



TUGAS AKHIR (MO 184804)

ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU PRE WELD HEAT TREATMENT DAN AGING POST WELD HEAT TREATMENT PADA SAMBUNGAN LAS ALUMINIUM SERI 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIS

**TIN RACHMATULLAH
NRP. 0431164000042**

DOSEN PEMBIMBING:

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

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT (MO 184804)

ANALYSIS INFFLUENCE OF PRE-WELD HEAT TREATMENT AND AGING POST WELD HEAT TREATMENT IN WELD JOINT OF ALUMUNIUM 6061 ON MECHANICAL PROPERTIES

TIN RACHMATULLAH

NRP. 0431164000042

SUPERVISORS :

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

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

OCEAN ENGINEERING

DEPARTMENT FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU *PRE WELD HEAT TREATMENT* DAN
AGING POST WELD HEAT TREATMENT PADA SAMBUNGAN LAS
ALUMINIUM SERI 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIS**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

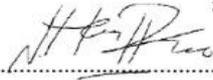
TIN RACHMATULLAH

NRP. 0431164000042

Disetujui oleh:

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

(Pembimbing 1)

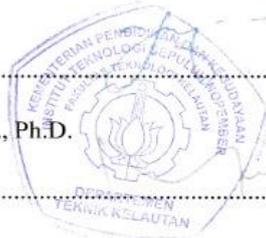


Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

(Pembimbing 2)

Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.

(Penguji 1)



Dr. Eng. M. Zikro, ST., M.Sc.

(Penguji 2)



SURABAYA, MEI 2020

**ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU *PRE WELD HEAT TREATMENT* DAN
AGING POST WELD HEAT TREATMENT PADA SAMBUNGAN LAS
ALUMINIUM SERI 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIS**

Nama Mahasiswa : Tin Rachmatullah
NRP : 04311640000042
Departemen : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Alumunium 6061 merupakan paduan alumunium yang *heat treatable* seri ini mengandung Al-Mg-Si sebagai komposisi paduan utamanya, paduan ini sering digunakan untuk material struktur lepas pantai dikarenakan kekuatan yang tinggi, ductility yang baik dan ketahanan korosi yang baik. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk menunjukkan bagaimana pengaruh variasi perlakuan heat treatment berupa *preheating* dan *aging Post Weld Heat Treatment* pada sambungan las Alumunium 6061 dengan proses Gas Tungsten Arc Welding terhadap kekuatan tarik, struktur mikro, dan struktur makro dengan elektroda ER 5356. Adapun variasi suhu *preheat* adalah 80°C, 100°C, dan 120°C dan variasi suhu *aging PWHT* 180°C dan 260°C. Hasil penelitian didapatkan spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C memiliki *ultimate strength* terbesar yaitu 246,74 MPa dan *yield strength* sebesar 125,21 MPa. Serta HAZ terpanjang dimiliki spesimen perlakuan *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C dengan lebar HAZ sepanjang 3,5 mm. Hasil prosesntase Mg₂Si terbanyak dimiliki oleh spesimen *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C dengan presentase 48,84% pada *weld metal*, 58,75% pada *HAZ*, dan 43,54% pada *base metal*.

Kata Kunci: Alumunium 6061, *Preheating*, *Aging*, *Post Weld Heat Treatment*, *Gas Tungsten Arc Welding*, Uji tarik, Uji Metalografi

**ANALYSIS INFFLUENCE OF PRE-WELD HEAT TREATMENT AND AGING
POST WELD HEAT TREATMENT IN WELD JOINT OF ALUMUNIUUM 6061
ON MECHANICAL PROPERTIES**

Student Name : Tin Rachmatullah
Reg. : 04311640000042
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRACT

Aluminium 6061 is a heat treatable aluminium alloy, this series contains Al-Mg-Si as its main alloy composition which is often used for offshore structural material due to its high strength, good ductility and good corrosion resistance as well as its mechanical properties can be enhanced by heat treatment. The purpose of this paper is to show how the withdrawal of heat treatment variation in the form of preheating and aging PWHT on aluminum welding connection 6061 with GTAW process to tensile strength and micro structure with electrode ER 5356. The temperature variation of preheat is 80°C, 100°C, and 120°C and the variation in temperature aging pwht 180°C and 260°C. The results of the study obtained spesimens with preheat treatment 120°C and aging pwht 260°C have the largest ultimate strength of 246.74 MPa and yield strength of 125.21 MPa. As well as the longest HAZ, the preheat treatment spesimen is 120 °C and aging PWHT 260 °C with a HAZ width of 3.5 mm. The most Mg₂Si-process results are owned by the preheat spesimen 120°C and aging pwht 260°C with a percentage of 48.84% in weld metal, 58.75% in HAZ, and 43.54% in base metal

Keywords: *Alumunium 6061, Preheating, Aging, Post Weld Heat Treatment, Gas Tungsten Arc Welding, Tensile Test, Metallography Test*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH VARIASI SUHU *PRE WELD HEAT TREATMEN* DAN *AGING POST WELD HEAT TREATMENT* PADA SAMBUNGAN LAS ALUMINIUM SERI 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIS”** sesuai harapan. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat wajib menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Laporan Tugas Akhir ini berisi tentang pengelasan GTAW Aluminium Seri 6061 dengan menggunakan variasi temperatur *preheating* dan *aging post weld heat treatment* yang kemudian diuji sifat mekanik. Pada hasil akhir, akan diberikan metode yang paling tepat pada pengelasan GTAW Aluminium 6061 tersebut.

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

Surabaya, 04 Mei 2020

Tin Rachmatullah

UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. Allah SWT atas segala nikmat, rahmat, dan hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik mungkin.
2. Orangtua penulis, Bopo Wigih dan Almarhumah Bu Tik yang selalu memberikan doa, semangat dan motivasi serta kasih sayang yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan kesempatan dan membimbing penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan masukan dan membimbing guna menyempurnakan pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D dan Bapak Dr. Eng. M. Zikro, ST., M.Sc. sebagai penguji Tugas Akhir Penulis yang memberikan masukan dan nasehat serta kesempatan kepada penulis untuk memperbaiki Tugas Akhir .
6. Ibu Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T selaku Dosen wali penulis yang selalu mendukung, memberi motivasi, nasihat, dan saran dengan sabarnya selama 4 tahun
7. Teman-teman "ADHIWAMASATYA P56-L34" yang telah banyak memberikan pengalaman dan pembelajaran yang berharga selama penulis menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan, FTK - ITS.
8. Andrea dan Sarah sebagai sahabat seperjuangan yang selalu ada dan membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini
9. Alyssa, Nuril, Imas, Asa, Aul, Silvia, Fifi, Yujo, Anit, Wetta yang selalu mewarnai hari penulis dengan segala drama dan candaannya.
10. Semua orang-orang baik yang telah mendukung dan memberi pengalaman serta pelajaran penulis.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>COVER</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesa Sementara	3
1.6 Batasan Masalah	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Alumunium	9
2.2.2 Alumunium 6061	10
2.2.3 Crack.....	12
2.2.4 Preheating	12
2.2.5 Heat Treatments	13
2.2.6 Gas Tungsten Arc Werlding (GTAW).....	16

2.2.6.1 Polaritas GTAW	17
2.2.7 Pengelasan Alumunium dengan GTAW.....	18
2.2.8 Pengujian Non-Desctructive Test Radiography	20
2.2.8.1 Radiography Test.....	20
2.2.9 Uji Tarik.....	21
2.2.10 Metallography Test	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir	25
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	27
3.2.1 Studi Literatur	27
3.2.2 Pengumpulan Bahan dan Peralatan.....	27
3.2.3 Prosedur Pengelasan	31
3.2.3.1 Proses Preheating.....	31
3.2.3.2 Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding.....	33
3.2.4 Inspeksi NDT.....	34
3.2.5 Aging Post-weld Heat Treatment	35
3.2.6 Pengujian Tensile Strength	37
3.2.7 Pengujian Metalografi.....	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Welding Procedur Specification (WPS).....	41
4.1.1. Welding Procedur Specification pada Joint Tanpa Perlakuan Heat Treatment	42
4.1.2. Welding Procedur Specification pada Joint 1A.....	42
4.1.2 Welding Procedur Specification pada Joint 1B.....	43
4.1.3 Welding Procedur Specification pada Joint 2A.....	44
4.1.4 Welding Procedur Specification pada Joint 2B	45
4.1.5 Welding Procedur Specification pada Joint 3A.....	46

4.1.6	Welding Procedur Specification pada Joint 3B.....	47
4.2	Non-Destructive Test (NDT)	48
4.2.1	Hasil Non-Destructive Test (NDT) Radiografi pada joint Non-Heat Treatment	48
4.2.2	Hasil Non-Destructive Test (NDT) Radiografi pada joint 1A dan joint 1B.....	49
4.2.3	Hasil Non-Destructive Test (NDT) Radiografi pada joint 2A dan joint 2B.....	50
4.2.4	Hasil Non-Destructive Test (NDT) Radiografi pada joint 3A dan joint 3B.....	51
4.3	Hasil Uji Tarik	52
4.3.1	Hasil Uji tarik pada spesimen O (Non-Heat Treatment)	52
4.3.2	Hasil Uji tarik pada spesimen A1 (preheating 80	53
4.3.3	Hasil Uji tarik pada spesimen A2 (preheating 100	54
4.3.4	Hasil Uji tarik pada spesimen A3 (preheating 120	54
4.3.5	Hasil Uji tarik pada spesimen B1 (preheating 80	55
4.3.6	Hasil Uji tarik pada spesimen B2 (preheating 100	56
4.3.7	Hasil Uji tarik pada spesimen B3 (preheating 120	57
4.4	Analisa Hasil Uji Tarik	58
4.5	Pengujian Metalografi.....	62
4.5.1	Pengujian Makro.....	62
4.5.1.1	Hasil Foto Makro pada Spesimen Non-Heat Treatment.....	62
4.5.1.2	Hasil Foto Makro pada Spesimen A1	63
4.5.1.3	Hasil Foto Makro pada Spesimen A2	63
4.5.1.4	Hasil Foto Makro pada Spesimen A3	64
4.5.1.5	Hasil Foto Makro pada Spesimen B1	64
4.5.1.6	Hasil Foto Makro pada Spesimen B2	65

