) *Capping*

Gambar 4.8 (a.) dan (b.) adalah struktur mikro dari bagian HAZ *root weld* dan *capping* dari spesimen W-NP, dimana bagian HAZ secara konsisten memiliki peningkatan kandungan *pearlite* yang signifikan, merata dan rapat diseluruh bagiannya. Hal ini juga didukung dengan adanya data persentase fasa sebesar 28,9% *ferrite* dan 71,1% *pearlite* pada *root weld* dan senilai 32,88% *ferrite* dan 67,12% *pearlite* untuk *capping*.



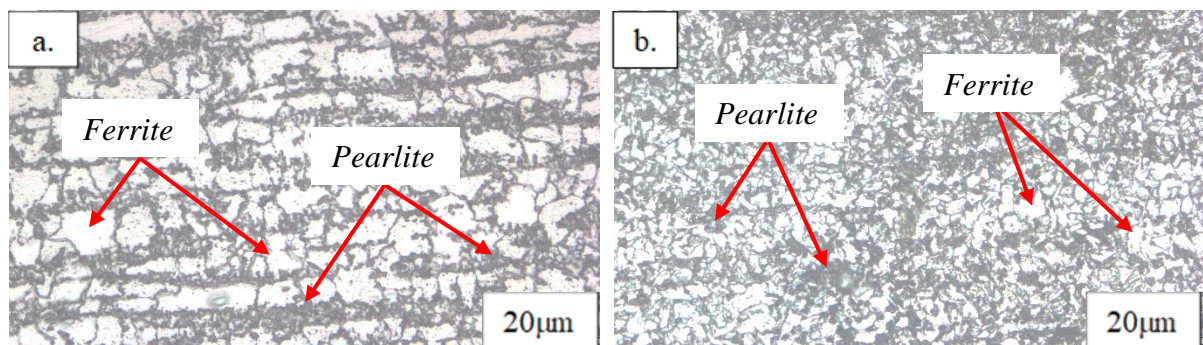
Gambar 4. 9 Struktur Mikro *Weld Metal* Spesimen W-NP Perbesaran 500x dengan Etsa Nital (a.) *Root Weld* dan (b.) *Capping*

Selanjutnya untuk struktur mikro dari *weld metal* pada Gambar 4.9 (a) dan (b) untuk *root weld* dan *capping* yang secara umum memiliki fasa *pearlite* yang lebih banyak ketimbang pada bagian HAZ. Gambar 4.9 (a) dan (b) kemudian dianalisis persentasenya dan memiliki nilai senilai 47,3% *ferrite* dan 52,7% *pearlite* untuk *root weld* dan untuk *capping* persentasenya adalah sebesar 53,55% *ferrite* dan 46,45% *pearlite*.



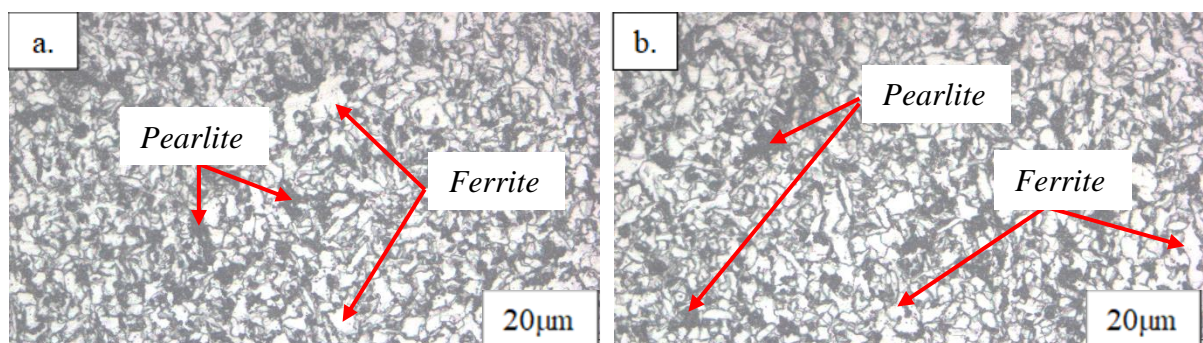
Gambar 4. 10 Struktur Mikro *Base Metal* Spesimen W-P100 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Gambar 4.10 merupakan struktur mikro dari *base metal* dari spesimen W-P100 yang merupakan spesimen dengan variasi perlakuan *preheat* 100°C. Selanjutnya dilakukan analisis dan menghasilkan persentase fasa senilai 79,85% *ferrite* dan 20,15% *pearlite*.



Gambar 4. 11 Struktur Mikro HAZ Spesimen W-P100 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital
(a.) *Root Weld* dan (b.) *Capping*

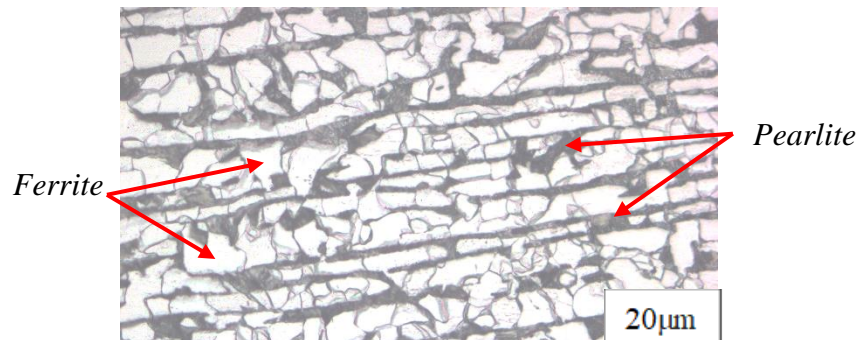
Struktur mikro dari bagian HAZ *root weld* dan *capping* dari spesimen W-P100 disajikan pada Gambar 4.10 (a.) dan (b.). Bagian *root weld* HAZ yang terdampak langsung adanya *preheat* 100°C menunjukkan peningkatan kandungan *ferrite* yang memiliki persentase fasa sebesar 52,06% *ferrite* dan 47,94% *pearlite* dan pada *capping* dan masih konsisten dan cenderung menurun dengan persentase fasa sebesar 36,4% *ferrite* dan 63,6% *pearlite*.



Gambar 4. 12 Struktur Mikro *Weld Metal* Spesimen W-P100 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital (a.) *Root Weld* dan (b.) *Capping*

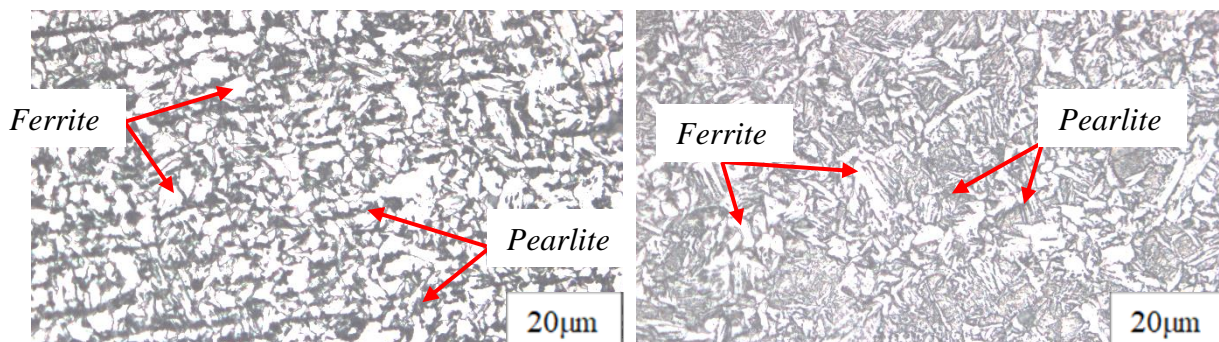
Struktur mikro dari *weld metal* pada Gambar 4.12 (a) dan (b) merupakan *root weld* dan *capping* spesimen dengan variasi perlakuan *preheat* 100°C. Secara umum memiliki fasa *pearlite* yang lebih sedikit daripada variasi tanpa perlakuan. Kemudian dilakukan analisis untuk

mendapatkan nilai persentase fasa dan memiliki nilai 52,82% *ferrite* dan 47,18% *pearlite* untuk *root weld* sedangkan untuk persentase pada bagian *capping* adalah 54,03% *ferrite* dan 45,97% *pearlite*.



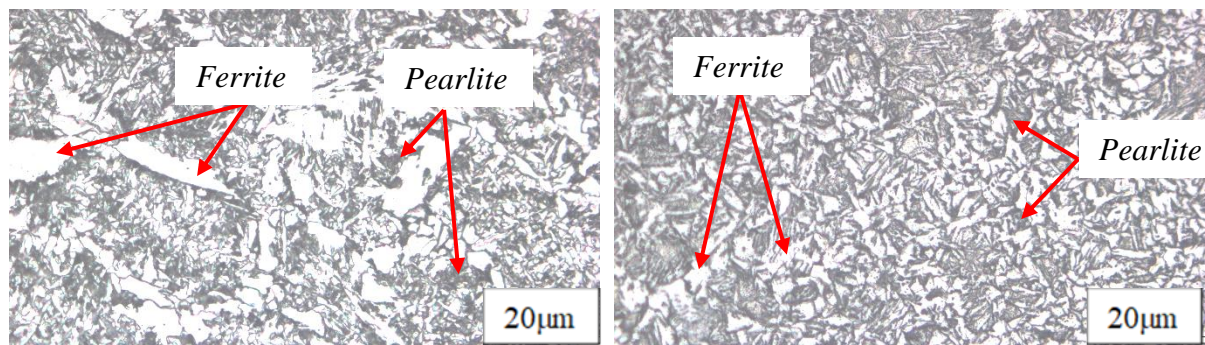
Gambar 4. 13 Struktur Mikro *Base Metal* Spesimen W-P200 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Struktur mikro dari *base metal* dari spesimen W-P200 dicantumkan pada Gambar 4.13 yang merupakan spesimen dengan variasi perlakuan *preheat* dengan *temperature* 200°C. Yang telah dilakukan analisis menggunakan *software* ImageJ dan menghasilkan persentase fasa senilai 79,85% *ferrite* dan 20,15% *pearlite*.



Gambar 4. 14 Struktur Mikro HAZ Spesimen W-P200 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital
(a.) *Root Weld* dan (b.) *Capping*

Spesimen W-P200 merupakan spesimen dengan variasi perlakuan *preheat* 200°C yang struktur mikro dari bagian HAZ *root weld* dan *capping* dapat dilihat pada Gambar 4.14 (a.) dan (b.). Bagian *root weld* HAZ yang menunjukkan peningkatan kandungan *ferrite* yang memiliki persentase fasa sebesar 60,8% *ferrite* dan 39,2% *pearlite* dan pada *capping* konsisten dan mengalami penurunan persentase *pearlite* dengan perbandingan persentase sebesar 60,91% *ferrite* dan 39,09% *pearlite*.



Gambar 4. 15 Struktur Mikro *Weld Metal* Spesimen W-P200 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital (a.) *Root Weld* dan (b.) *Capping*

Selanjutnya struktur mikro dari *weld metal* pada Gambar 4.15 (a) dan (b) adalah *root weld* dan *capping* secara berurutan dari spesimen W-P200. Dari Gambar 4.15 (a) kemudian dilakukan analisis persentase fasa, dimana persentase fasa yang dimiliki adalah 53,82% *ferrite* dan 46,28% *pearlite* untuk *root weld* dan terakhir untuk persentase pada bagian *capping* dari Gambar 4.15 (b) adalah 58,83% *ferrite* dan 41,17% *pearlite*.

Pada gambar struktur mikro dari spesimen Ideal pada Gambar 4.16(c) memiliki ukuran butir yang cenderung besar yang didapat dari pendinginan udara yang terjadi. Kemudian pada gambar 4.9 (a) merupakan *root weld* dari spesimen W-NP yang merupakan spesimen pengelasan yang dilakukan pengelasan di atas permukaan air yang mana memiliki karakter yang cenderung rapat dan berukuran kecil. Kemudian pada Gambar 4.12 (a) dan Gambar 4.15 (a) yang merupakan gambar struktur mikro dari *root weld metal* dari spesimen W-P100 dan W-P200 yang beurutannya merupakan spesimen dengan variasi *preheat* dengan *temperature* 100°C dan 200°C yang secara karakter memiliki ukuran butir yang cenderung lebih besar dan orientasinya tidak beraturan.

Hal ini juga sesuai dengan penelitian (Arifin et al., 2012) yang menganalisis struktur mikro dari pengelasan baja paduan dengan metode SMAW dimana semakin tinggi nilai *preheat temperature* yang diberikan maka memberikan karakteristik butir yang dihasilkan adalah panjang dan memiliki orientasi tidak beraturan.

4.3.1 Perbandingan Persentase Fasa

Dari hasil uji metalografi berupa struktur mikro kemudian dilakukan perhitungan persentase fasa yang terbentuk dari tiap bagian spesimen. Perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan *software* ImageJ yang hasilnya kemudian disajikan pada Tabel 4.5 untuk spesimen pengelasan dengan kondisi normal.

Tabel 4. 5 Persentase Fasa Spesimen Pengelasan Kondisi Normal

Kode	Persentase Fasa (%)					
	HAZ		<i>Weld Metal</i>		<i>Base Metal</i>	
	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
Normal (D-NP)	70,62	29,38	78,98	21,02	79,85	20,15

Kemudian dilanjutkan dengan perbandingan fasa dari spesimen yang dilakukan pengelasan di atas permukaan air, untuk data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6 di halaman berikutnya.

Tabel 4. 6 Persentase Fasa Spesimen Pengelasan Di Atas Air dengan Variasi Perlakuan

Kode	Persentase Fasa (%)							
	HAZ				Weld Metal			
	Capping		Root		Capping		Root	
	Ferrite	Pearlite	Ferrite	Pearlite	Ferrite	Pearlite	Ferrite	Pearlite
Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	32,88	67,12	28,9	71,1	53,55	46,45	47,3	52,7
<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	36,4	63,6	52,06	47,94	54,03	45,97	52,82	47,18
<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	60,91	39,09	60,8	39,2	58,83	41,17	53,72	46,28

Untuk hasil perbandingan persentase *ferrite* dan *pearlite* dilakukan pada bagian *root* dan *capping* bagian HAZ dan *Weld Metal* dikarenakan dari tinjauan gambar struktur mikro yang didapatkan pada *base metal* memiliki karakteristik yang senada. Secara tren persentase *pearlite* pada variasi spesimen tanpa *preheat* menunjukkan kenaikan yang sangat signifikan baik dari bagian HAZ maupun *weld metal* namun memiliki tren menurun ketika dibandingkan persentase *pearlite* pada bagian *capping* dengan *root weld* yang mana ini merupakan fenomena yang wajar terjadi akibat bagian *root weld* merupakan bagian yang langsung menyentuh permukaan air.

Kemudian dari Tabel 4.6 juga dapat disaksikan bahwa perlakuan *preheat* baik pada temperature 100°C ataupun 200°C mampu mereduksi *pearlite* yang terbentuk sekaligus meningkatkan persentase *ferrite*.

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan

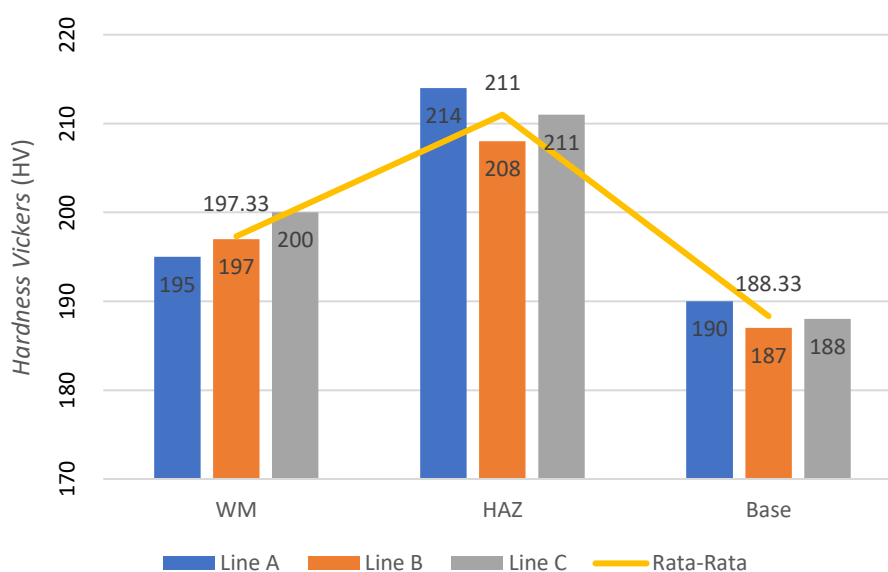
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Vickers menggunakan alat *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A. Hal ini dilakukan karena melihat luasan daerah pada spesimen las yang sempit pada bagian *Heat Affected Zone* (HAZ) sehingga didapatkan data yang lebih akurat dengan melakukan indentasi di 3 garis berbeda dan di tiap garisnya dilakukan indentasi di daerah *weld metal*, HAZ dan sampling *base metal*.

Untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada tiap daerah indentasi dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers (HV)

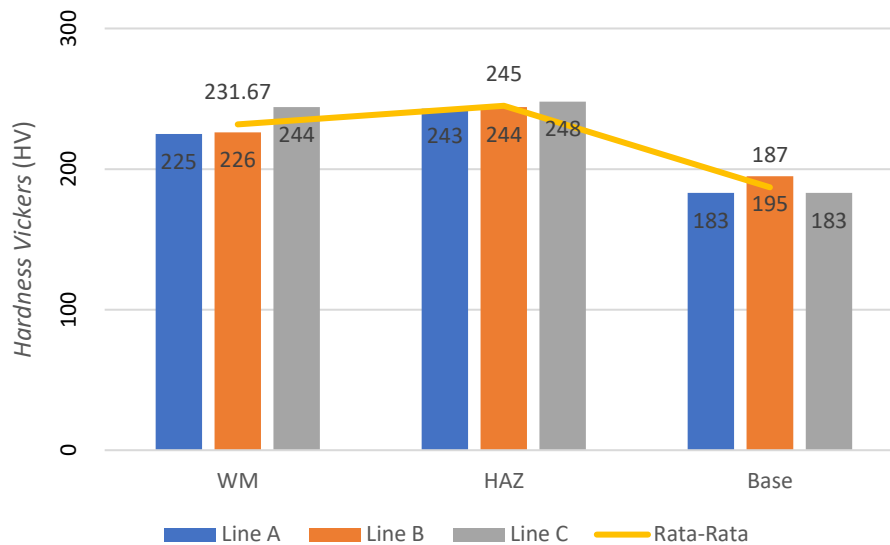
No	Spesimen	Lokasi	Nilai			Rata-Rata
			Atas (A)	Tengah (B)	Bawah (C)	
1	Normal (D-NP)	WM	195	197	200	197,33
2		HAZ	214	208	211	211
3		Base	190	187	188	188,33
4	Tanpa Preheat (W-NP)	WM	225	226	244	231,66
5		HAZ	243	244	248	245
6		Base	183	195	183	187
7	Preheat 100°C (W-P100)	WM	216	216	209	213,66
8		HAZ	223	226	237	228,66
9		Base	188	186	187	187
10	Preheat 200°C (W-P200)	WM	216	213	206	211,66
11		HAZ	216	214	222	217,33
12		Base	185	182	181	182,66

Berdasarkan hasil kekerasan pada Tabel 4.7 di atas maka didapatkan grafik kekerasan yang disajikan pada *weld metal*, *heat affected zone*, *base metal* dan beserta nilai rata-rata dari seluruh spesimen yang dapat disaksikan pada Gambar 4.16, 4.17, 4.18 dan 4.19.



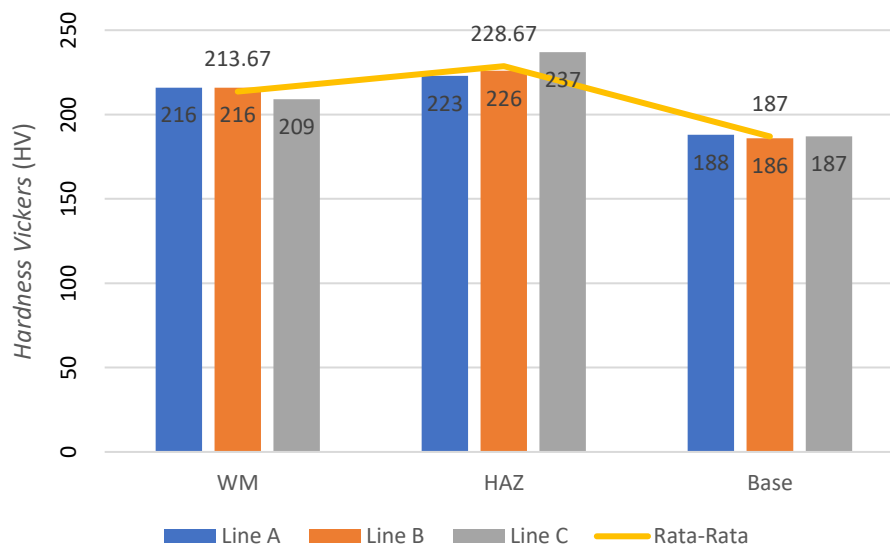
Gambar 4. 16 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen D-NP

Untuk nilai hasil pengujian kekerasan spesimen *dry-no preheat* (D-NP) seperti yang tercantum pada Gambar 4.16 yang merupakan spesimen yang dilakukan proses pengelasan dalam kondisi kering dan didapatkan nilai rata-rata untuk *weld metal*, HAZ dan *base metal* secara berurutan dengan nilai 197,33, 211 dan 188,33 HV dimana hal ini sejalan dan tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan WPS-157 milik PT. PAL Indonesia (Persero) yang terlampir serta menjadi *range* parameter proses pengelasan.



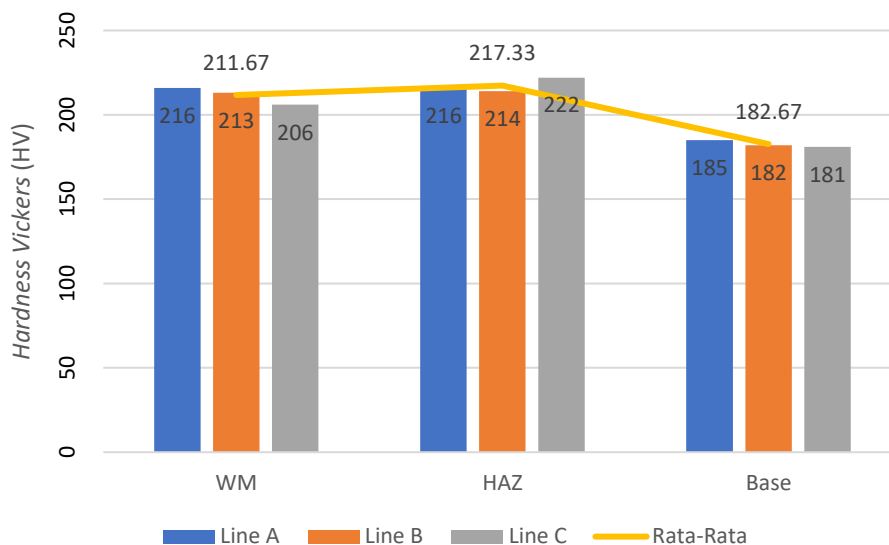
Gambar 4. 17 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen W-NP

Untuk grafik nilai kekerasan spesimen pengelasan W-NP atau *water-no preheat* pada Gambar 4.17 didapatkan nilai rata-rata pada *weld metal*, HAZ dan *base metal* secara berurutan dengan nilai 231,67, 245 dan 187 HV. Nilai kekerasan pada *weld metal* mengalami peningkatan hingga 14,81% dibandingkan dengan nilai *weld metal* spesimen D-NP. Sedangkan untuk nilai kekerasan pada HAZ juga tercatat mengalami peningkatan mencapai 13,8%.



Gambar 4. 18 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen W-P100

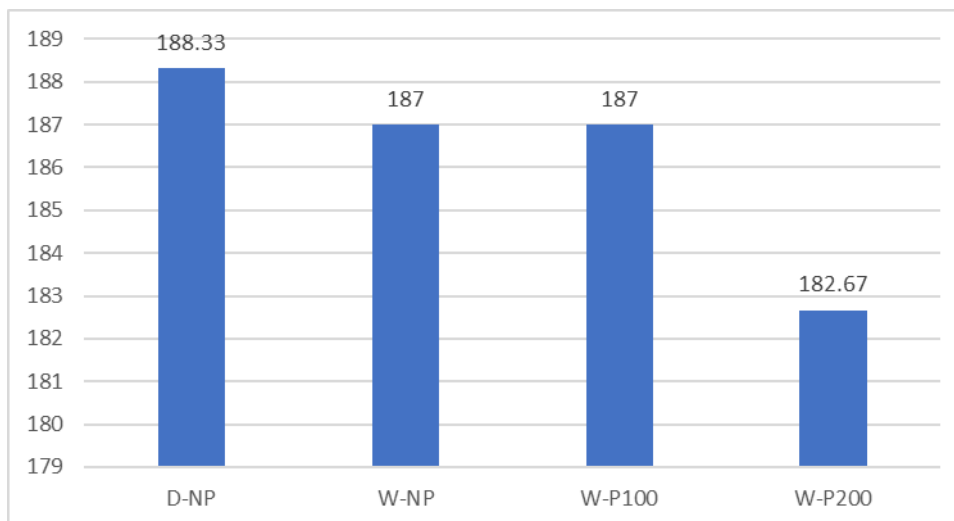
Untuk grafik nilai kekerasan spesimen W-P100 pada Gambar 4.18 merupakan nilai rata-rata pada *weld metal*, HAZ dan *base metal* secara berurutan dengan nilai 213,67, 228,67 dan 187 HV. Nilai kekerasan pada *weld metal* mengalami peningkatan mencapai 7,64% serta untuk nilai kekerasan pada HAZ juga tercatat mengalami peningkatan sebesar 7,72% dibandingkan dengan nilai kekerasan pada spesimen D-NP.



Gambar 4. 19 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen W-P200

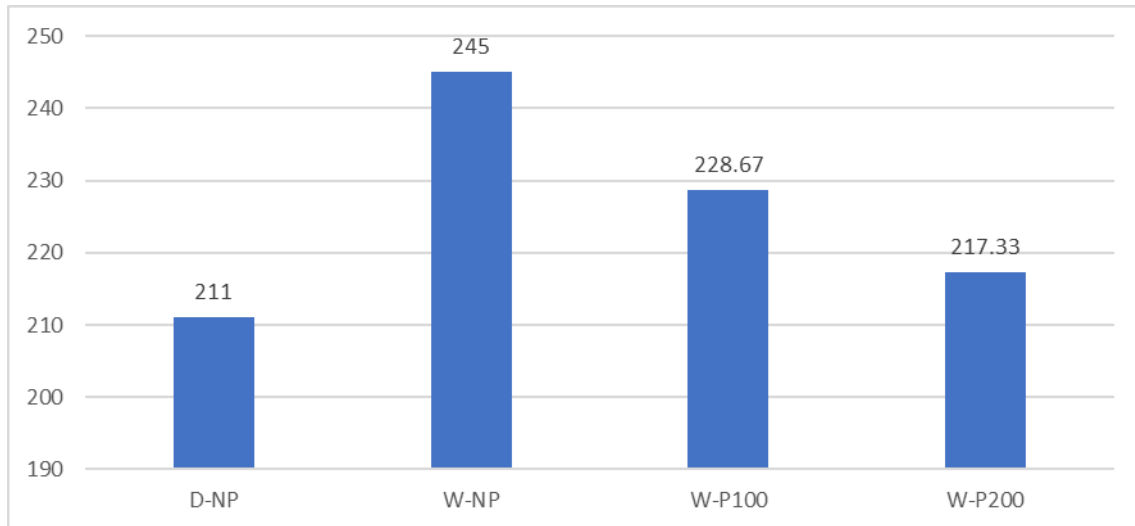
Gambar 4.19 merupakan grafik dari nilai kekerasan rata-rata pada *weld metal*, HAZ dan *base metal* dari spesimen W-P200 secara berurutan dengan nilai 211,67, 217,33 dan 182,67 HV. Dan tercatat, nilai kekerasan pada *Weld Metal* mengalami peningkatan mencapai 6,77% dibandingkan dengan nilai *Weld Metal* spesimen D-NP, selain itu untuk nilai kekerasan pada HAZ juga tercatat mengalami peningkatan sebesar 2,91%.

Dari data grafik pada Tabel 4.3 kemudian juga dapat ditentukan perbandingan nilai kekerasan pada tiap bagian spesimen pengujian, dari *base metal*, HAZ dan *weld metal* yang memudahkan untuk membandingkan nilai rata-rata yang muncul pada seluruh spesimen yang disajikan pada Gambar 4.13, 4.14 dan 4.15 berturut-turut untuk *base metal*, HAZ dan *weld metal*.



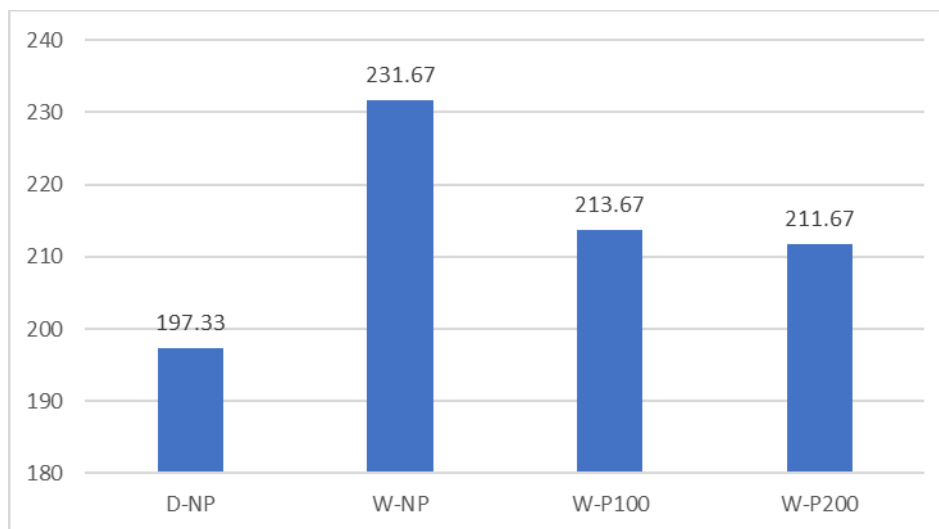
Gambar 4. 20 Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata *Base Metal* Seluruh Spesimen

Gambar 4.20 menunjukkan grafik dari nilai kekerasan yang didapatkan pada *base metal*, untuk nilai kekerasan pada *base metal* tidak didapati perubahan nilai yang muncul dari penelitian ini.



Gambar 4. 21 Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata *Heat Affected Zone* Seluruh Spesimen

Kemudian Gambar 4.21 merupakan grafik perbandingan nilai kekerasan pada HAZ dari keseluruhan spesimen, dimana pada daerah HAZ mengalami kenaikan secara signifikan pada proses pengelasan ideal apabila dibandingkan dengan pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air yang kemudian berangsur menurun seiring dengan peningkatan *temperature preheat* yang diberikan.



Gambar 4. 22 Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata *Weld Metal* Seluruh Spesimen

. Gambar 4.22 merupakan grafik perbandingan kekerasan pada *weld metal* yang mana dapat dilihat kekerasan pada *weld metal* mengalami lonjakan nilai kekerasan secara signifikan pada spesimen W-NP dibandingkan D-NP. Tren penurunan nilai kekerasan yang terjadi juga identik dengan pada bagian HAZ yang mana kenaikan nilai kekerasan dihasilkan dari pendinginan cepat yang terjadi pada saat proses pengelasan dan dengan perlakuan *preheat* yang diberikan makin tinggi nilai *preheat* maka makin menurun nilai kekerasan yang dihasilkan.

Spesimen yang memiliki kekerasan paling tinggi di daerah *weld metal* adalah spesimen dengan variasi tanpa perlakuan. Sedangkan spesimen yang memiliki kekerasan paling rendah di daerah *weld metal* adalah spesimen dengan variasi pengelasan dengan kondisi ideal. Untuk daerah HAZ nilai tertinggi juga didapatkan pada variasi tanpa perlakuan sedangkan untuk terendah terjadi pada variasi kondisi ideal. Dan untuk *base metal* memiliki selisih nilai

kekerasan dengan nilai sangat kecil dari masing-masing spesimen atau bisa dikatakan hampir sama.

Tabel 4. 8 Persentase Selisih HV

Variasi	Selisih HV (%)	
	HAZ	WM
Tanpa <i>Preheat</i> (W-NP)	16,11	17,4
<i>Preheat</i> 100°C (W-P100)	8,37	8,28
<i>Preheat</i> 200°C (W-P200)	2,91	6,77

Kemudian Tabel 4.8 merupakan data selisih dalam persen untuk membantu melihat tren peningkatan kekerasan pada variasi perlakuan yang dilakukan ketika dibandingkan dengan spesimen yang dilakukan proses pengelasan dalam kondisi kering. Dari data tersebut menunjukkan pada spesimen tanpa *preheat* (W-NP) tercatat mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 16,11% pada HAZ dan senilai 17,4% untuk bagian *weld metal*.

Kemudian untuk spesimen dengan variasi perlakuan *preheat* dengan *temperature* 100°C (W-P100) terjadi peningkatan nilai kekerasan secara konsisten sebesar 8,37% dan 8,28% untuk bagian HAZ dan *weld metal*. Terakhir untuk spesimen dengan variasi *preheat* yang lebih tinggi lagi yakni dengan *temperature* 200°C tercatat mengalami persentase kenaikan yang paling rendah yakni hanya sebesar 2,91% untuk HAZ dan 6,77% untuk *weld metal*.

Dari Tabel 4.8 kemudian terdapat tren penurunan kekerasan baik pada HAZ maupun *weld metal* yang dilakukan *preheat* sebelum pengelasan. Hal ini kemudian sesuai dengan teori dari penelitian (Ramadhani et al., 2022) yang menyatakan penurunan nilai kekerasan disebabkan oleh adanya panas yang masuk dari proses *preheat*. Dan pada penelitian tersebut juga terdapat variasi temperatur *preheat* yang makin tinggi nilai *preheat*nya bebanding lurus dengan penurunan nilai kekerasan pada baja SS400.

Preheat menyebabkan fenomena *initial elevated temperature* yang mempengaruhi struktur mikro terutama pada HAZ dan membuat terjadinya penurunan nilai kekerasan namun meningkatkan *tensile strength* dan *toughness* dari pengelasan dengan material baja karbon (Odebiyi et al., 2019).

Nilai kekerasan di atas kemudian dapat dihubungkan dengan persentase fasa yang terdapat dari masing-masing bagian spesimen dan mempengaruhi *properties* spesimen dalam aspek kekerasan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi *preheating temperature* pada pengelasan baja ASTM A36 di atas permukaan air dengan proses SMAW terhadap porositas, kekerasan dan kekuatan tarik maka, adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu :

1. Perlakuan pemanasan awal/*preheat* yang dilakukan dapat memberikan peningkatan *yield strength*, mereduksi kenaikan nilai kekerasan serta memperbaiki nilai *tensile strength*. Dari variasi tanpa *preheat* nilai persentase *yield strength*-nya dibandingkan dengan proses yang ideal adalah menurun sebesar 32.1%, sedangkan untuk dengan variasi *preheat* 100°C dan 200°C nilainya secara berurutan mengalami kenaikan sebesar 0,17% dan 12,31%. Sedangkan untuk UTS mengalami persentase penurunan sebesar 5,1%, 2,54% dan 1,37%. Kemudian untuk nilai kekerasan pada HAZ untuk variasi tanpa *preheat*, *preheat* 100°C dan 200°C berturut-turut mengalami kenaikan sebesar 16,11%, 8,37% dan 2,91%. Sedangkan *weld metal* juga mengalami kenaikan kekerasan sebesar 17,4%, 8,28% dan 6,77%. Dan variasi dengan *preheat* 200°C menghasilkan sifat mekanik dengan perubahan paling mendekati kondisi kering.
2. Stuktur mikro yang terbentuk adalah fasa *ferrite* dan *pearlite* dan persentase *pearlite* pada *root weld* memiliki tren menurun dengan peningkatan *temperature preheat*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan melalui penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh *internal stress* yang terjadi akibat dari proses pengelasan yang dilakukan di atas permukaan air.
2. Melakukan pengujian Radiografi atau *Ultrasonic Flaw* NDT untuk memberikan tinjauan kualitas hasil pengelasan yang lebih kompeherensif.
3. Mencoba dengan menggunakan material lain pada aplikasi dan/atau kasus sejenis dengan fluida berbeda.
4. Melakukan pengelasan menggunakan parameter (WPS) dengan *heat input* maksimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)


DAFTAR PUSTAKA

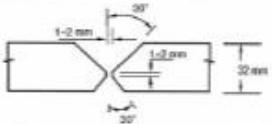
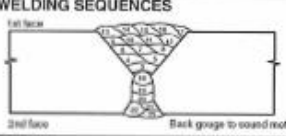


- American Society of Testing Materials. (2012). *ASTM E3* (American Society of Testing Materials, Ed.).
- American Welding Society. Structural Welding Committee, American Welding Society. Technical Activities Committee., & American National Standards Institute. (2020). *American Welding Society D1.1/D1.1M:2020 An American National Standard* (American Welding Society, Ed.; 24th D1.1/D1.1M).
- Arifin, A., Santoso, H. B., & Noer Ilman, dan M. (2012). Pengaruh Preheat Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Sambungan Las GTAW Material Baja Paduan 12Cr1MoV yang Digunakan pada Superheater Boiler. In *Seminar Nasional Pascasarjana XII, Surabaya* (Vol. 12).
- Armentani, E., Esposito, R., & Sepe, R. (2007). The influence of thermal properties and preheating on residual stresses in welding. In *Int. J. Computational Materials Science and Surface Engineering* (Vol. 1, Issue 2).
- ASM International. (1993). *ASM INTERNATIONAL Vol. 6: Welding, Brazing and Soldering*.
- ASTM International. (2004). *ASTM A36 Standard Specification for Carbon Structural Steel*. www.astm.org,
- Dodo, M., Ause, T., Adamu, M., & Ibrahim, Y. (2016). EFFECT OF POST-WELD HEAT TREATMENT ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ARC WELDED MEDIUM CARBON STEEL. *Nigerian Journal of Technology*, 35(2), 337. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i2.14>
- Endramawan, T., Haris, E., Dionisius, F., Prika, Y., Teknik Mesin, J., Negeri Indramayu, P., Raya Lohbener Lama no, J., & Lohbener Kab Indramayu, K. (2017). APLIKASI NON DESTRUCTIVE TEST PENETRANT TESTING (NDT-PT) UNTUK ANALISIS HASIL PENGELASAN SMAW 3G BUTT JOINT. *Jurnal Teknologi Terapan* |, 3(2).
- Fahrizal, M. (2016). *Analisa Hasil Sambungan Las Metode Pengelasan SMAW Menggunakan Material SA 36 yang Sebelumnya Terbakar dengan Suhu 700°C dan 900°C Selama 4 Jam*.
- Funderburk, R. (1997). *Fundamentals of Preheat*.
- Hassanzadeh, M., & Rahmani, K. (2021). Hydrostatic test of storage tanks using seawater and corrosion considerations. *Engineering Failure Analysis*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105267>
- Jeffus, L. F. (2012). *Welding and Metal Fabrication*. Delmar.
- Kalpakjian, S. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology 9th Edition* (7th ed.).
- Kasuya, T., & Yurioka, N. (1995). Determination of Necessary Preheat Temperature to Avoid Cold Cracking under Varying Ambient Temperature. *ISIJ International*, 35(10), 1–183.
- Kobelco Industries. (2012). *Kobelco Consumable Welding Electrodes 2nd Special Edition for Mild Steel* (pp. 1–27).
- Kumar, S., & Singh, R. (2019a). Investigation of tensile properties of shielded metal arc weldments of AISI 1018 mild steel with preheating process. *Materials Today: Proceedings*, 26, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.167>
- Kumar, S., & Singh, R. (2019b). Investigation of tensile properties of shielded metal arc weldments of AISI 1018 mild steel with preheating process. *Materials Today: Proceedings*, 26, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.167>
- Lakshmi, E., Priya, M., & Achari, V. S. (2021). An overview on the treatment of ballast water in ships. In *Ocean and Coastal Management* (Vol. 199). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105296>
- Lumban Gaol, A., Sutanto, H., & Basuki, W. W. (2019). Analysis of Welding Disabilities on Carbon Steel Pipes with SMAW Reviewed From Radiography Test Results

- Corresponding Author. In *International Journal of Applied Engineering Research* (Vol. 14). <http://www.ripublication.com>
- Nurhaya, I. (2016). Liquid Penetrant Test. *Politeknik Bandung*.
- Odebiyi, O. S., Adedayo, S. M., Tunji, L. A., & Onuorah, M. O. (2019). A review of weldability of carbon steel in arc-based welding processes. In *Cogent Engineering* (Vol. 6, Issue 1). Cogent OA. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1609180>
- Palgunadhi, H., & Pratikno, H. (2017). *PREHEATING TEMPERATURE EFFECT ANALYSIS ON MEDIUM CARBON STEEL (ASTM A53) WELDING ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE OF WELD JOINT AT MARINE*.
- Prana, S. P., Staf, W., Jurusan, P., Mesin, T., & Sendawar, P. (2017). ANALISIS FAKTOR PENYEBAB CACAT PENGELASAN PADA PIPA (Study Kasus Pada Pipa Distribusi PDAM Kabupaten Kutai Barat). *Jurnal Mekanikal*, 8(2), 730–736.
- Rahmatika, A., Sutarto, E., Arifin, A., Pengelasan dan Fabrikasi, T., Teknologi Sains Bandung, I., Mesin, T., & Tinggi Teknologi Ronggolawe, S. (2021). *Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX*. 3(1).
- Ramadhani, S., Basyirun, Rusiyanto, & Sunyoto. (2022). *PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PREHEAT PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA KARBON SS400*. <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/2267>
- Ristyanto, A., Dwi Haryadi, G., & Umardani, Y. (2014). PENGARUH PROSES NORMALIZING TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS THERMITE SIMILLAR BAJA UIC-54 (Union Internasionale des Chemins de fer-54). In *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 2, Issue 2).
- The American Society of Mechanical Engineers. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code: Section IX Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- Tolian, R., Makhsoosi, A. H., & Bushehri, P. K. (2020). Investigation of heavy metals in the ballast water of ship tanks after and before the implementation of the ballast water convention: Bushehr Port, Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111378>
- Widyastuti, Ardhyantana, H., & Purwaningsih, H. (2019). *Karakterisasi Material Bagian 1: Komposisi, Topografi, dan Sifat Mekanik*.
- Yurioka, N., & Kasuya, T. (1995). A Chart Method to Determine Necessary Preheat Temperature in Steel Welding. In *Quarterly Journal of Japan Welding Society* (Vol. 13, Issue 3).
-

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: Welding Procedure Specification (WPS)



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)																																																																			
<input type="checkbox"/> PREQUALIFIED	<input checked="" type="checkbox"/> QUALIFIED BY TESTING																																																																		
Company Name : PT. PAL INDONESIA	Revision No. : 0																																																																		
WPS No. : PAL GE-157-WPS	Date : May 3, 2013																																																																		
Welding Process(es) : SMAW	Type - Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semi-Automatic <input type="checkbox"/>																																																																		
Supporting PQR No.(s) : PAL GE-157-PQR, PAL GE-157A-PQR	Machine <input type="checkbox"/> Automatic <input type="checkbox"/>																																																																		
Applicable Code : AWS D1.1 / D1.1M ; 2010																																																																			
JOINT DESIGN USED Type : <u>Butt Joint - Double V Groove</u> Single <input type="checkbox"/> Double Weld <input checked="" type="checkbox"/> Backing : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Backing Material : <u>N/A</u> Root Opening : <u>1 - 2 mm</u> Root Face Dimension : <u>1 - 2 mm</u> Groove Angle : <u>60° (+10; -0)</u> Back Gouging : Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Method : <u>Carbon Arc Air Gouge and Grinding</u>	POSITION Position of Groove : <u>Flat, Horizontal, Vertical and Overhead</u> Fillet : <u>Flat, Horizontal, Vertical and Overhead</u> Vertical Progression <u>Uphill <input checked="" type="checkbox"/> Downhill <input type="checkbox"/></u>																																																																		
BASE METALS Material Spec. : <u>All material as specified in AWS D1.1 table 3.1 group II or Equivalent</u> Thickness : Groove : <u>3 - Unlimited (Non Impact)</u> Fillet : <u>16 - Unlimited (Impact)</u> Any Size : <u>Any Size</u> Diameter (Pipe) : <u>24" (600 mm) and Over</u>	ELECTRICAL CHARACTERISTICS Current : AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>																																																																		
FILLER METALS AWS Specification : <u>A5.1</u> A No. : <u>1</u> F No. : <u>4</u> AWS Classification : <u>E 7016-1</u> Brand Name : <u>Easyarc (Lincoln)</u>	TECHNIQUE Stringer or Weave Bead : <u>Stringer and Weave</u> Multi-pass or Single Pass (per side) : <u>Multipass</u> Number of Electrodes : <u>Single Electrode</u> Electrode Spacing (SAW) : Longitudinal : <u>N/A</u> Lateral : <u>N/A</u> Contact Tube to Work Distance : <u>N/A</u> Interpass Cleaning : <u>Chipping, Brushing and Grinding.</u> Peening : <u>None</u>																																																																		
SHIELDING Gas : <u>N/A</u> Composition : <u>N/A</u> Flow Rate : <u>N/A</u>	POST WELD HEAT TREATMENT Temp. : <u>None</u> Time : <u>-</u>																																																																		
PREHEAT Preheat Temp., Min. : <u>Ambient (T up to 20 mm incl.)</u> <u>65° C (T over 20 thru 38 mm incl.)</u> <u>110° C (T over 38 thru 65 mm incl.)</u> <u>150° C (T over 65 mm)</u> Interpass Temp., Min. : <u>71 °C</u> Max. <u>272 °C</u> Preheat Method : <u>By Heating Torch or Heating Pad</u> Control Method : <u>Digital Thermometer, Infra red or Temperature Indicating Crayon</u>	Note 1. Maximum weaving shall not exceed 3 times of electrode core diameter or 12 mm whichever is least. 2. NDT shall be conducted 48 hours after Welding Completion 3. Preheat for permanent tack weld shall be 50° C higher than specified in WPS which maximum 300° C. 4. Welding of each weld shall be continuous. In the case that welding must be discontinue, this shall not take place before at least a half of the final weld thickness is achieved.																																																																		
JOINT DETAILS 	TYPICAL WELDING SEQUENCES 																																																																		
WELDING PARAMETERS																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pass or Weld Layer(s)</th> <th rowspan="2">Process</th> <th colspan="2">Filler Metals</th> <th colspan="2">Current</th> <th rowspan="2">Volts (V)</th> <th rowspan="2">Travel Speed (mm/min)</th> <th rowspan="2">Heat Input (KJ /mm)</th> <th colspan="2">Shielding Gas</th> <th rowspan="2">Remark</th> </tr> <tr> <th>Class</th> <th>Dis. (mm)</th> <th>Type & Polarity</th> <th>Amps (A)</th> <th>Type</th> <th>Flow Rate (LPM)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1st</td> <td>SMAW</td> <td>E 7016-1</td> <td>3.2</td> <td>DCEP</td> <td>80 - 105</td> <td>23 - 28</td> <td>85 - 110</td> <td>1.0 - 2.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2nd</td> <td>SMAW</td> <td>E 7016-1</td> <td>4.0</td> <td>DCEP</td> <td>110 - 140</td> <td>24 - 29</td> <td>95 - 120</td> <td>1.3 - 2.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fill</td> <td>SMAW</td> <td>E 7016-1</td> <td>4.0</td> <td>DCEP</td> <td>130 - 160</td> <td>25 - 30</td> <td>115 - 160</td> <td>1.2 - 2.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cap</td> <td>SMAW</td> <td>E 7016-1</td> <td>4.0</td> <td>DCEP</td> <td>130 - 160</td> <td>25 - 30</td> <td>120 - 160</td> <td>1.2 - 2.4</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (KJ /mm)	Shielding Gas		Remark	Class	Dis. (mm)	Type & Polarity	Amps (A)	Type	Flow Rate (LPM)	1st	SMAW	E 7016-1	3.2	DCEP	80 - 105	23 - 28	85 - 110	1.0 - 2.1	-	-		2nd	SMAW	E 7016-1	4.0	DCEP	110 - 140	24 - 29	95 - 120	1.3 - 2.5	-	-		Fill	SMAW	E 7016-1	4.0	DCEP	130 - 160	25 - 30	115 - 160	1.2 - 2.5	-	-		Cap	SMAW	E 7016-1	4.0	DCEP	130 - 160	25 - 30	120 - 160	1.2 - 2.4	-	-		
Pass or Weld Layer(s)			Process	Filler Metals		Current				Volts (V)	Travel Speed (mm/min)		Heat Input (KJ /mm)	Shielding Gas		Remark																																																			
	Class	Dis. (mm)		Type & Polarity	Amps (A)	Type	Flow Rate (LPM)																																																												
1st	SMAW	E 7016-1	3.2	DCEP	80 - 105	23 - 28	85 - 110	1.0 - 2.1	-	-																																																									
2nd	SMAW	E 7016-1	4.0	DCEP	110 - 140	24 - 29	95 - 120	1.3 - 2.5	-	-																																																									
Fill	SMAW	E 7016-1	4.0	DCEP	130 - 160	25 - 30	115 - 160	1.2 - 2.5	-	-																																																									
Cap	SMAW	E 7016-1	4.0	DCEP	130 - 160	25 - 30	120 - 160	1.2 - 2.4	-	-																																																									
Certified by, PT. PAL INDONESIA  CHOIRUL BASHORI WELDING ENGINEER	Approved by Migas No. Reg. 845 / 06 / PQR / 2013  Ruediana Bardian NIP. 19560925 196703 2001																																																																		