4.5.1.7	Hasil Foto Makro pada Spesimen B3	66
4.5.1.8	Analisa Hasil Uji Makro	66
4.5.2	Pengujian Mikro	68
4.5.2.1	Hasil Foto Mikro pada Spesimen Non Heat Treatment.....	68
4.5.2.2	Hasil Foto Mikro pada Spesimen A1	69
4.5.2.3	Hasil Foto Mikro pada Spesimen A2.....	70
4.5.2.4	Hasil Foto Mikro pada Spesimen A3.....	71
4.5.2.5	Hasil Foto Mikro pada Spesimen B1	72
4.5.2.6	Hasil Foto Mikro pada Spesimen B2	73
4.5.2.7	Hasil Foto Mikro pada Spesimen B3	74
4.5.2.8	Analisa Hasil Foto Mikro	75
4.6	Hubungan Antara Uji Tarik, Uji Makro, dan Uji Mikro	77
BAB V PENUTUP		79
5.1	Kesimpulan	79
5.2	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A NDT REPORT		
LAMPIRAN B FORM UJI TARIK, UJI MAKRO, UJI MIKRO		
LAMPIRAN C SERTIFIKAT JURU LAS		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fasa paduan alumunium Al-Mg ₂ Si	9
Gambar 2.2 Skema heat treatment dari paduan Al-Mg ₂ Si	13
Gambar 2.3 Diagram fasa pemanasan logam paduan.....	13
Gambar 2.4 Skema Pengelasan metode GTAW	16
Gambar 2.5 Jenis polarity dari GTAW	16
Gambar 2.6 Ilustrasi radiography test	19
Gambar 2.7 Dimensi proporsional spesimen uji tarik.....	20
Gambar 2.8 Kurva tegangan – regangan.....	21
Gambar 2.9 Pantulan sinar pada uji metalografi.....	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Sketsa material plat alumunium 6061	26
Gambar 3.3 Sketsa pembuatan bevel plat alumunium 6061	26
Gambar 3.4 Material alumunium 6061 dengan sudut bevel 60°.....	27
Gambar 3.5 Elektroda 5356	27
Gambar 3.6 Mesin GTAW	28
Gambar 3.7 Stopwatch dan termo gun.....	28
Gambar 3.8 Mesin oxyasetelin	28
Gambar 3.9 Tabung gas Argon	29
Gambar 3.10 Helm las.....	29
Gambar 3.11 Mesin Gerinda.....	29
Gambar 3.12 Proses pemanasan awal	30
Gambar 3.13 Pengukuran suhu dengan termogun	31
Gambar 3.14 Pemanasan awal suhu 80°C	31
Gambar 3.15 Pemanasan awal suhu 100°C	32
Gambar 3.16 Pemanasan awal suhu 120°C	32
Gambar 3.17 Proses pengelasan dengan GTAW	33
Gambar 3.18 Proses Solution treatment dengan suhu 525°C.....	34
Gambar 3.19 Proses quenching menggunakan air	35
Gambar 3.20 Aging treatment pada suhu 180°C	35
Gambar 3.21 Aging treatment pada suhu 260°C.....	36
Gambar 3.22 Spesimen uji Tarik sesuai AWS D1.2.....	36

Gambar 3.23	Spesimen uji tarik.....	37
Gambar 3.24	Spesimen uji makro dan mikro.....	39
Gambar 4.1	Proses pengelasan GTAW.....	41
Gambar 4.2	Hasil pengelasan joint tanpa perlakuan panas.....	42
Gambar 4.3	Hasil pengelasan spesimen 1A.....	43
Gambar 4.4	Hasil pengelasan spesimen 1B.....	44
Gambar 4.5	Hasil pengelasan spesimen 2A.....	45
Gambar 4.6	Hasil pengelasan spesimen 2B.....	46
Gambar 4.7	Hasil pengelasan spesimen 3A.....	47
Gambar 4.8	Hasil pengelasan spesimen 3B.....	48
Gambar 4.9	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada <i>joint</i> NHT.....	49
Gambar 4.10	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada <i>joint</i> 1A.....	49
Gambar 4.11	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada <i>joint</i> 1B.....	50
Gambar 4.12	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada <i>joint</i> 2A.....	50
Gambar 4.13	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada <i>joint</i> 2B.....	50
Gambar 4.14	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada <i>joint</i> 3A.....	51
Gambar 4.15	Hasil Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 3B.....	52
Gambar 4.16	Hasil pengujian tarik pada Spesimen A1.....	53
Gambar 4.17	Hasil pengujian tarik pada Spesimen A1.....	53
Gambar 4.18	Hasil pengujian tarik pada Spesimen A2.....	54
Gambar 4.19	Hasil pengujian tarik pada Spesimen A3.....	55
Gambar 4.20	Hasil pengujian tarik pada Spesimen B1.....	56
Gambar 4.21	Hasil pengujian tarik pada Spesimen B2.....	57
Gambar 4.22	Hasil pengujian tarik pada Spesimen B3.....	58
Gambar 4.23	Grafik pengaruh suhu <i>preheating</i> dan <i>aging</i> 180°C.....	59
Gambar 4.24	Grafik pengaruh suhu <i>preheating</i> dan <i>aging</i> 260°C.....	60
Gambar 4.25	Grafik hasil uji tarik.....	61
Gambar 4.26	Grafik Prosentase peningkatan kekuatan tarik.....	61
Gambar 4.27	Hasil foto makro pada spesimen <i>non-heat treatment</i>	62
Gambar 4.28	Hasil foto makro pada spesimen A1.....	63
Gambar 4.29	Hasil foto makro pada spesimen A2.....	64
Gambar 4.30	Hasil foto makro pada spesimen A3.....	64

Gambar 4.31 Hasil foto makro pada spesimen B1	65
Gambar 4.32 Hasil foto makro pada spesimen A2	65
Gambar 4.33 Hasil foto makro pada spesimen A1	66
Gambar 4.34 Grafik hasil analisa uji makro	68
Gambar 4.35 Struktur mikro spesimen tanpa perlakuan panas	69
Gambar 4.36 Struktur mikro spesimen A1	70
Gambar 4.37 Struktur mikro spesimen A2	71
Gambar 4.38 Struktur mikro spesimen A3	72
Gambar 4.39 Struktur mikro spesimen B1	73
Gambar 4.39 Struktur mikro spesimen B2	74
Gambar 4.41 Struktur mikro spesimen B3	75
Gambar 4.42 Hasil analisa uji struktur mikro	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia AA6061	10
Tabel 2.2 Rekomendasi arus berdasarkan diameter elektroda	18
Tabel 2.3 Rekomendasi filler metal untuk paduan alumunium	18
Tabel 4.1 Parameter pengelasan <i>joint</i> tanpa perlakuan panas	42
Tabel 4.2 Parameter pengelasan <i>joint</i> 1A.....	43
Tabel 4.3 Parameter pengelasan <i>joint</i> 1B.....	44
Tabel 4.4 Parameter pengelasan <i>joint</i> 2A.....	44
Tabel 4.5 Parameter pengelasan <i>joint</i> 2B.....	45
Tabel 4.6 Parameter pengelasan <i>joint</i> 3A.....	46
Tabel 4.7 Parameter pengelasan <i>joint</i> 3B.....	47
Tabel 4.8 Hasil Uji tarik pada spesimen O	52
Tabel 4.9 Hasil Uji tarik pada spesimen A1	53
Tabel 4.10 Hasil Uji tarik pada spesimen A2	54
Tabel 4.11 Hasil Uji tarik pada spesimen A3	55
Tabel 4.12 Hasil Uji tarik pada spesimen B1.....	56
Tabel 4.13 Hasil Uji tarik pada spesimen B2.....	57
Tabel 4.14 Hasil Uji tarik pada spesimen B3.....	57
Tabel 4.15 Hasil pengujian tarik pada setiap spesimen	58
Tabel 4.16 Lebar HAZ pada setiap spesimen	67
Tabel 4.17 Persentase fasa pada setiap spesimen.....	76

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pengolahan logam sudah dikenal sejak zaman dahulu. Pada masa sekarang ini teknologi penyambungan logam yang digunakan adalah pengelasan. Struktur lepas pantai contohnya dalam proses fabrikasinya menggunakan teknik pengelasan untuk menyambungkan komponennya. Menurut Wiryosumarto (2000) bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Banyak jenis material logam yang digunakan dalam pengelasan bangunan lepas pantai, Namun beberapa tahun terakhir industri lepas pantai menjadi semakin tertarik pada penggunaan bahan ringan karena dianggap menawarkan manfaat potensial dalam hal mengurangi berat dan juga biaya fasilitas produksi bangunan lepas pantai. Paduan aluminium khususnya telah menerima banyak perhatian. Paduan aluminium untuk aplikasi struktural memberikan sejumlah keunggulan dibandingkan dengan baja karbon diantaranya kombinasi dari *low density* dan kekuatan sedang. Selain itu, juga memiliki sifat ketahanan korosi yang tinggi mengarah pada pengurangan biaya perawatan dengan menghilangkan pengecatan. Menurut Stannard (1989) dalam penelitiannya bahwa aluminium menawarkan potensi terbesar untuk penghematan berat dan biaya adalah pada area struktur topside.

Paduan aluminium dikelompokkan menjadi 2 yaitu *heat-treatable* dan *non heat-treatable*. Masing-masing material memiliki karakteristik tersendiri dengan perlakuan berbeda (Han *et al*, 2011). Aluminium seri 6000 banyak digunakan untuk industri lepas pantai diantaranya adalah fabrikasi kapal, oil and gass pipe, dan turbin angin lepas pantai. Dalam proses fabrikasi penyambungan Aluminium seri 6000 yang paling sering digunakan adalah proses pengelasan TIG dan MIG. Masalah yang sering dijumpai bila menggunakan metode pengelasan adalah kecenderungan bahan mengalami perubahan dimensi atau distorsi, karena tegangan sisa yang muncul akibat proses pengelasan sehingga akan menurunkan sifat mekanik sambungan las serta dapat menimbulkan potensi *crack*. Menurut Masubuchi (1980) faktor penting yang mempengaruhi tegangan

sisia dan distorsi pada proses pengelasan yaitu siklus termal las, sifat material, ketebalan, dan bentuk las.

Pengaruh paling besar terhadap terjadinya distorsi dan *crack* adalah siklus termal las, hal ini sangat dipengaruhi oleh metode pengelasan, heat input dan kondisi lingkungan. Kah *et al* (2010) melakukan investigasi dari *hot cracking* dari lasan paduan alumunium. Eksperimen tersebut menunjukkan paduan alumunium-magnesium-silikon peka terhadap panas, dan panas yang berlebih dapat membentuk retakan cairan di HAZ. Retakan panas dapat dengan mudah diproduksi jika kondisi pengelasan dan prosedur pengelasan tidak diperhatikan dengan cermat.

Proses *preheating* dilakukan untuk memperlambat laju pendinginan semakin lambat laju pendinginan, akan mengurangi distorsi akibat pengelasan, dan meningkatkan kekuatan antara logam induk dengan lasan, dan menghilangkan kelembaban (Radaj, 1992). Menurut Qin dan Jiang (2018) dalam penelitiannya menjelaskan *preheating* untuk paduan Alumunium *preheat* dilakukan pada temperatur antara suhu 80°C-200°C tergantung pada ketebalan plat dan jenis paduannya. Ma *et al* (2015) mengatakan bahwa proses *preheat* dapat meningkatkan penyebaran lapisan las dengan suhu pemanasan awal yang sesuai.

Ketahanan suatu material terhadap gaya dipengaruhi oleh jumlah presipitat yang terbentuk pada paduan. Presipitasi akan terjadi apabila alumunium dipanaskan pada suhu tertentu dan didinginkan dengan cepat, selanjutnya material dibiarkan pada jangka waktu tertentu dan mengalami penuaan (*Aging*). Hal ini dapat mempengaruhi nilai kekuatan dan kekerasan material.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *preheat* dan aging PWHT terhadap kualitas las yang di tunjukkan dengan nilai uji struktur mikro dan *tensile strength* akan lebih baik dari sebelum diberi perlakuan. Pemanasan dilakukan pada saat sebelum pengelasan perlakuan panas akan mempengaruhi struktur mikro material sehingga diperlukan temperatur yang tepat untuk mendapat kondisi yang terbaik. Pengelasan menggunakan metode GTAW karena metode ini banyak disarankan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu *preheating* dan *aging* PWHT terhadap sifat mekanis berupa *tensile strength* pada *weldjoint* Alumunium seri 6061?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu *preheating* dan *aging* PWHT terhadap sifat mekanis berupa struktur makro dan mikro pada *weldjoint* Alumunium seri 6061?

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan hasil pengaruh variasi suhu *preheating* dan *aging* PWHT terhadap sifat mekanis berupa nilai tensile strength dari *weldjoint* Alumunium seri 6061
2. Mendapatkan hasil pengaruh variasi suhu *preheating* dan *aging* PWHT terhadap sifat mekanis berupa struktur mikro dan makro dari *weldjoint* Alumunium seri 6061

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi ilmu pengetahuan mengenai bidang fabrikasi pengelasan khususnya pada pengelasan material Alumunium seri 6061 menggunakan metode GTAW dengan variasi suhu *preheating* dan *aging* PWHT terhadap struktur mikro, *tensile strength* dan mengetahui suhu *preheating* dan *aging* PWHT yang tepat untuk menghasilkan lasan terbaik.

1.5 Hipotesa Sementara

1. Semakin tinggi suhu *preheat* maka akan memiliki nilai uji tarik semakin besar
2. Semakin tinggi suhu *aging* PWHT maka kekuatan tarik semakin meningkat
3. Semakin tinggi suhu *preheat* dan *aging* PWHT daerah HAZ semakin lebar
4. Semakin tinggi suhu *preheat* dan *aging* akan memiliki stuktur mikro yang baik disebabkan karena pemanasan yang diberikan akan meminimalisir perbedaan suhu antara *base metal* dan *weld metal*
5. Semakin tinggi suhu perlakuan panas fasa Mg_2Si yang terbentuk semakin banyak

1.6 Batasan Masalah

Berikut batasan masalah dan asumsi dari penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah Aluminium seri 6061
2. Pengelasan menggunakan las GTAW
3. Posisi pengelasan yang digunakan 1G
4. Bentuk groove single V
5. Dimensi material yang digunakan 300 mm x 150 mm x 6 mm
6. Jenis elektrode yang digunakan ER 5356
7. Variasi suhu *preheating* yang digunakan adalah 80°C, 100°C dan 120°C
8. Variasi suhu *aging* PWHT yang digunakan adalah 180 °C dan 260°C
9. *Holding time* dari *aging treatments* 4 jam
10. Pengelasan dilakukan berdasarkan WPS
11. Parameter pengujian yang dilakukan adalah *radiography test*, *Tensile Test*, dan *Metalography test* (Struktur makro dan mikro).
12. Uji tarik dilakukan 3 kali
13. Uji makro dan mikro dilakukan 1 kali

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari tugas akhir ini adalah

- Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini menjelaskan tentang hal apa saja yang melatar belakangi penelitian ini dilakukan, permasalahan apa saja yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dari penelitian ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematikan penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

- Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam rumus dan persamaan, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

- Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menguraikan tentang tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

- Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Juga dilakukan validasi, analisis, dan pembahasan data hasil dari *outputi* eksperimen.

- Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari tugasakhir, hasil dari analisis, serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian selanjutnya. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan pada Bab I.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Saat ini logam aluminium telah digunakan secara luas, dalam *offshore* banyak digunakan pada *heli deck*, *living quarter* hingga turbin lepas pantai. Struktural lepas pantai pada umumnya disusun menggunakan teknik pengelasan, pengelasan paduan aluminium diketahui sulit. Pengerjaan panas seperti proses pengelasan memberikan pengaruh terhadap laju korosi dan menghasilkan penurunan kekuatan di dekat *Heat Affected Zone* (HAZ) pada material aluminium (Hilty, 2014). Proses yang paling umum untuk pengelasan paduan aluminium adalah Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).

Buchbinder *et al* (2014) dalam penelitiannya tentang mengurangi distorsi dengan *preheating* pada paduan aluminium Al-Si-Mg. Pengambilan temperatur *preheating* adalah pada suhu 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, dan tanpa *preheating*. Hasil penelitian ini menunjukkan material tanpa *preheating* menunjukkan kerusakan pada 12 posisi, keretakan nampak walau hanya diamati secara makroskopik. Sedangkan pada material dengan perlakuan pemanasan awal, didapat semakin tinggi suhu pemanasan awal tidak terdapat distorsi. Suhu pemanasan awal yang paling cocok untuk menghilangkan distorsi adalah 250°C.

Penelitian tentang pengaruh suhu *preheating* pada pengelasan aluminium juga dilakukan oleh Qin dan Jiang (2018) pengelasan menggunakan metode *cold metal transfer* (CMT) material yang digunakan adalah aluminium seri 7075. Penelitian ini membandingkan material tanpa dipanaskan awal dengan material diberi perlakuan panas awal dengan variasi suhu 100°C dan 200°C. Beban tarik material tanpa pemanasan mula dan pemanasan awal dengan temperatur 100°C masing-masing sebesar 8580 N dan 9730 N. Sedangkan ketika material dipanaskan pada suhu 200°C beban tarik menurun hingga 5636 N.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Hong Ma *et al* (2015) tentang efek dari *preheat treatment* terhadap evolusi dari mikrostruktur dari sambungan aluminium 5052 dengan baja menggunakan *friction stir welding*. Material

di preheat pada suhu 100°C dan 200°C. Didapat hasil semakin tinggi suhu *preheat* menunjukkan meningkatkan penampilan pada *weld joint* karena pada sambungan terlihat semakin halus, selain itu *preheat* juga meminimalisir cacat las. Material yang dipanaskan 100°C memiliki *tensile strength* lebih besar, sedangkan pada suhu 200°C terdapat retakan pada sambungan las.