LAMPIRAN 2: Sertifikat Material ASTM A36

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.
Surabaya - Indonesia

Head Office : Page: 1 of 1
Jl. Margorejo No. 25A
Tambak Beroko - Asemrowo - Surabaya 60184
Phone : +62-31-7492598 (Pusat)
Fax : +62-31-7492591
e-mail : quality@gunawansteel.com
Website : www.gunawansteel.com



MILL TEST CERTIFICATE
ACC. TO EN10204 : 2004 3.1

Purchaser : DEWA ARTHA CV.
Jl. Agapuro 4-6 RT. 001 RW. 007 Sawahan, Sawahan Surabaya
Order No : D-488-2019
Material : HOT ROLLED STEEL PLATE
Specification : ASTM A36 - 14 SNI-07-0801-2008
Tolerances : ASTM A5 - 17a

Certificate No. : GDS-DC-2019-2893-A
Date : August 24, 2019
Despatch Advice No. : LDO-1908-00335

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions (mm)			Weight (MT)	Ladle Analysis (%)													Tensile Test				Impact Value				Reference		
			T	W	L		C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N	Test No.	Y.S N/mm ²	T.S N/mm ²	El %	Bend Test	in Joule				
			x 10 ⁻²	x 10 ⁻³	x 10 ⁻²		x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	N/mm ²	N/mm ²	200mm	180°V	I	II	III		Av	
U 1905456	M 11-15	3	10	1500	9000	3.180	14	15	72	12	6	<10	7	3	4	<5	<5	31	<5	7	P2	323	434	28						
U 2905453	V 11	1	10	1500	10000	1.178	14	14	70	12	5	<10	6	3	4	<5	<5	37	<5	6	V4	319	442	24						
		4				4.358																								

We hereby certify that the material herein has been made and tested in accordance with the above specification and also with the requirement called for by the above order




PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk.
DINAS Manager

Scanned by TapScanner

LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



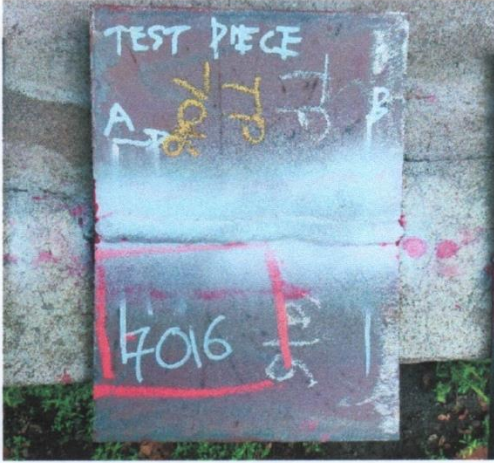






LAMPIRAN 3: Lembar Uji Penetrant

		LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT		
JOB/CONTRACT NO. : -		Report No.	PT/TA-ITS/2022/001	
PROJECT : Tugas Akhir		Drawing No.		
LOCATION : PT PAL INDONESIA		Proc. & Rev. No. :		
CUSTOMER : Rifki Arga Irfansyah		Page	: 1 of 3	
Lighting Equipment : Philips Powertone ML 160W 230-240V				
Lighting Meter Type : Luxtron LX100 S.N : AB19716		Light Intensity : 1100	Lux	
Surface Condition : <input checked="" type="checkbox"/> Welded <input type="checkbox"/> Ground Flush <input type="checkbox"/> Other ()				
Stage of Exam. : <input checked="" type="checkbox"/> After welding <input type="checkbox"/> After Hydrostatic <input type="checkbox"/> Other ()				
Welding Process : <input type="checkbox"/> FCAW <input checked="" type="checkbox"/> SMAW <input type="checkbox"/> Other ()				
Scope of Examination	<input type="checkbox"/> Base Metal <input type="checkbox"/> Back Chipping <input checked="" type="checkbox"/> Weld Part			
	<input type="checkbox"/> Edge Prep. <input type="checkbox"/> Repair Weld <input type="checkbox"/> Other ()			
Penetrant	<input type="checkbox"/> Water Was. <input type="checkbox"/> Post Emulsifier <input checked="" type="checkbox"/> Solvent Removable			
	<input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP1 <input type="checkbox"/> Other ()		Dwell Time : 7 Minutes	
Applicable By		<input checked="" type="checkbox"/> Brushing	<input type="checkbox"/> Other	Temp. 30 °C
Type of Developer		Magnaflux	<input checked="" type="checkbox"/> Dry Developer	<input type="checkbox"/> Aqueous Dev. <input type="checkbox"/> Non Aqueous Dev
Developing Time : ...5.....: Minutes.		Interpretation Time : ...10.. Minutes		
Type of Cleaner		<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S	<input type="checkbox"/> Other ()	Applicable Code : ASME IX
Type of Penetrant		<input checked="" type="checkbox"/> Visible	<input type="checkbox"/> Fluorescent ()	QW-195.2.2
Part / Welding Identification	Material & Thickness (mm)	Judgement	Type of Discontinuity	Remarks
Test Piece Ideal 6013	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece Ideal 6019	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece Ideal 7016	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece TP 6013	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece TP 6019	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece TP 7016	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece P100 7016	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Test Piece P200 7016	ASTM A36 T: 10	ACC	—	
Examined By		Reviewed/Witnessed By		Authorized Inspector
 M. ADIB MANSYUR NDE LEVEL : II DATE : Apr, 06 2022				
Date :		Date :		Date :

		ATTACHMENT OF PICTURE	
JOB/CONTRACT NO. : -	Report No. PT/TA-ITS/2022/001		
PROJECT : Tugas Akhir	Drawing No. :		
LOCATION : PT PAL INDONESIA	Proc. & Rev. No. :		
CUSTOMER : Rifki Arga Irfansyah	Page : 2 of 3		
			
Examined By	Reviewed/Witnessed By	Authorized Inspector	
 M. ADIB MANSYUR NDE LEVEL : II DATE : Apr, 06 2022	_____ Date :	_____ Date :	

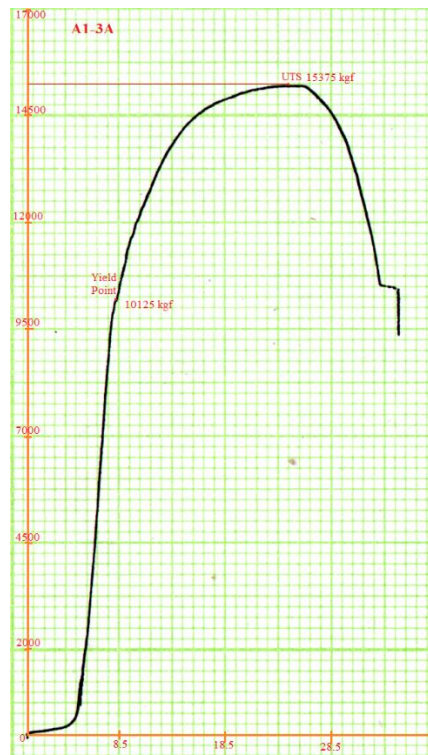
LAPORAN TUGAS AKHIR
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

		ATTACHMENT OF PICTURE	
JOB/CONTRACT NO. : -		Report No.	PT/TA-ITS/2022/001
PROJECT : Tugas Akhir		Drawing No. :	
LOCATION : PT PAL INDONESIA		Proc. & Rev. No. :	
CUSTOMER : Rifki Arga Irfansyah		Page	: 3 of 3
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;">   </div>			
<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Examined By</p> <div style="text-align: center;">   M. ADIB MANSYUR NDE LEVEL : II DATE : Apr, 06 2022 </div>	<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Reviewed/Witnessed By</p> <div style="text-align: center;"> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Date : </div>	<p style="text-align: center; font-weight: bold;">Authorized Inspector</p> <div style="text-align: center;"> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Date : </div>	

LAMPIRAN 4: Uji Tarik



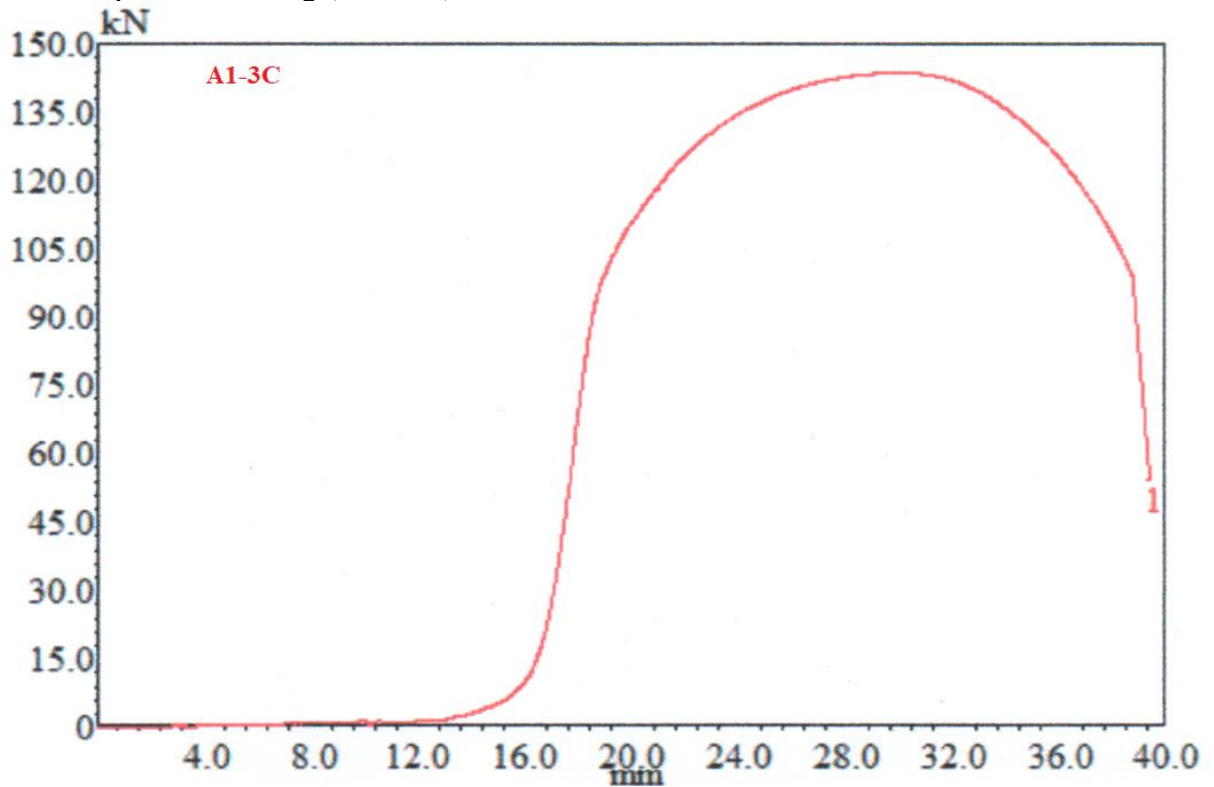
1. Spesimen Kering (D-NP-A)



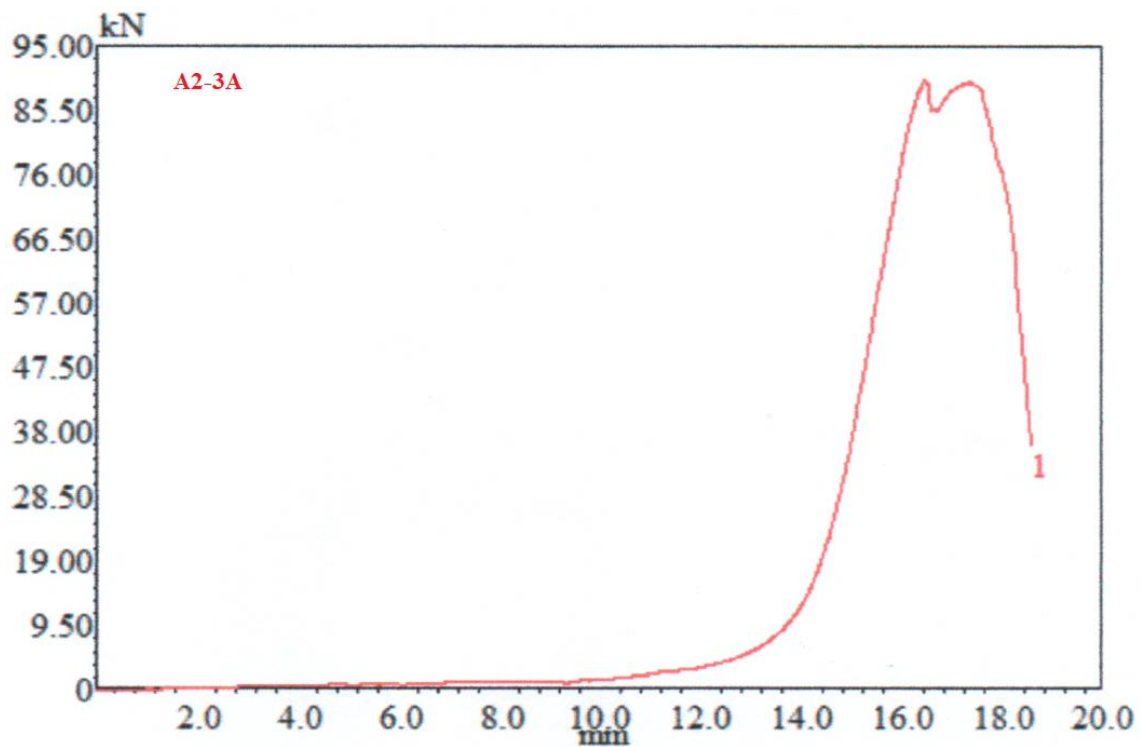
2. Spesimen Kering (D-NP-B)