Penelitian sejenis juga dilakukan terhadap alumunium seri 2219 yang termasuk *heat-treatable*. Lin *et al* (2016) melakukan perbedaan eksperimen efek dari *pre* dan *post weld heat treatment* terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur menggunakan metode las *Tungsten Inert Gas* (TIG). Disimpulkan bahwa *Preheating* dapat melepas over aging pada daerah HAZ dengan mengurangi fase θ (Al₂Cu).

Selanjutnya Ridhwan (2014) melakukan penelitian efek dari *heat treatment* pada mikrostruktur dan sifat mekanis dari alumunium seri 6061. Penelitian tersebut menyimpulkan material diberikan perlakuan aging dengan suhu 100°C dengan *holding time* selama 7 jam berhasil meningkatkan *ultimate tensile strength* sebesar 95,9% mencapai 625 Mpa. Sedangkan *aging* dengan suhu 200°C dengan *holding time* 7 jam, setelah 2 jam kekuatan mulai turun dikarenakan material dipanaskan terlalu lama (*over aging*).

Zheng *et al* (2016) melakukan penelitian tentang efek dari *heat treatment* terhadap ketahanan korosi dari paduan alumunium dengan mencampurkan larutan NaCl 3,5%. Eksperimen ini memberikan 3 variasi perlakuan panas yaitu: *solution treatment* dengan rentan suhu 440°C-560°C dengan *holding time* selama satu jam, *single stage aging* dengan suhu 170°C, dan *dual stage aging*: pertama ditahan pada suhu 170°C selama 2 jam dan aging kedua ditahan pada variasi suhu 190°C-250°C selama 2 jam. Hasil penelitian didapat *solution treatment* dan *dual stage aging* memiliki ketahanan korosi lebih baik dari pada *single stage aging*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Alumunium

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan massa jenisnya 1/3 dari baja atau tembaga, mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Aluminium terdiri dari beberapa kelompok yang dibedakan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula paduan aluminium, berdasarkan *Aluminium Association* (AA) klasifikasi aluminium dibagi menjadi tujuh berdasarkan elemen paduan utamanya yaitu : Al murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si, dan Al-Zn (Hatch , 1984).

Selain jenis-jenis aluminium paduan diatas, aluminium memiliki kelas atau grade yang tergantung pada unsur paduan dan perlakuan panas yang dilakukan terhadap paduan aluminium tersebut. *Grade* (kelas) dari aluminium dapat menunjukkan berbagai sifat mekanik dari aluminium Berikut adalah aluminium paduan yang sesuai dengan grade yang dimiliki setiap paduan aluminium (Subagyo, 2017):

1) *Grade* Al-murni (seri 1000)

Alumunium dengan kemurnian 99,0% dan 99,5% memiliki sifat tahan korosi, konduksi panas dan listrik juga memiliki kemampuan las yang memuaskan. Kekurangannya adalah kekuatannya rendah.

2) *Grade* Al-Cu (seri 2000)

Paduan aluminium-tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat dimana sifat mekaniknya hampir menyamai baja lunak, Namun rapuh karena daya tahan korosi rendah. Sifat mampu lasnya yang kurang baik

3) *Grade* Al-Mn (seri 3000)

Penambahan mangan akan berefek pada logam paduan dengan kekuatan tensil yang tinggi namun tidak terlalu rapuh. Seri ini tidak dapat diberi perlakuan panas untuk menaikkan kekuatannya hanya bisa menggunakan pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya

4) *Grade* Al-Si (seri 4000)

Paduan aluminium dengan silikon hingga 15% akan memberikan kekerasan dan kekuatan tensil yang cukup besar. Penambahan silicon dalam

jumlah yang cukup dapat menurunkan titik lebur, Sehingga paduan aluminium-silikon sering digunakan untuk bahan kawat las untuk penggabungan paduan aluminium

5) *Grade* Al-Mg (seri 5000)

Unsur paduan utama grade aluminium ini adalah magnesium paduan jenis ini termasuk yang tidak bisa mendapat perlakuan panas. Memiliki karakter pengelasan yang baik dan tahan korosi pada lingkungan air laut

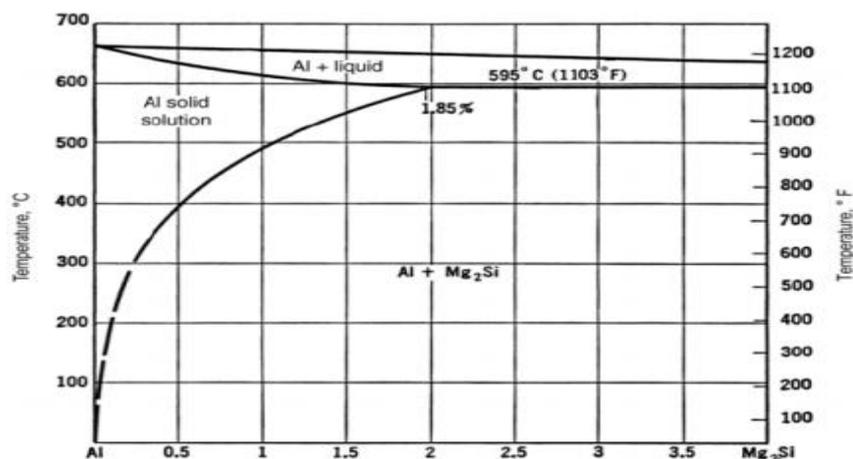
6) *Grade* Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan aluminium dalam seri 6000 mengandung silikon dan magnesium paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las , mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

7) *Grade* Al-Zn (seri 7000)

Zinc jumlah dari 1% sampai 8%) merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7000. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil. Paduan ini memiliki kekuatan paling tinggi, namun memiliki sifat mampu las dan daya tahan korosi yang buruk.

2.2.2 Aluminium 6061



Gambar 2.1 Diagram fasa paduan aluminium Al-Mg₂Si (Amado, 2015)

Paduan aluminium seri 6061 mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan sebesar 1,73:1 untuk pembentukan magnesium silisida (Mg₂Si), sehingga membuat paduan ini memiliki

mampu diberi perlakuan panas (Meng, 2010) diagram fasa paduan ini dapat dilihat pada Gambar 2.1. Menurut Khoirufik (2015) aluminium seri 6061, penambahan sedikit Mg pada Al akan menyebabkan pengerasan penuaan sangat jarang terjadi, namun apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat diperkeras dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. Hal ini dikarenakan senyawa Mg_2Si berkelakuan sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Paduan dalam sistem ini memiliki kekuatan yang lebih kecil dibanding paduan lainnya yang digunakan sebagai bahan tempaan, tetapi sangat liat, sangat baik kemampuan bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Aplikasi penggunaan Aluminium seri 6061 banyak digunakan pada *offshore drill pipe*, *living quarter*, dan *heli deck*. Karena memiliki kekuatan yang tinggi, ringan, serta tahan terhadap korosi. Berikut komposisi kimia dari AA6061 :

Tabel 2.1 Komposisi kimia AA6061

<i>Element</i>	<i>Percent Weight</i>
Silikon	0,4-0,81
Besi	Max 0,7
Tembaga	0,15-0,4
Mangan	Max 0,15
Magnesium	0,8-1,2
Krom	0,04-0,35
Zinc	Max 0,25
Titanium	Max 0,15
Aluminium	Balance

2.2.3 Crack

Retak merupakan salah satu jenis dari cacat las. Retak merupakan putusnya material Retak adalah salah satu dari beberapa jenis cacat las. Retak merupakan putusnya benda kerja akibat tegangan. Retakan sering terjadi pada lasan maupun bagian material yang dekat dengan lasan. Retakan dibagi dalam tiga jenis yakni: retakan panas, retakan dingin, dan macrofissure.

2.2.3.1 Hot crack

Menurut Kou (2003) *hot crack* terbagi menjadi 2 yaitu *Solidification cracking* yang terjadi pada weld metal dan *liquation cracking* yang terjadi pada daerah HAZ.

a. *Liquation cracking*

Paduan aluminium sangat rentan terhadap *liquation cracking* disebabkan oleh lebarnya range temperature pendinginan dan tingginya teral konduktivitasnya, besarnya penyusutan, dan besarnya koefisien termal ekspansinya. *Liquation crack* biasa terjadi pada daerah butir kasar HAZ didekat sekitar dari *fusion line*. Untuk mengurangi *hot crack* pada aluminium dapat dilakukan proses *preheating* sesuai dengan AWS D1.2 *Preheating* dapat membantu mengurangi *hot cracking* dengan cara mengurangi *cooling rate* nya dan merubah *material properties*nya

b. *Solidification cracking*

Faktor metalurgi yang mempengaruhi kerentanan pada weld metal terhadap *solidification cracking* yaitu kisaran suhu solidifikasi, jumlah dan distribusi cairan pada tahap akhir dari solidifikasi.

2.2.4 Preheating

Definisi *preheat* menurut AWS (*American Welding Society*) adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas untuk mendapatkan dan memelihara *preheat temperature*. Sedangkan *preheat temperature* sendiri definisinya adalah suhu dari logam induk (*base metal*) disekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan itu dimulai. Menurut Yasfi (2018) *preheating* bisa saja menggunakan *gas burner*, *oxy-gas flame*, *electric blanket*, pemanasan induksi, atau pemanasan di *furnace*. Pemanasan disekitar area pengelasan diusahakan merata untuk mendapatkan hasil yang bagus. Pemanasan yang

berlebihan atau tidak merata dapat menyebabkan tegangan sisa yang tinggi, distorsi, atau perubahan metalurgi yang tidak diinginkan pada logam induk. Penelitian dari Sharma *et al* (2013):menjelaskan terdapat empat alasan utama untuk memanfaatkan 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 retak
3. Mengurangi tegangan sisa dalam logam las dan pada daerah HAZ
4. Mengurangi resiko patah getas dan meningkatkan ketangguhan logam las

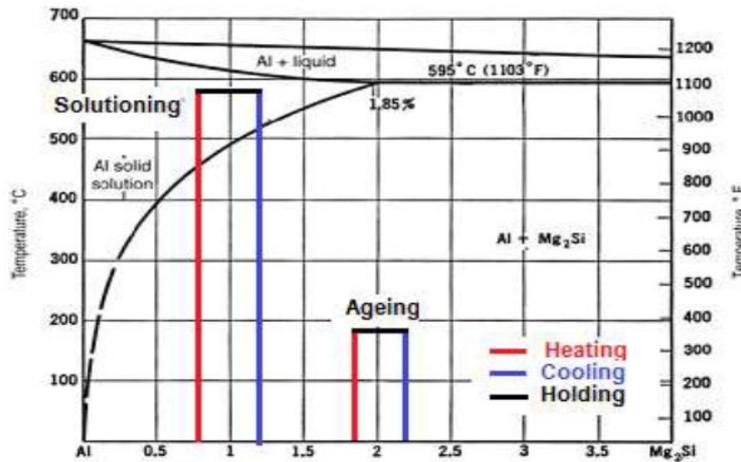
Laju pendinginan setelah pengelasan dipengaruhi oleh besarnya temperatur *preheat*, dimana semakin tinggi temperatur menyebabkan pendinginan semakin lama dan kekerasan mikrostruktur menjadi lebih rendah.

2.2.5 Heat Treatments

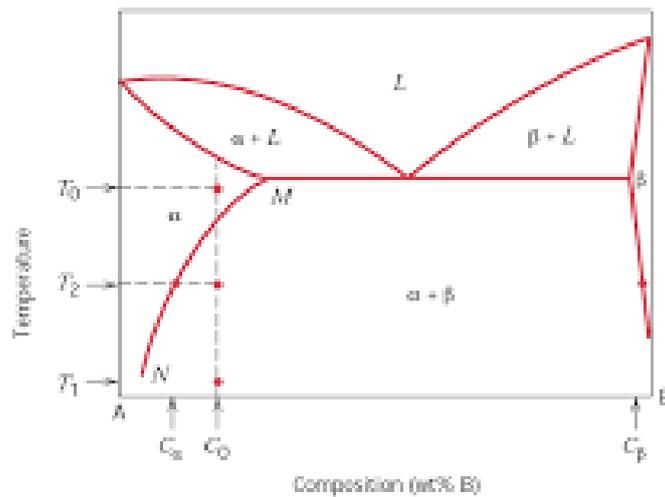
Alumunium seri 6xxx mengandung paduan Mg dan Si yang membuat alumunium ini *heat treatable* sehingga untuk meningkatkan kekuatan alumunium terutama seri 6061 adalah dengan cara memberi perlakuan panas (Khrisna, 2017). Perlakuan panas yang diberikan memiliki 2 tahap yaitu *solution treatment* dan *aging treatment*. Berikut ini merupakan tahap dari perlakuan panas :

1. Tahap Perlakuan Panas Pelarutan (*Solution Heat Treatment*) Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550°C-560°C dan dilakukan penahanan atau holding sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (Schonmetz, 1990). pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen. Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam Gambar 2.3 dimana logam paduan alumunium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur T1. Pada temperatur T1 fase logam paduan alumunium akan berupa

kristal campuran α dalam larutan padat. Pada temperatur T1 pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen (Setyawan *et al*, 2014)



Gambar 2.2 Skema *heat treatment* dari paduan Al-Mg₂Si (Onat, 2015)



Gambar 2.3 Diagram fasa pemansan logam paduan (Abdillah, 2010)

2. Tahap Pengejutan Pendinginan (*Quenching*) *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (540°C) ke temperature yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super*

Saturated Solid Solution) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses quenching tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk Zona-Guinier-Preston (Zona GP). Zona Guinier-Preston (Zona GP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat agregasi atom padat atau pengelompokan atom padat. (Surdia dan Saito, 1992).

3. Tahap Penuaan (Aging).

Berdasarkan temperatur, proses penuaan dibagi menjadi dua bagian, yaitu penuaan buatan (*artificial aging*) dan penuaan alami (*natural aging*). Penuaan buatan yaitu proses penuaan dimana dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi daripada temperatur kamar sehingga terjadi endapan lebih cepat. Sedangkan penuaan alami, yaitu proses penuaan dimana dilakukan pada temperatur kamar. Berikut penjelasan dari keduanya

a. *Natural aging*

Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium di age hardening dalam keadaan dingin. Natural aging berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari (Setyawan *et al*, 2014).

b. *Artificial Aging*

Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di age hardening dalam keadaan panas. Artificial aging berlangsung pada temperatur antara 100°C - 300°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam (Setyawan *et al*, 2014)

Menurut Temmar *et al* (2011) berikut tahapan dari fasa *artificial aging* :

- a. Larutan Padat Lewat Jenuh (Super Saturated Solid Solution α) setelah paduan melalui solution treatment dan quenching maka akan didapatkan paduan padat lewat jenuh dengan temperature kamar. Setelah dilakukan pendinginan atau quenching aluminium cenderung menjadi lunak.
- b. Zona Guinier-Preston 1 (Zona GP1) adalah zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau aging yang rendah dan dibentuk oleh

segregasi atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau super saturated solid solution α akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses artificial aging. Terbentuknya Zona (GP 1) akan mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan aluminium

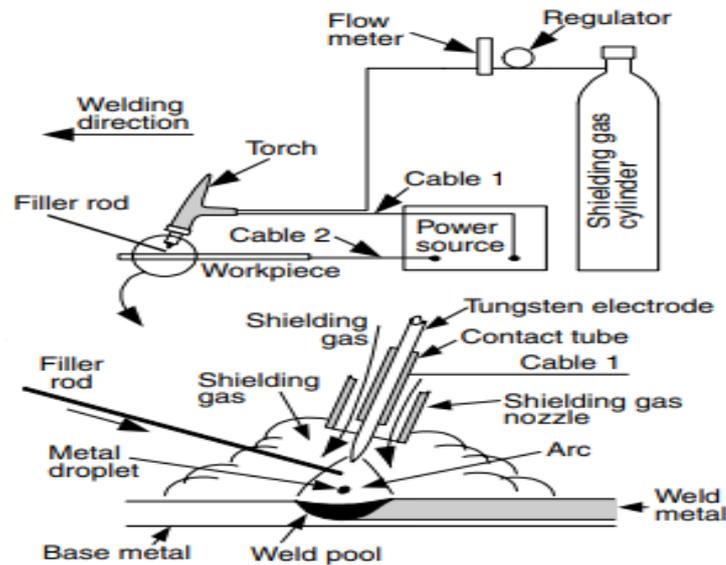
- c. Zona (GP 2) atau Fasa θ'' yaitu Setelah temperatur artificial aging melewati 100°C ke atas, maka akan mulai muncul fasa θ'' apabila waktu penahanan dan suhu artificial agingnya terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan yang optimal karena setelah melewati zona (GP 2) maka paduan akan kembali menjadi lunak
- d. Fasa θ' yaitu ketika paduan aluminium dinaikan temperatur aging atau waktu aging diperpanjang tetapi temperturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa θ' . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa θ' . Terbentuknya fasa θ' ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekuatan pada paduan aluminium.
- e. Fasa θ apabila temperatur dinaikan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa θ' berubah menjadi fasa θ . Jika fasa θ terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak

Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap artificial aging sangat mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa paduan aluminium. Sehingga pemilihan suhu artificial aging harus dilakukan dengan hati-hati. Pada aluminium 6061 durasi waktu penahanan yang sesuai adalah 2-6 jam (Tan *et al*, 2009). Menurut penelitian Saefuloh *et al* (2018) waktu penahanan paling optimal adalah 4 jam, karena didapatkan kekuatan tertinggi ada pada perlakuan aging dengan waktu penahanan 4 jam, setelah melewati 4 jam kekuatan material mengalami penurunan.

2.2.6 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. Skema pengelasan GTAW/TIG dapat dilihat pada Gambar 2.3.