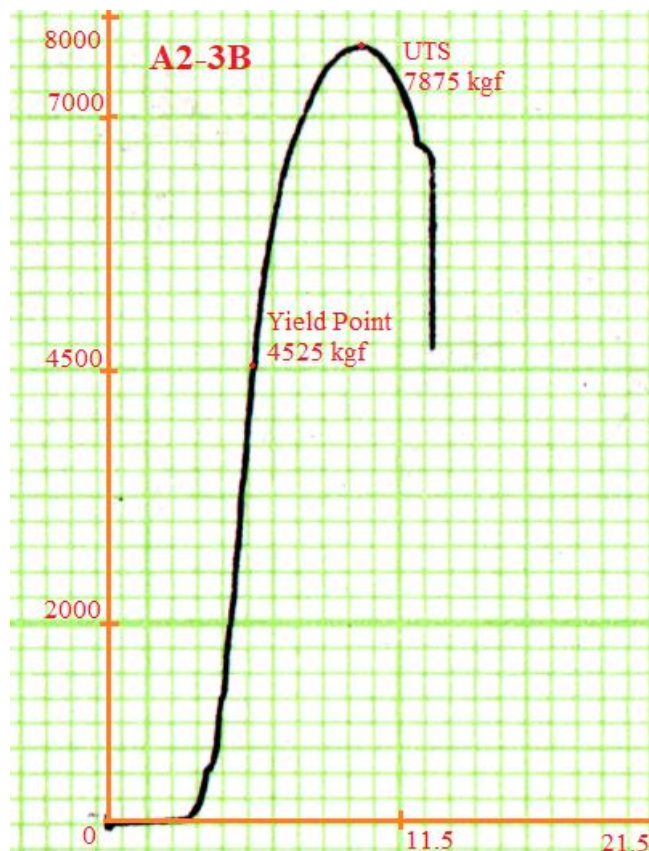
3. Spesimen Kering (D-NP-C)



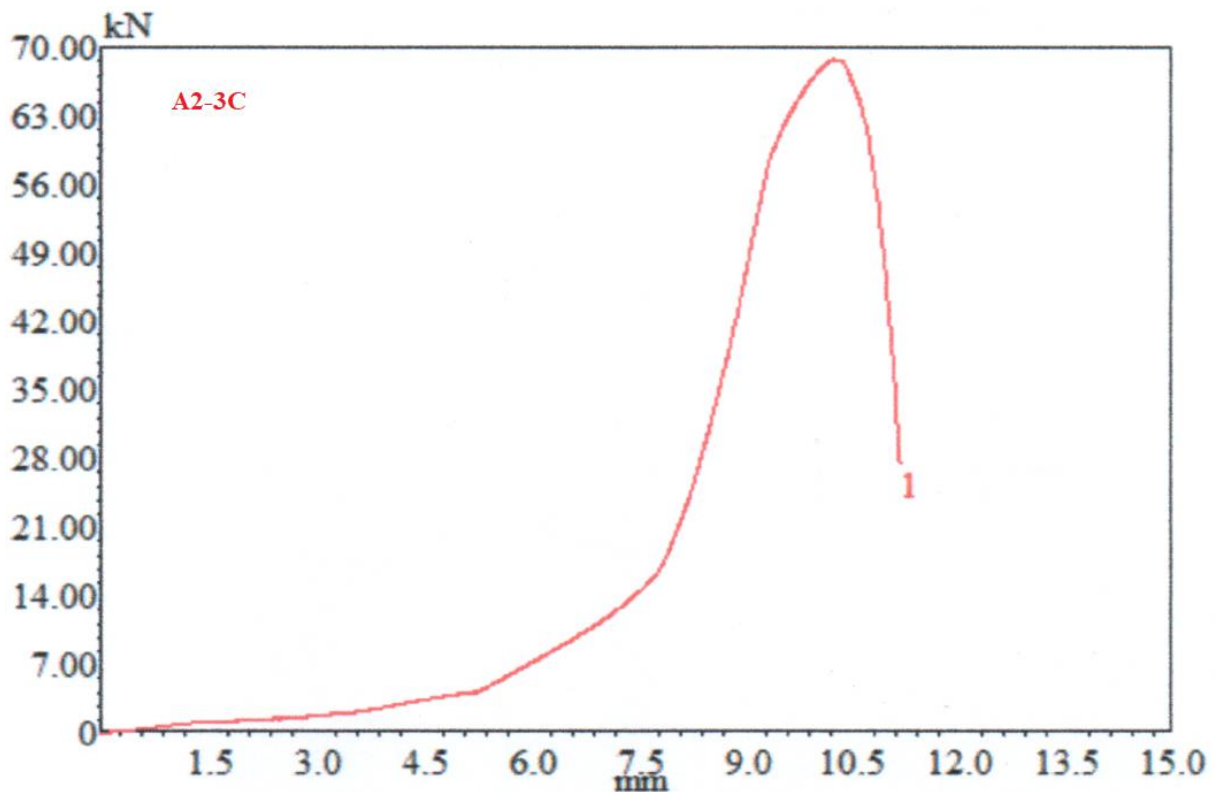
4. Spesimen Di Atas Permukaan Air Tanpa *Preheat* (W-NP-A)



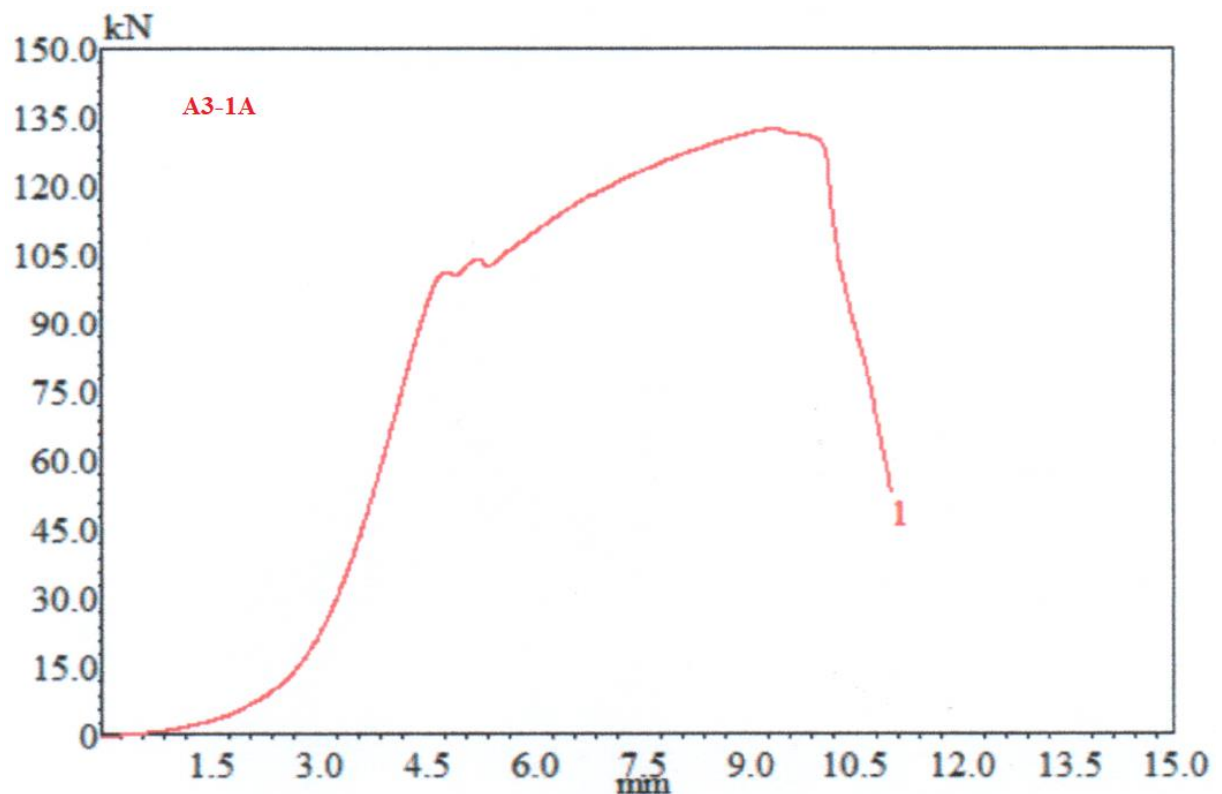
5. Spesimen Di Atas Permukaan Air Tanpa *Preheat* (W-NP-B)



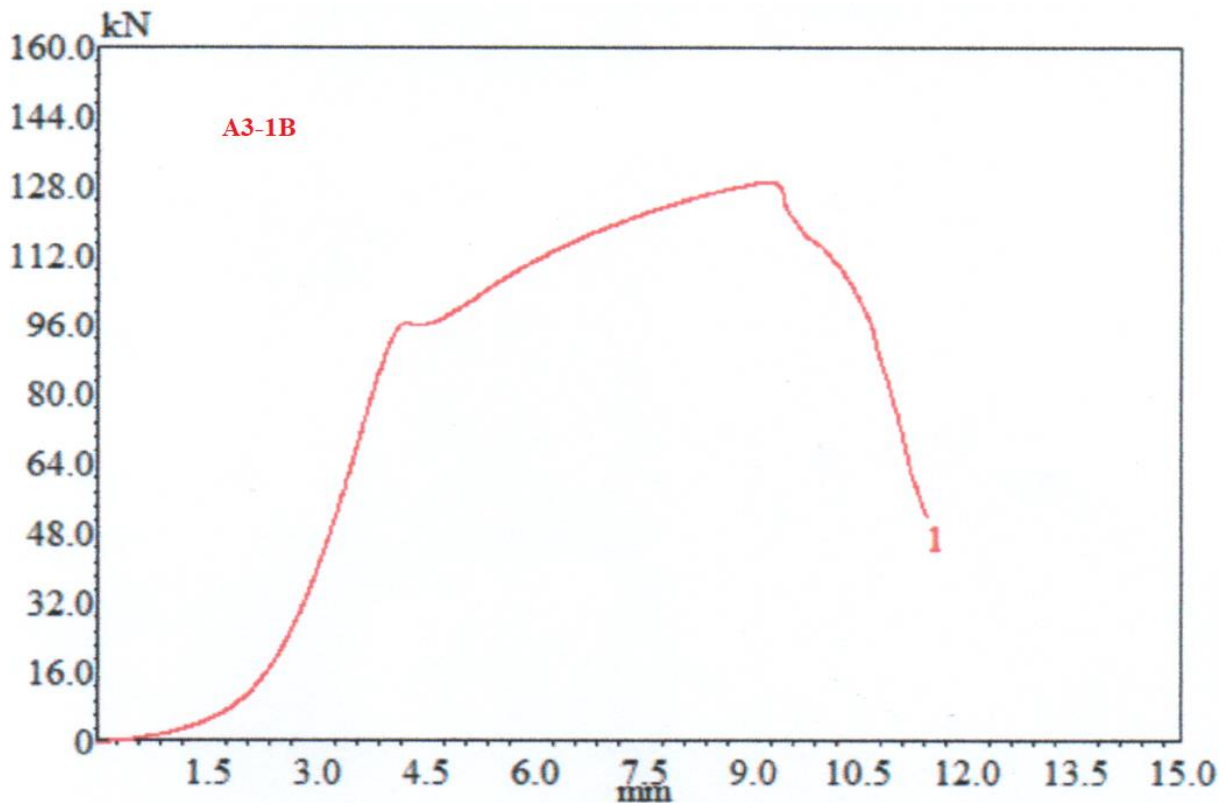
6. Spesimen Di Atas Permukaan Air Tanpa *Preheat* (W-NP-C)



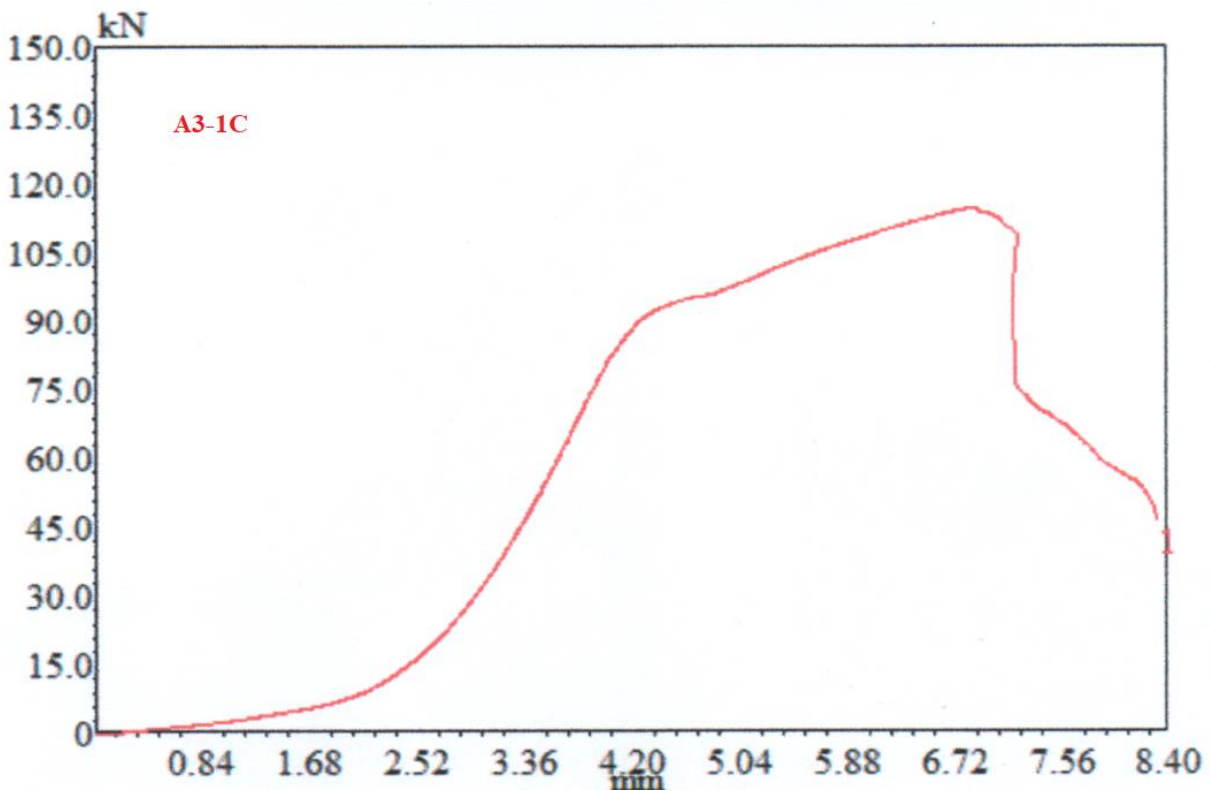
7. Spesimen Di Atas Permukaan Air *Preheat* 100°C (W-P100-A)



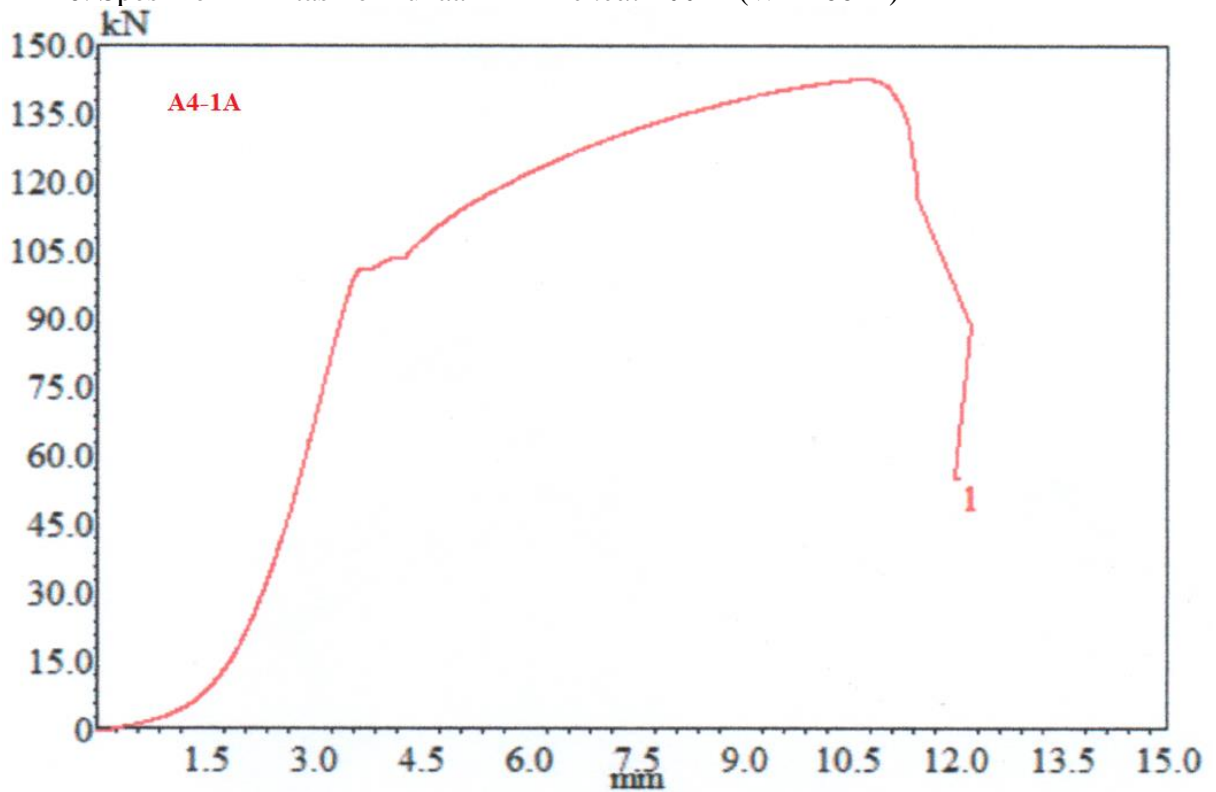
8. Spesimen Di Atas Permukaan Air *Preheat* 100°C (W-P100-B)