GTAW sering digunakan untuk proses pengelasan stainless steel, titanium, aluminium, magnesium, tembaga, kuningan, dan perunggu

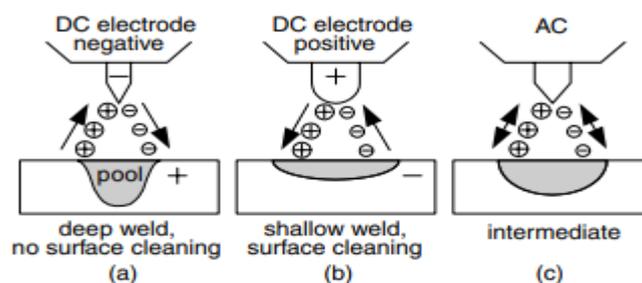


Gambar 2.4 Skema Pengelasan metode GTAW (Mathers, 2002)

Pengelasan TIG/GTAW banyak dipilih dikarenakan memiliki keuntungan sebagai berikut :

1. Hasil pengelasan tidak perlu dibersihkan karena tidak menghasilkan slag.
2. Aliran gas menjadikan daerah dis ekitar cairan logam tidak mengandung udara sehingga mencegah pengotoran oleh nitrogen dan oksigen yang dapat menyebabkan oksidasi.
3. Hasil lasan lebih kuat karena dapat penetrasi yang dalam dan ketahanan korosi lebih tinggi.
4. Jarang terjadi deformasi karena pusat panas sangat kecil.
5. Tidak menghasilkan spater atau percikan las sehingga lasan lebih bersih

2.2.6.1 Polaritas GTAW



Gambar 2.5 Jenis *polarity* dari GTAW (Kou, 2003)

Seperti pada proses pengelasan yang memakai busur (*arch welding*) lainnya, polarisasi GTAW dibagi menjadi tiga (Kou, 2003), yaitu:

- **DCEN (Direct – Current Electrode Negative)**

DCEN sering pula disebut DCSP (Direct – Current Straight Polarity) dimana elektrode dihubungkan pada kutub negative pada *power supply*. Pada ilustrasi gambar 2. dapat terlihat elektron bergerak dari elektrode menumbuk logam induk dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat menghasilkan penetrasi. Pada pengelasan GTAW dengan polaritas DCEN menghasilkan 2/3 panas berada pada logam las, sedangkan 1/3 panas terdapat pada elektrode, sehingga hasil pengelasan relatif sempit dan memiliki penetrasi dalam.

- **DCEP (Direct - Current Electrode Positive)**

DCEP sering pula disebut DCRP (Direct – Current Reverse Polarity) dimana elektrode dihubungkan pada kutub positif *power supply*. Pada ilustrasi gambar 2.4 dapat terlihat bahwa pada pengelasan GTAW elektron bergerak menuju elektrode. Pada penggunaan jenis polaritas DCEP terdapat mekanisme *cleaning*, dimana ion positif dari gas pelindung melindungi logam las, sehingga menghasilkan permukaan pengelasan yang bersih serta melindungi logam las dari korosi. Pengelasan GTAW dengan polaritas DCRP menghasilkan 2/3 panas berada pada elektrode, sedangkan 1/3 panas terdapat pada logam las, sehingga hasil pengelasan relatif lebar dan memiliki penetrasi yang dangkal.

- **AC (Alternating Current)**

Penggunaan polaritas AC pada GTAW sama dengan penggunaan polaritas DCEP dan DCEN secara bergantian Hasil pengelasan dengan polaritas AC memiliki penetrasi yang cukup baik.

2.2.7 Pengelasan Aluminium dengan GTAW

Dengan cara pengelasan GTAW lapisan oksida yang terjadi pada permukaan logam aluminium, yang juga menjadi masalah pengelasan, dipecah dan dibersihkan oleh busur listrik yang digunakan. Karena selama pengelasan terlindung oleh gas mulia maka permukaannya bersih dan menyebabkan terbentuknya sifat-sifat yang menguntungkan (Wirjosumarto, 2000).

Terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk pengelasan metode GTAW. Logam pengisi harus sejenis dengan logam induk, pada Tabel 2.3 menunjukkan rekomendasi elektroda berdasarkan AWS D1.2. Dalam pengelasan GTAW untuk alumunium gas mulia yang bisa digunakan adalah Argon. Untuk menghindari cacat las kebersihan elektroda harus terjaga, jika terjadi porositas kemungkinan disebabkan oleh kelembaban yang terserap akibat oksidasi coating kawat elektroda. Selain itu ketidak sesuaian arus juga bias menjadi penyebab cacat las. Tabel 2.2 menunjukkan arus yang direkomendasikan berdasarkan diameter elektroda.

Tabel 2.2 Rekomendasi arus berdasarkan diameter elektroda (Mathers, 2002)

Tungsten electrode diameter (mm)	Current (A)
1	20-50
1.6	50-80
2.4	80-150
3.2	150-225
4	225-330
5	330-400
6.4	400-550

Tabel 2.3 Rekomendasi *filler metal* untuk paduan alumunium (AWS D1.2)

Base Metal to Base Metal	1060, 1100, 3003, Alclad 3003	2219, A201.0	3004, Alclad 3004	5005, 5050	5052	5083, 5456	5086, 514.0, 535.0	5154, 5254	5454	6005, 6005A, 6061, Alclad 6061, 6063, 6082, 6351	7005	354.0, C355.0	356.0, 6005, 6005A, 6061, Alclad 6061, 6063, 6082, 6351	356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 359.0, 443.0, A444.0
356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 359.0, 443.0, A444.0	4043	4145	4043	4043	4043	5356	5356	4043	4043	4043	4043	4145	4043	4043
354.0, C355.0	4145	4145	4145	4145	4043	NR	NR	NR	4043	4145	4145	4145		
7005	5356	4145	5356	5356	5356	5556	5356	5356	5356	5356	5356			
6005, 6005A, 6061, Alclad 6061, 6063, 6082, 6351	4043	4145	5356	4043, 5356	4043, 5356	5356	5356	5356	5356	4043, 5356				
5454	4043	4043	5356	5356	5356	5356	5356	5356	5554					
5154, 5254	4043	NR	5356	5356	5356	5356	5356	5356						
5086, 514.0, 535.0	5356	NR	5356	5356	5356	5356	5356							
5083, 5456	5356	NR	5356	5356	5356		5183, 5556 ^a							
5052	4043	4043	4043	4043, 5356	5356									
5005, 5050	4043	4145	4043	4043, 5356										
3004, Alclad 3004	4043	4145	4043											
2219, A201.0	4145	2319												
1060, 1100, 3003, Alclad 3003	1100													

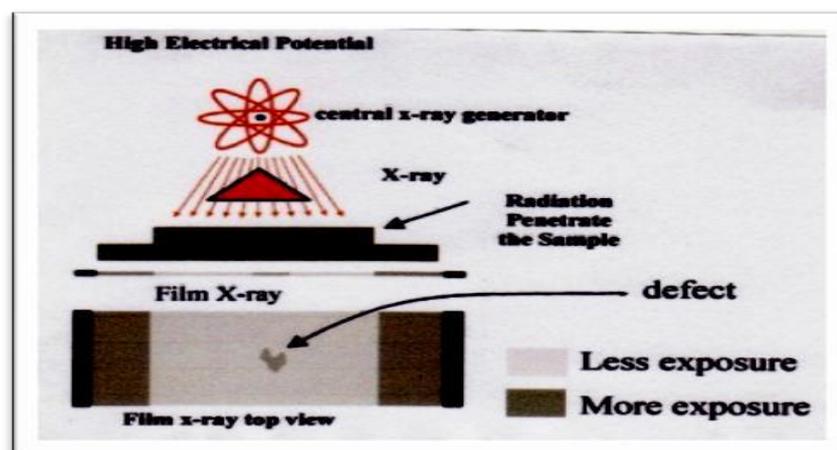
^a 5556 is recommended for welding 5456 to itself.

2.2.8 Pengujian Non-Destructive Test Radiography

Non destructive test (NDT) adalah metode pengujian material dimana proses pengujian tidak merusak material atau spesimen uji. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kerusakan pada material seperti retak dan cacat pada hasil pengelasan. Menurut *RINA Rules 2017 Part D, Materials and Welding* pada konstruksi bangunan apung, sebelum menguji sifat mekanik dan material atau hasil las *Non-Destructive Test* wajib untuk dilakukan

2.2.8.1 Radiography Test

Metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif (Palgunandhi, 2017). Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film. Kepadatan rendah seperti retak atau porositas akan muncul sebagai daerah gelap pada film, sedangkan kepadatan tinggi akan muncul sebagai daerah terang seperti pada Gambar 2.5 hasil rekaman pada film ini lah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat. Pengujian *radiography* merujuk pada *ASME section IX : welding, brazing, and fusing qualification*



Gambar 2.6 Ilustrasi radiography test (Nafrizal *et al*, 2011)

Kelebihan radiografi:

- Persiapan pengujian yang relatif mudah
- Dapat mendeteksi cacat pada permukaan dan dibawah permukaan

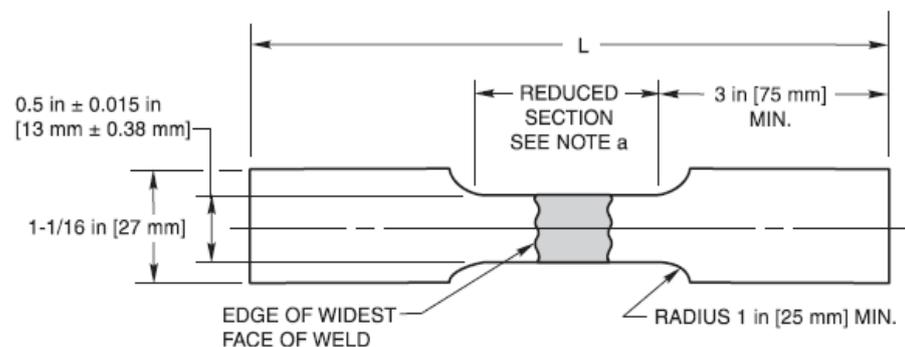
- Dapat diaplikasikan untuk segala jenis material
- Dapat diaplikasikan untuk bentuk yang rumit dan struktur yang berlapis tanpa harus membongkar struktur tersebut

Kekurangan radiografi:

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

2.2.9 Uji Tarik

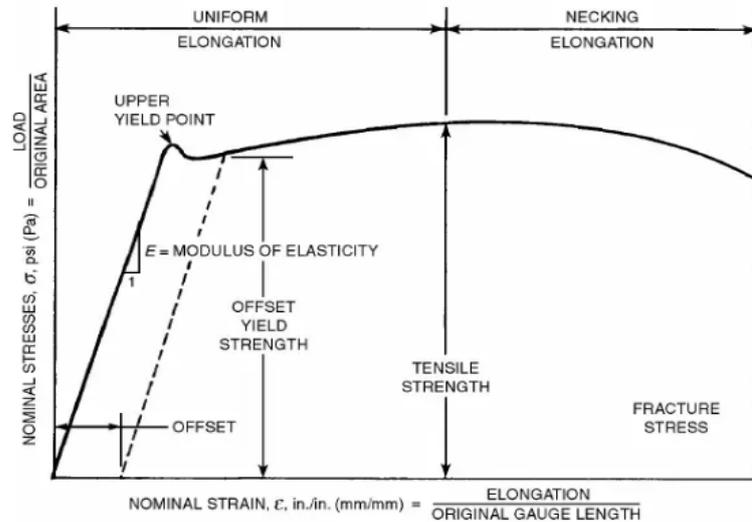
Uji sifat mekanik berupa destructive test yang paling populer dilakukan adalah uji tarik (*tensile test*). Jenis pengujian ini dilakukan dengan pembebanan uniaxial secara perlahan lahan searah dengan sumbu simetri benda uji pada kecepatan rendah hingga benda uji mengalami putus/patah. Kekuatan tarik (*stress*) benda uji dihitung berdasarkan kepada kurva hasil uji tarik yang telah diolah menjadi kurva tegangan- regangan (Nafrizal *et al*, 2011). Proses pembuatan spesimen uji harus sesuai dengan standar yang diinginkan seperti pada Gambar 2.6 . Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan pengukuran parameter yang menjadi acuan selama pengujian



Gambar 2.7 Dimensi proporsional spesimen uji tarik (AWS D1.2)

Hasil pengujian tarik digambarkan pada sebuah diagram tegangan-regangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8. Diagram ini menunjukkan deformasi yang terjadi pada meterial yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah ketika material diberi suatu beban (ditarik) lalu beban dihilangkan akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan deformasi

plastis terjadi jika setelah beban dihilangkan material tidak kembali pada bentuk semula



Gambar 2.8 Kurva tegangan – regangan (AWS *Welding Handbook* volume 1-9th Edition, 2001)

Rumus perhitungan untuk mendapatkan sifat mekanis dari material setelah dilakukan uji tarik adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{ultimate} = \frac{F_{ultimate}}{A} \text{ N/mm}^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\sigma_{yield} = \frac{F_{yield}}{A} \text{ N/mm}^2 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan,

A : Luas penampang awal (mm²)

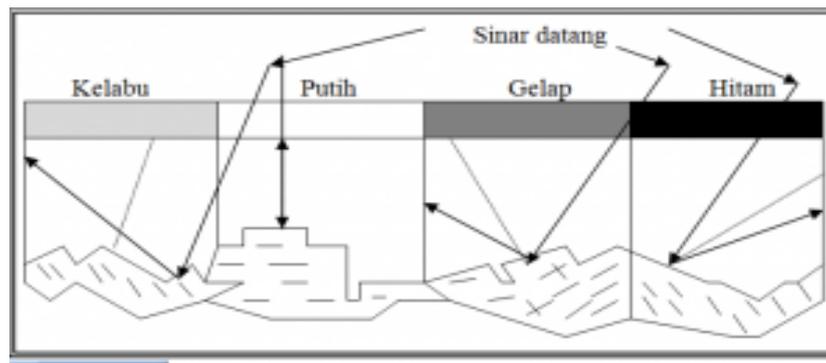
$F_{ultimate}$: Maximum load (N)

F_{yield} : Yield load (N)

2.2.10 Metallography Test

Uji metalografi adalah suatu metoda pengamatan atau obeservasi untuk mengetahui hubungan antara struktur dengan sifat dan perlakuan yang dialami oleh logam. Observasi struktur kristal bisa dengan menggunakan teknik x-ray difraksi, namun yang paling sering digunakan adalah mikroskop optik dengan perbesaran 50-100 kali. Pada dasarnya prinsip kerja uji metalografi menggunakan mikroskop adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila

seberkas sinar di kenakan pada permukaan spesimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar Tabel 4 1. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang (putih) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut. Gambar 3 1



Gambar 2.9 Pantulan sinar pada uji metalografi (Asaroni, 2019)

Pengamatan metalografi dengan mikroskop dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Metalografi makro, Pengujian makro (makroscope test) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan perbesaran 10-100kali dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Pada daerah pengelasan uji makro digunakan untuk melihat daerah fusion line, HAZ, dan weld metal.
2. Metalografi mikro, Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran 100-500 kali dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Untuk melakukan pengujian mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro suatu bahan, terdapat

beberapa tahap persiapan yang harus dilakukan sebelum uji metalografi struktu mikro agar permukaan logam dapat diamati yaitu :

- *Sectioning spesimen*

Pengambilan sebagian sampel representatif untuk dianalisis, diharapkan spesimen dalam keadaan datar agar mempermudah proses pengamatan

- *Mounting spesimen*

Mounting yaitu pelapisan sampel logam dengan zat organik, proses ini hanya untuk material berukuran kecil

- *Grinding dan Polishing*

Grinding dilakukan untuk meratakan permukaan sampel dengan menggunakan bahan abrasif. Untuk menghindari pengaruh temperatur gesekan maka *grinding* dilakukan dalam keadaan basah. *Polishing* adalah pemolesan tahap akhir menggunakan mesin polishing.

- *Etching (Etsa)*

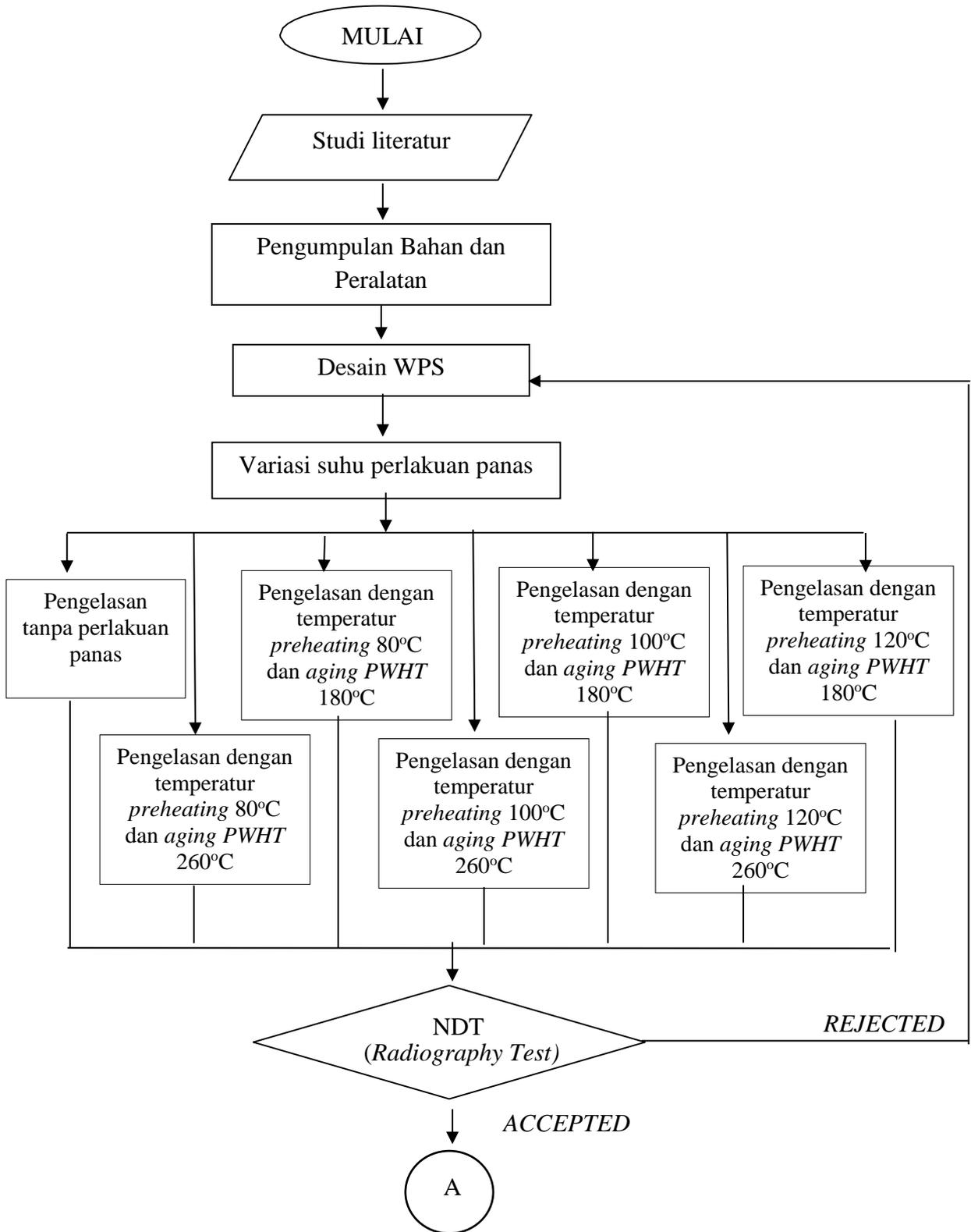
Proses *etching* adalah pembentukan lapisan oksida pada logam dengan cara mereaksikan atau mengkorosikan logam aluminium menggunakan oksigen (O_2) yang diambil dari larutan elektrolit sebagai media sehingga terbentuk lapisan oksida. Pada proses pelaksanaannya *etching* dilakukan dengan mencelukan spesimen kedalam cairan etsa dimana setiap logam memiliki cairan etsa (*etching reagent*) sendiri.