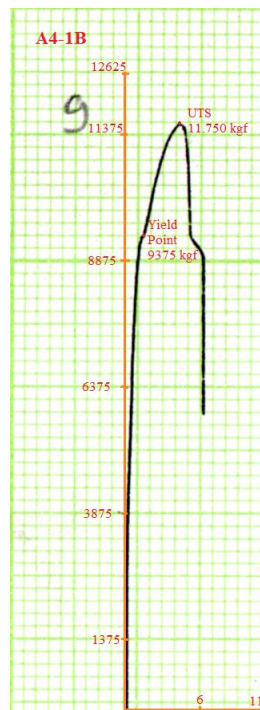
9. Spesimen Di Atas Permukaan Air *Preheat* 100°C (W-P100-C)



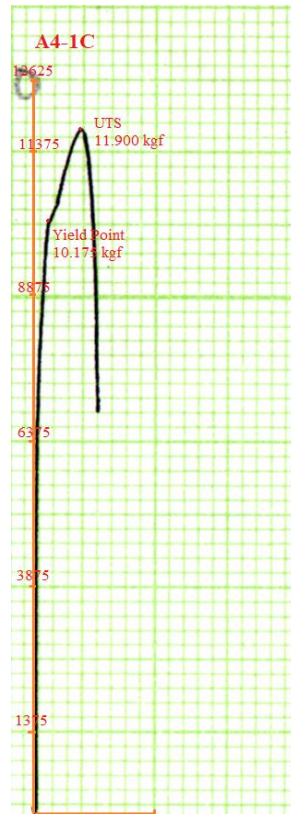
10. Spesimen Di Atas Permukaan Air *Preheat* 200°C (W-P200-A)



11. Spesimen Di Atas Permukaan Air *Preheat* 200°C (W-P200-B)



12. Spesimen Di Atas Permukaan Air *Preheat* (W-P200-C)

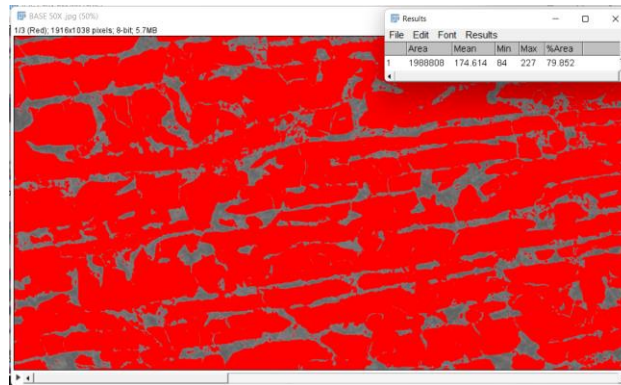


LAMPIRAN 5:
Spesimen Pengujian Metalografi dan Keerasan.

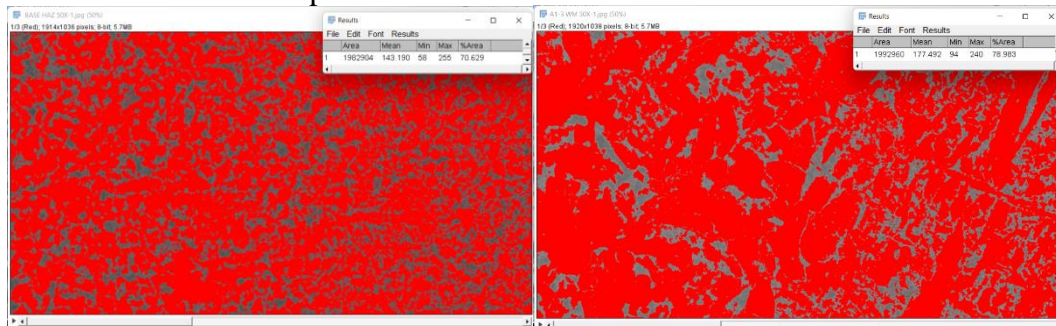


LAMPIRAN 6.: Perbandingan Fasa dengan *Software ImageJ*

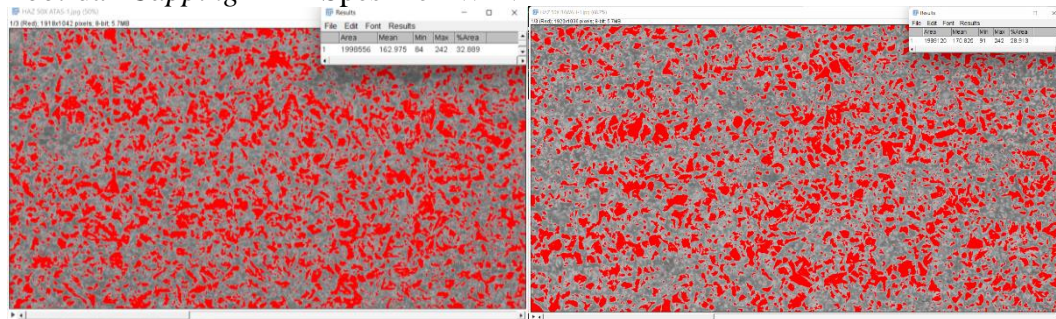
1. Base Metal



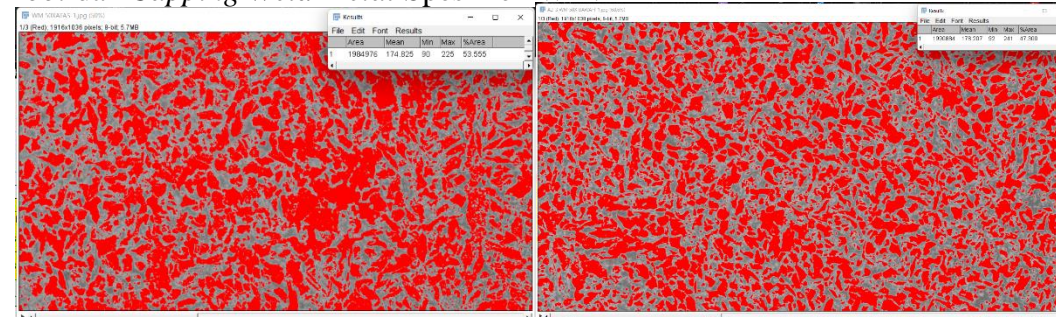
2. HAZ dan *Weld Metal* Spesimen D-NP



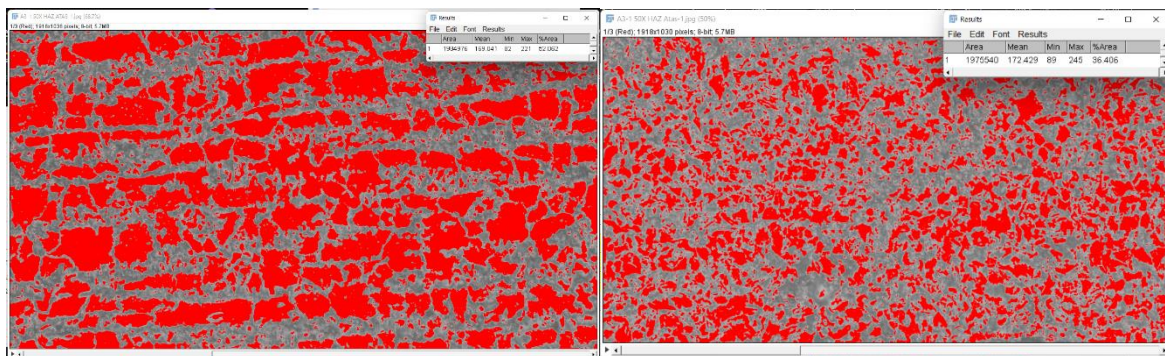
3. *Root dan Capping* HAZ Spesimen W-NP



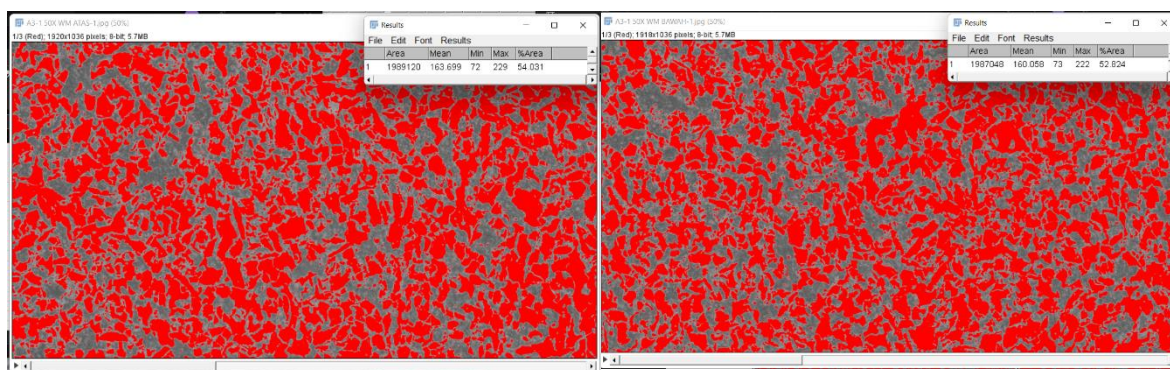
4. *Root dan Capping* *Weld Metal* Spesimen W-NP



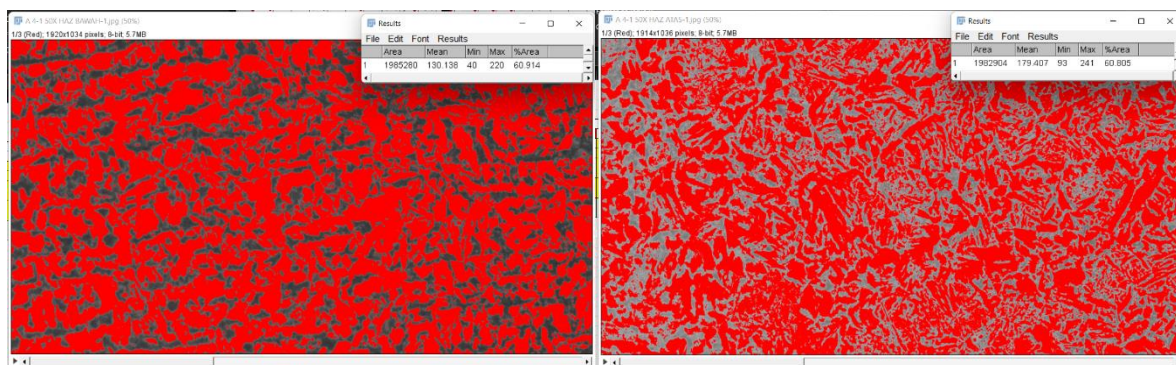
5. *Root dan Capping HAZ Spesimen W-P100*



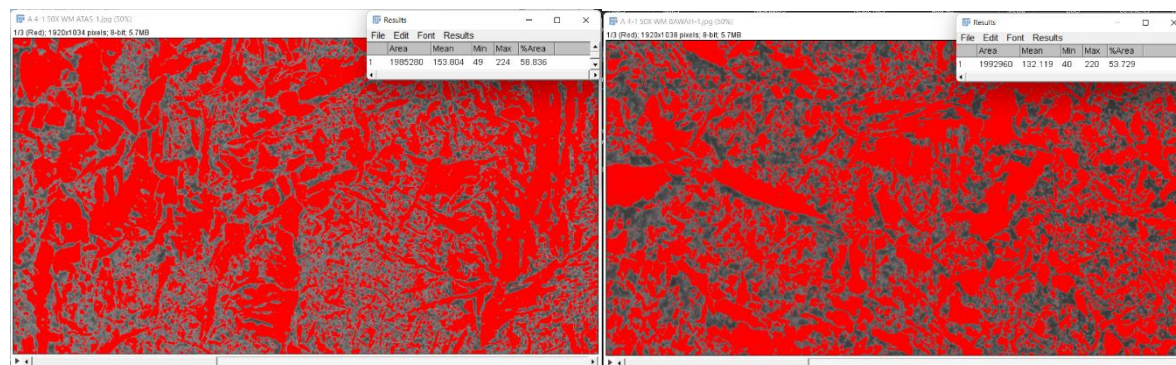
6. *Root dan Capping Weld Metal Spesimen W-P100*



7. *Root dan Capping HAZ Spesimen W-P200*



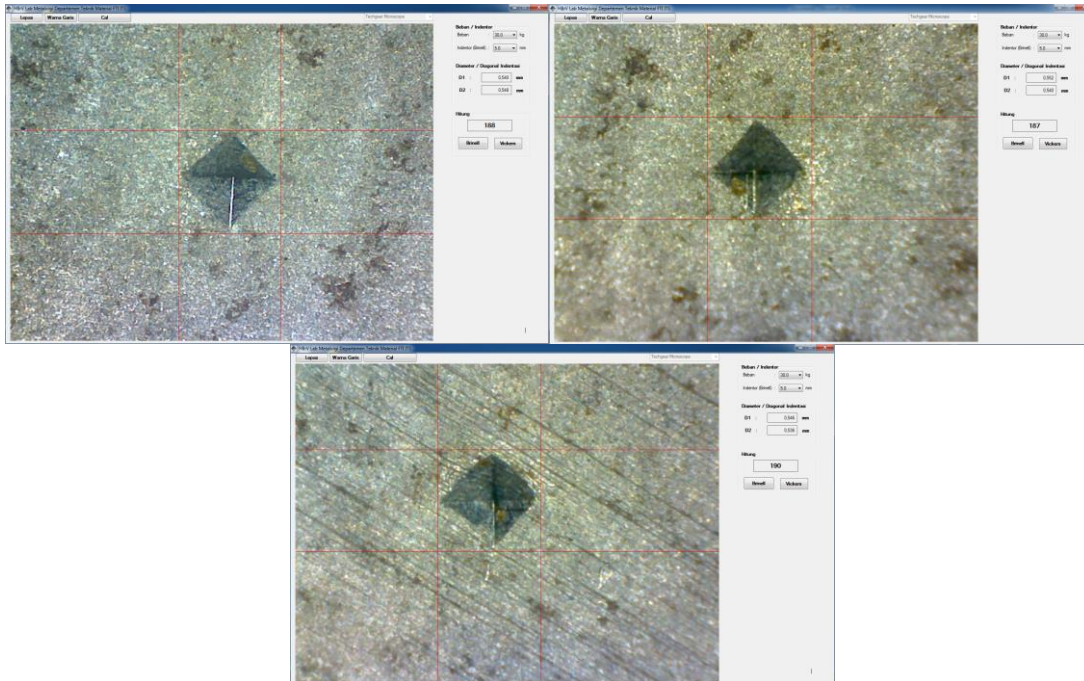
8. *Root dan Capping Weld Metal Spesimen W-P200*



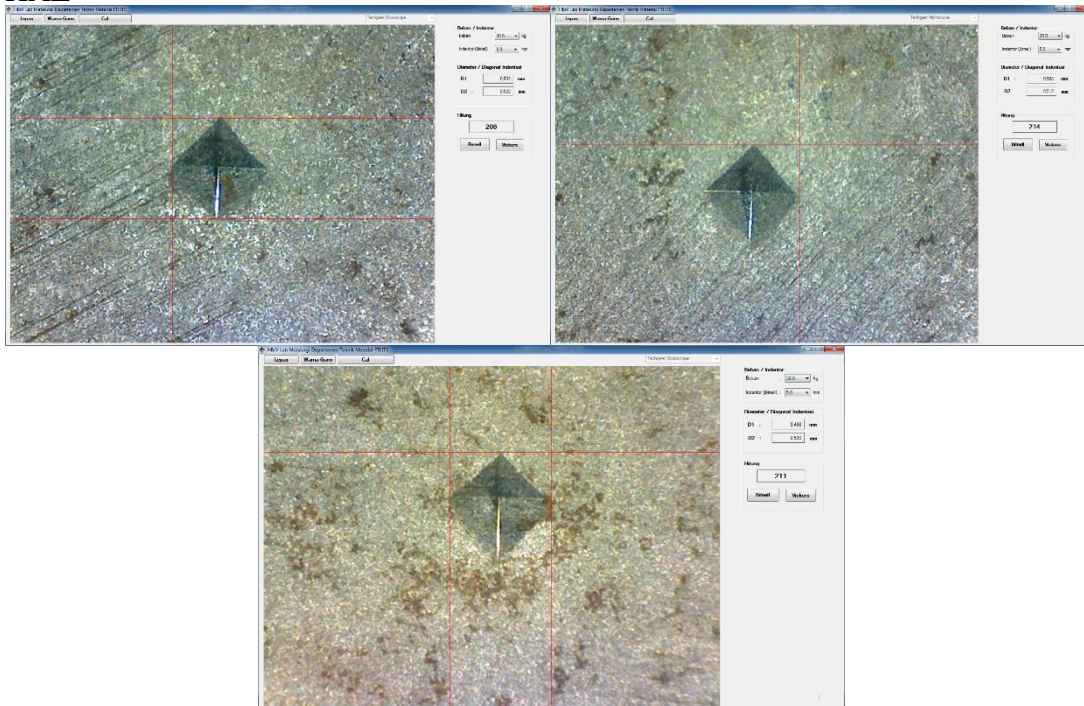
LAMPIRAN 5.: Uji Kekerasan

1. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Ideal ASTM A36 E7016 (D-NP)

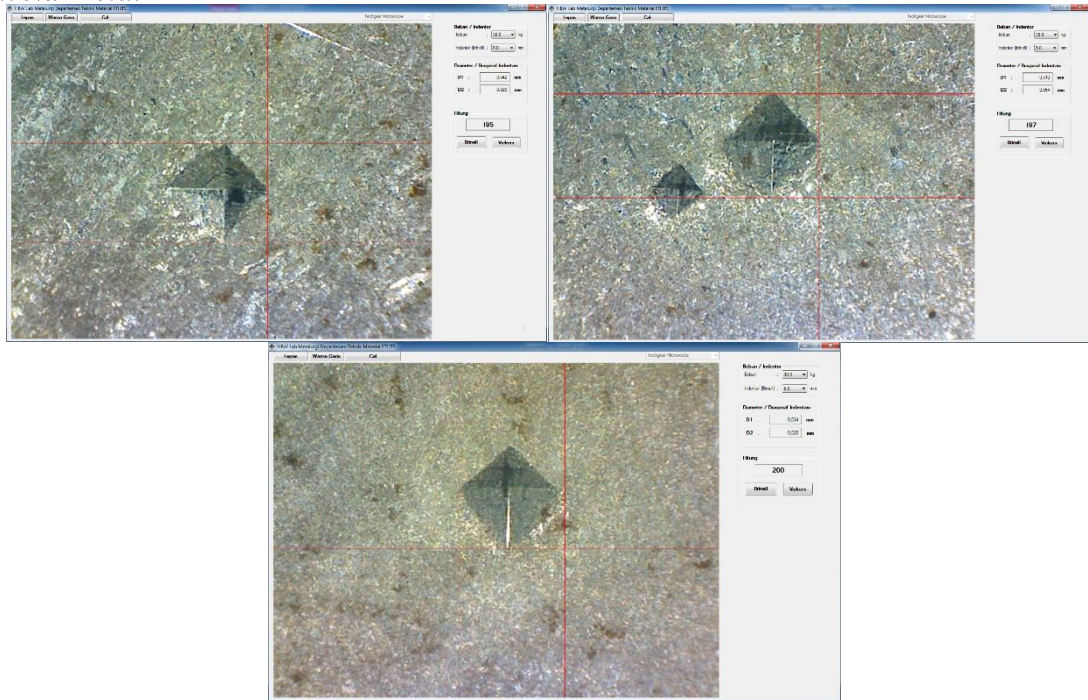
Base Metal



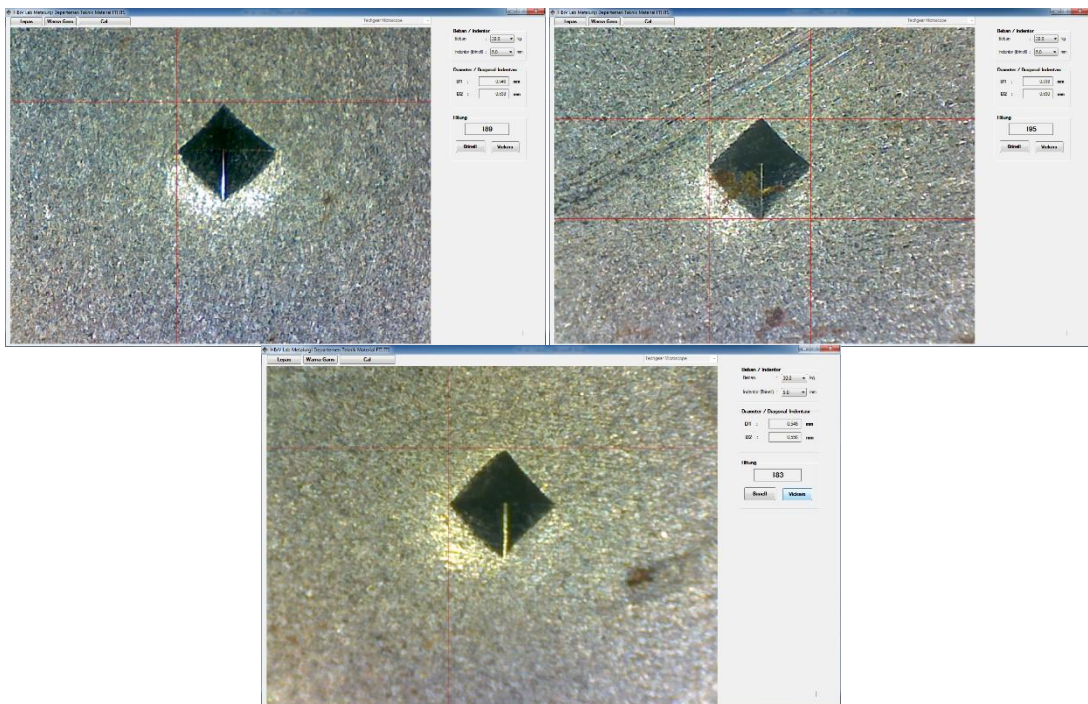
HAZ



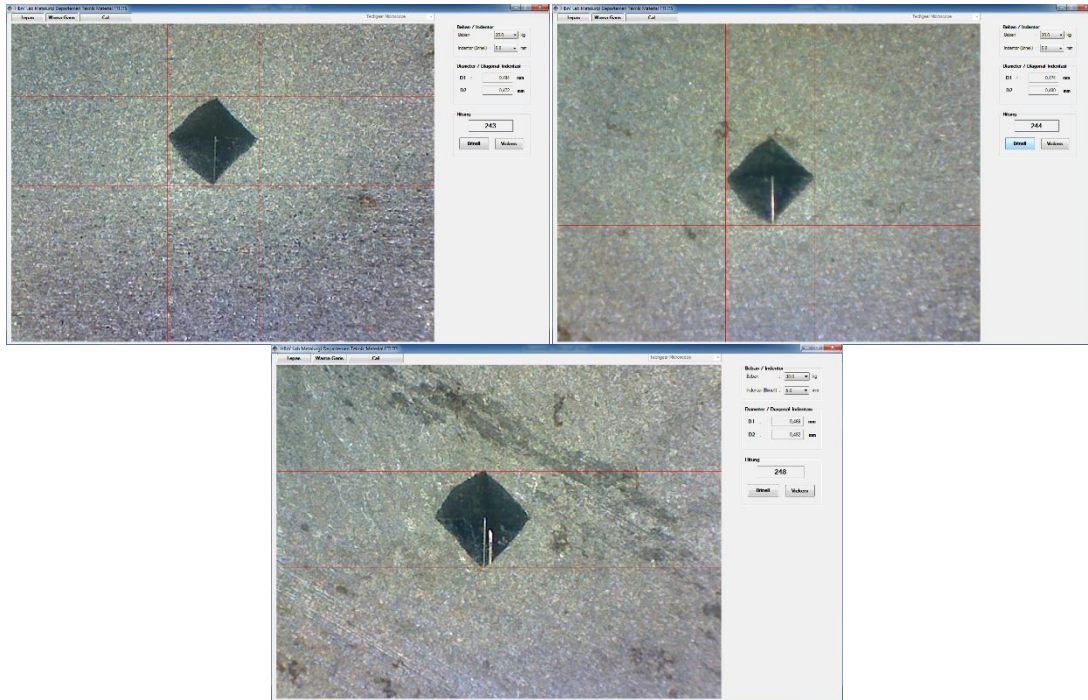
Weld Metal



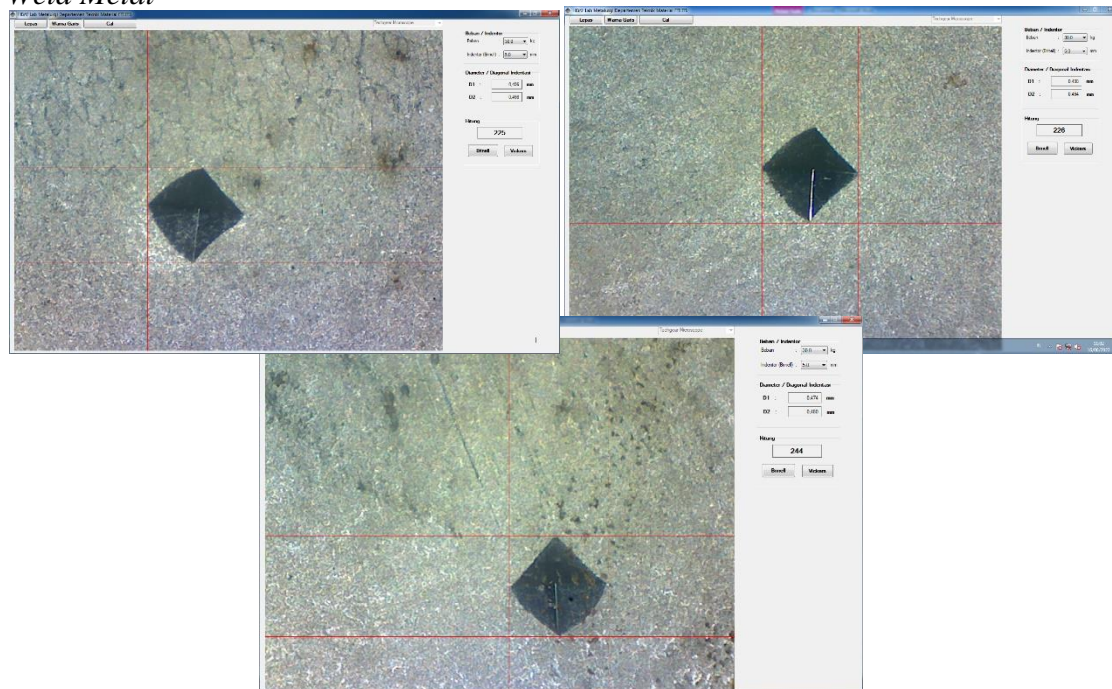
2. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen ASTM A36 Tanpa Perlakuan E7016 (W-NP)
Base Metal



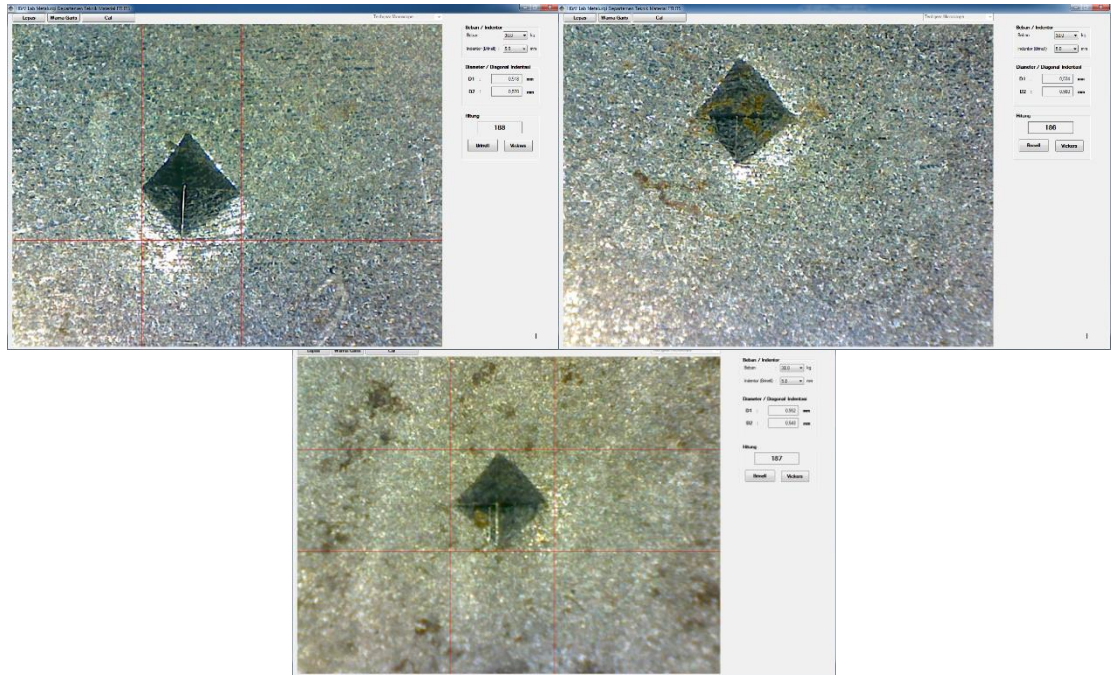
HAZ



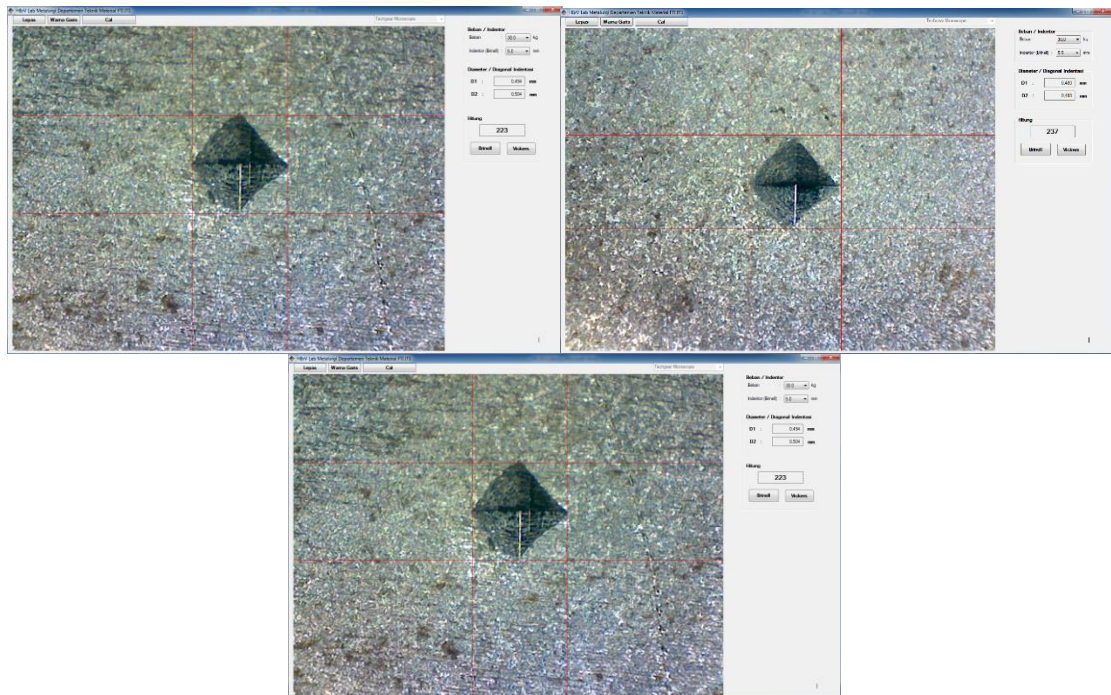
Weld Metal



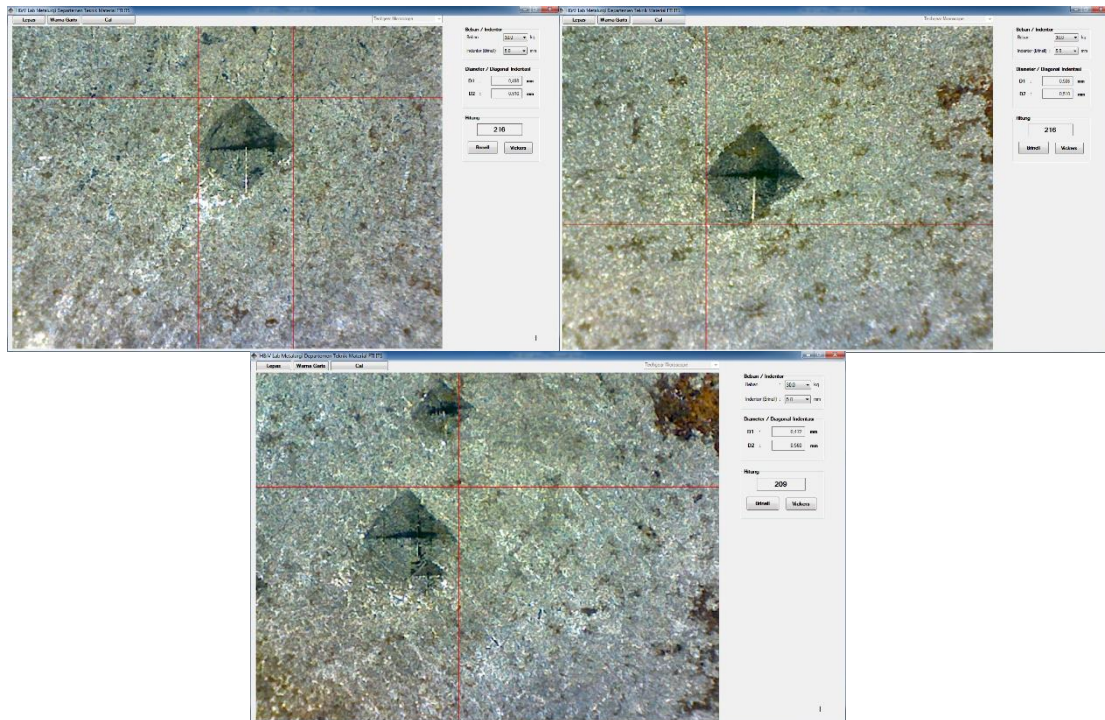
3. Hasil Kekerasan Spesimen *Preheat 100°C (W-P100)*
Base Metal



HAZ

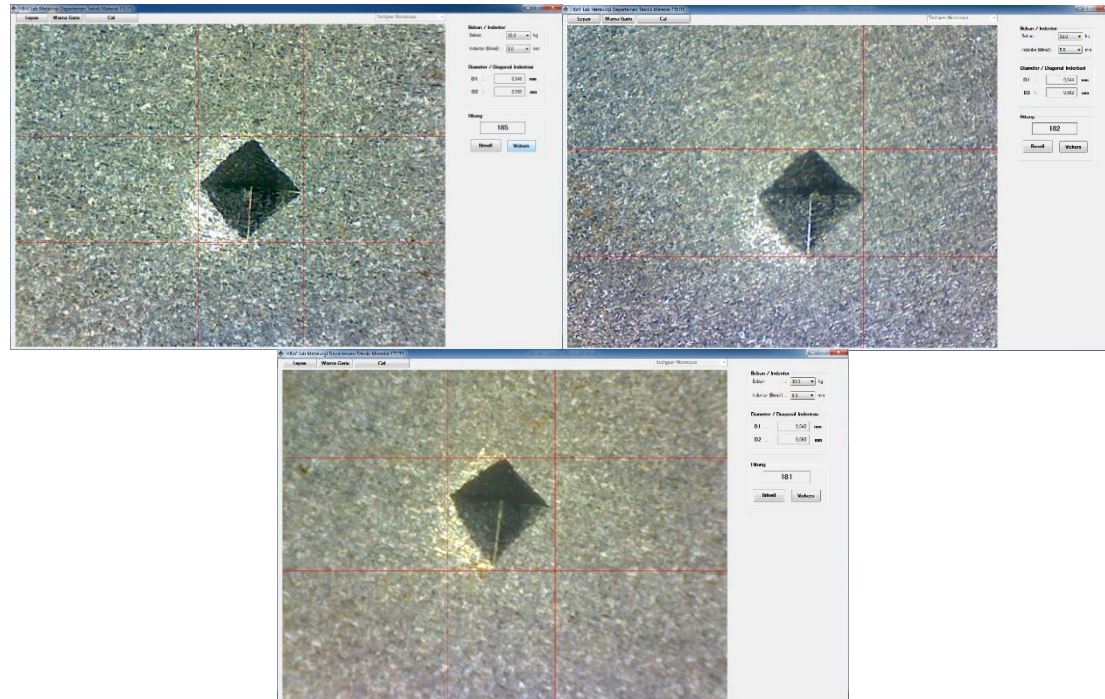


Weld Metal



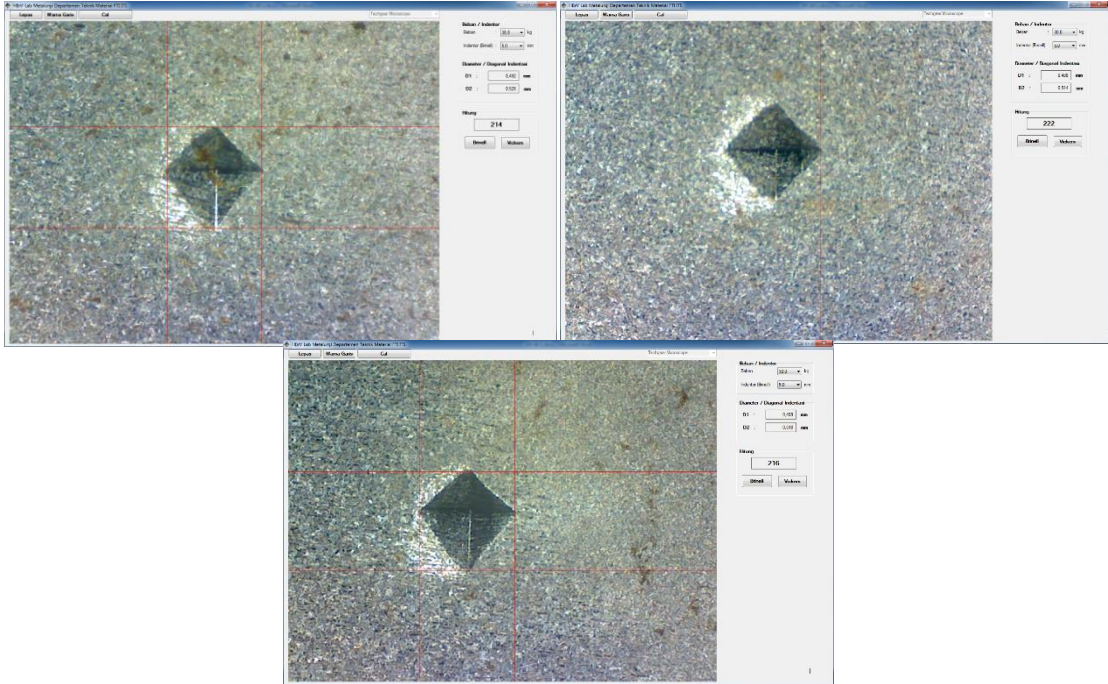
4. Hasil Kekerasan Spesimen *Preheat 200°C* (W-P200)

Base Metal

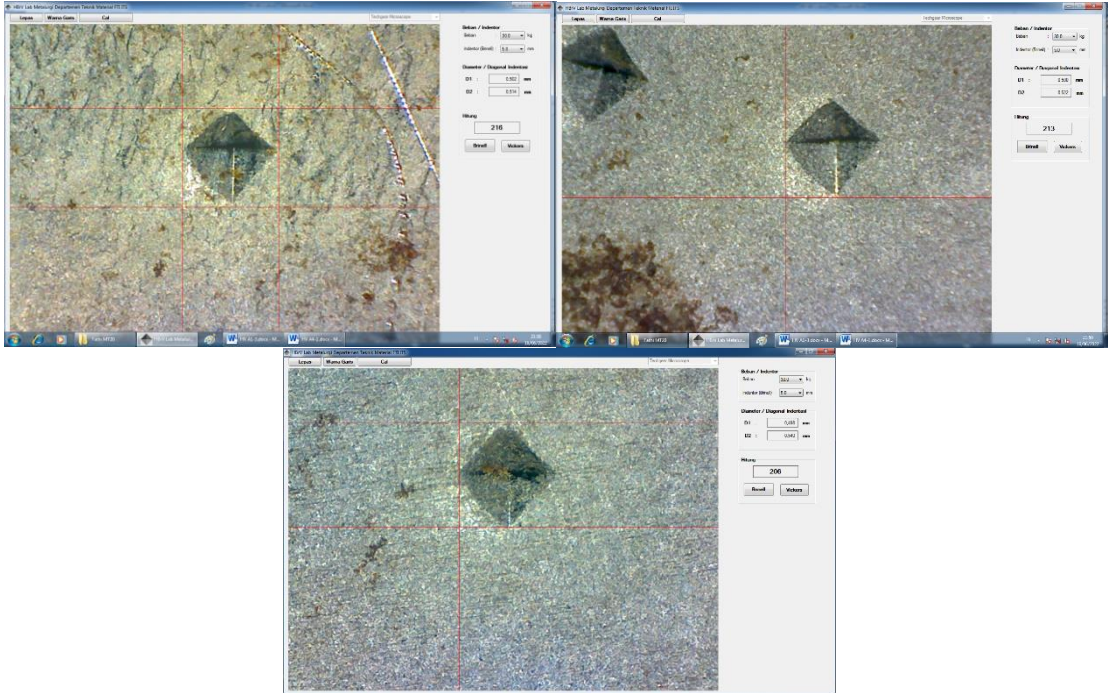


LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

HAZ



Weld Metal



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Orang tua yaitu Pak Maksum dan Ibu Siti Ngaisah serta kakak saya Ardian Firmansyah yang senantiasa memberikan dukungan secara moral maupun materi tiada henti selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
2. Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang tak terhitung jasanya dalam membimbing, membantu dan memberikan kritik serta saran kepada penulis hingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Sigit Budi Rahardjo, S.T. dan Mas Wahyu Hidayat Nurdiansyah, S.T. MT16 yang telah memberikan banyak pandangan dan kesempatan diskusi yang tidak ternilai harganya untuk penulis dan tanpa beliau penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Pak Rusaeful Arief, S.T Kepala Dept. QA Rekayasa Umum, Pak Supriono, S.T. Kepala Dept. Konstruksi Lambung Kapal Niaga yang memberikan penulis kesempatan untuk melaksanakan Magang di PT. PAL Indonesia (Persero) sekaligus pembuka jalan bagi pengerjaan Tugas Akhir penulis.
5. Pak Fajar, Pak Dhavied, Pak Bashori, Pak Adib, Bu Bebik, Mas Iman, Mas Roni, Pak Pur dan seluruh pegawai Dept. QA Rekayasa Umum PT. PAL Indonesia (Persero) atas kesempatan sekaligus bantuannya kepada penulis selama melaksanakan Magang di PT. PAL Indonesia (Persero). Dari beliau-beliau penulis banyak belajar dan memiliki bayangan ke depan mengenai dunia kerja.
6. Pak Kholidin, Pak Sugianto, Pak Amrozi, Pak Doddy Trisna, Pak Andri Dwi, Pak Hari, Pak Handoko, Pak Hermawan, Pak Chanan dan Pak Asman yang telah membantu proses pengelasan, pembuatan dan pengujian spesimen milik penulis.
7. Fahrizal Fathi selaku partner penulis mengerjakan Tugas Akhir hingga akhir.
8. Nasrurrahman, Yusril Adetya, Ricky Chrisnaldo dan seluruh teman-teman *Welding Engineering* PPNS yang selalu bersedia menjadi rekan diskusi dan banyak memberikan kritik dan saran bagi penulis secara teknis dan non-teknis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Reno Ramadhan, Zhoel Maulana dan Ananda Wahyu yang sering menemani penulis dan wadah berkeluh kesah selama pengerjaan Tugas Akhir.
10. Okta Nirmala. Rifaul Amelia, Chrisna Juli, Lehonnita dan Wafiq Syeach yang banyak membantu penulisan laporan sekaligus menjadi teman berdiskusi.
11. Teman-teman Tekloss, Izzudin, Hanif, Bhisimo, Sulthan, Jeremy dan Toga yang bersama penulis mengambil dan mengerjakan Tugas Akhir sejenis.
12. Keluarga Besar BPI-PH dan Direktur HMMT Kontribusi 2021 memberi ruang bagi penulis untuk belajar mengolah dan mencari jati diri.
13. Fungsi dan staf Dept. BSRD HMMT Kontribusi 2021 dari mereka penulis belajar arti sekaligus cara menjadi sosok pemimpin yang seharusnya.
14. Tantri Ratna Dewi yang selalu memberikan motivasi dan dengan sabar menemani penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
15. Keluarga Besar Material Society Generasi Ke-20, tanpa mereka penulis tidak akan mampu menyelesaikan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
16. Seluruh pihak yang belum tertulis dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rifki Arga Irfansyah lahir di Surabaya pada 01 Oktober 2000. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Maksam dan Siti Ngaisah. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN Jemurwonosari 1/417, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 22 Surabaya yang kemudian menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri 16 Surabaya dan penulis tengah menyelesaikan pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan Nomor Registrasi Pokok (NRP) 02511840000097. Penulis melakukan penelitian Tugas Akhir pada bidang Manufaktur, pada Laboratorium Metalurgi dengan judul tugas akhir **“ANALISIS PENGARUH VARIASI PREHEATING TEMPERATURE PADA HASIL**

PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS PERMUKAAN AIR DENGAN PROSES SMAW TERHADAP WELD DEFECT, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK”.

Selama kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi dan menjadi bagian dari pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS dengan mengemban tanggungjawab sebagai Kepala Departemen PSDM-D HMMT 2021. Penulis juga melaksanakan Kerja Praktik di PT. Pupuk Kalimantan Timur (Persero) di Bontang pada tahun 2021 pada Divisi Inspeksi Teknik-2 dan menjalani program Magang di PT. PAL Indonesia (Persero) di Surabaya dan ditempatkan pada Departemen *Quality Assurance* (QA) Divisi *General Engineering*.

Penulis dapat dikontak melalui email: rifkiargaaa@gmail.com atau nomor telfon di +6281393855525.