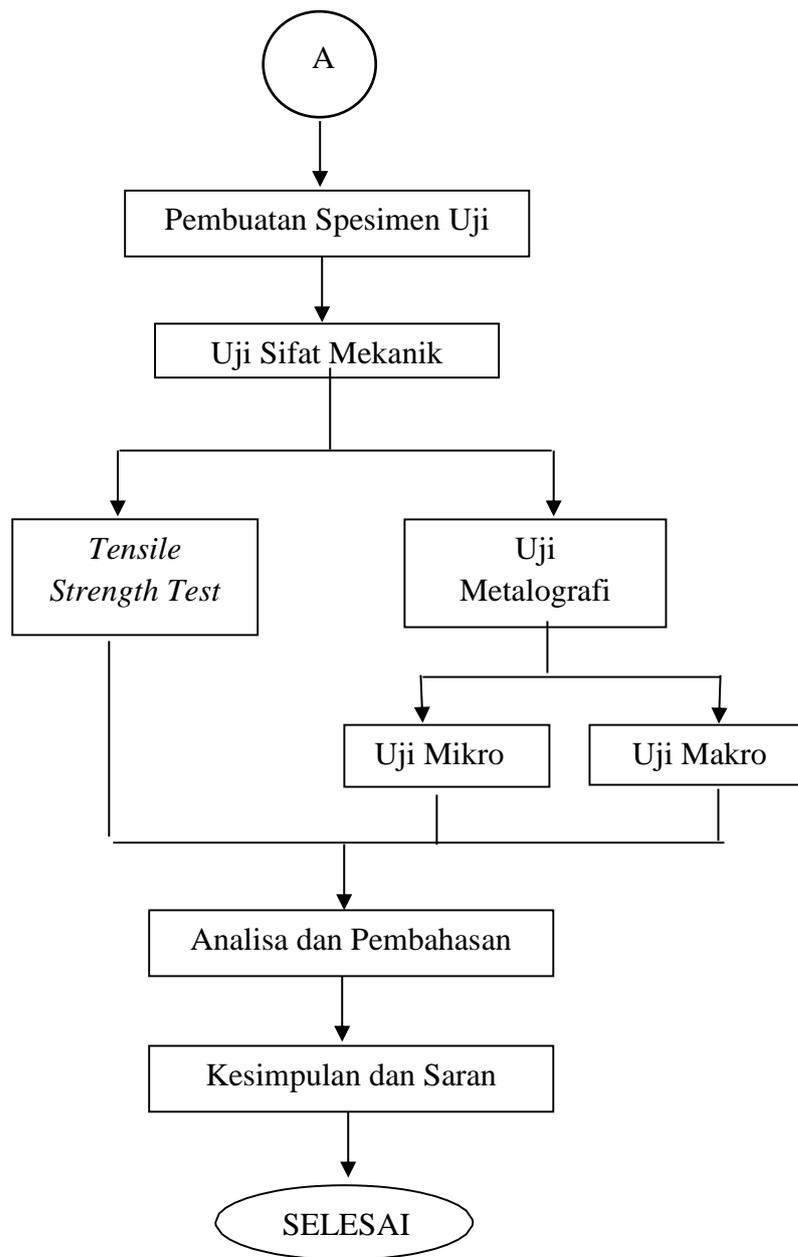
- *Cleaning dan Drying*

Pembersihan pembersihan logam setelah atau sebelum dietsa dari reagent kimia, dianjurkan setiap tahap selalu dilakukan pencucian terhadap permukaan logam. Tahap akhir adalah pengeringan sampel permukaan logam harus benar-benar kering agar menghindari interpretasi yang salah. Setelah spesimen bersih dan kering maka spesimen siap untuk diamati dibawah mikroskop.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

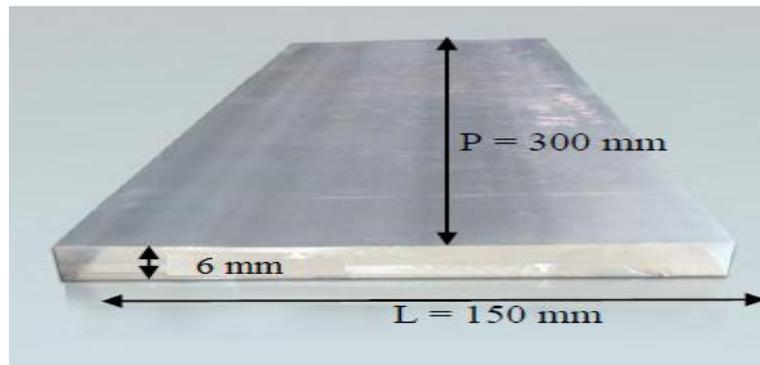
3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan mencari, mempelajari, serta memahami jurnal, buku-buku, dan laporan tugas akhir alumni baik dari institusi sendiri maupun dari institusi lain yang berkaitan dengan rumusan masalah, dasar teori dari data-data yang digunakan dalam proposal tugas akhir ini. Literatur-literatur tersebut juga digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini

3.2.2 Pengumpulan Bahan dan Peralatan

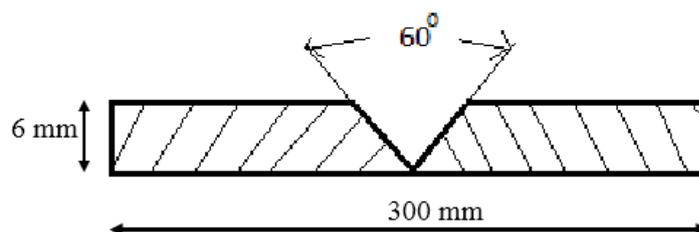
A. Persiapan material

- Material yang digunakan dalam penelitian ini aluminium seri 6061 dengan dimensi ketebalan 6 mm, 150 mm, dan lebar 300 mm seperti pada **Gambar 3.2** sebanyak 12 buah



Gambar 3.2 Sketsa material plat aluminium 6061

- Membentuk kumpang *single-v* dengan sudut 60° dapat dilihat pada Gambar 3.3. dan Gambar 3.4



Gambar 3. 3 Sketsa pembuatan bevel plat aluminium 6061



Gambar 3. 4 Material aluminium 6061 dengan sudut bevel 60°

- Proses pengelasan menggunakan *Gas Tungsten Arc Welding* menggunakan elektroda tipe ER5356 dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Elektroda 5356

B. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam eskperimen ini adalah :

1. Mesin las GTAW



Gambar 3. 6 Mesin GTAW

2. Stopwatch dan termo gun



Gambar 3. 7 Stopwatch dan termo gun

3. Mesin oxyasetelin



Gambar 3. 8 Mesin oxyasetelin

4. Tabung gas argon



Gambar 3.9 Tabung gas Argon

5. Helm las



Gambar 3.10 Helm las

6. Mesin gerinda



Gambar 3.11 Mesin Gerinda

7. Penjepit besi

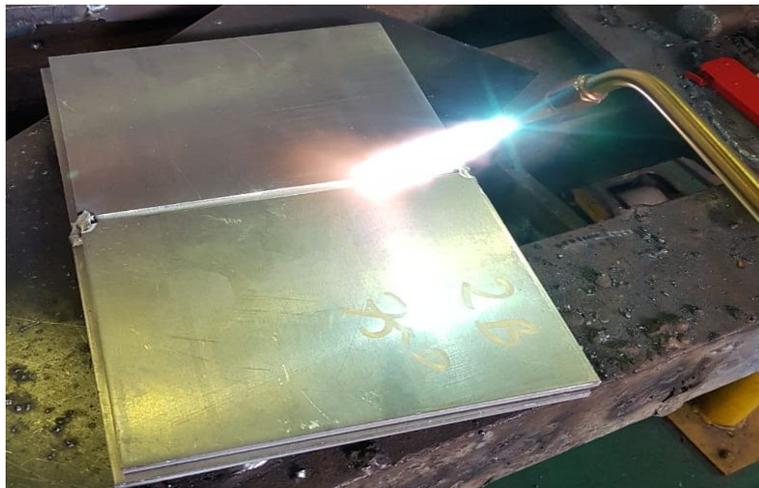
3.2.3 Prosedur Pengelasan

Setelah dilakukan persiapan material dan peralatan uji maka bias dilakukan proses pengelasan. Pada penelitian tugas akhir ini sebelum dilakukan proses pengelasan masing-masing spesimen akan diberi perlakuan *preheating* dengan variasi temperatur 80°C, 100 °C, dan 120 °C. Perlakuan panas *aging Post Weld Heat Treatment (PWHT)* dengan variasi temperatur 180 °C dan 260 °C. Proses pengelasan pada tugas akhir ini mengacu AWS D1.2

3.2.3.1 Proses *Preheating*

Preheating dilakukan salah satunya adalah untuk mengurangi kadar hidrogen yang terperangkap pada material. Hidrogen dapat menyebabkan porositas pada material, mengakibatkan lasan menjadi keropos. Selain itu pemanasan awal juga akan mengurangi perbedaan temperatur dari material induk sehingga meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi dan tegangan berlebih yang dapat menyebabkan *crack* . Berikut proses dari pemanasan awal yaitu

1. Dengan cara mengarahkan api las dari mesin oksasi asitilen yang telah disesuaikan untuk aplikasi pemanasan awal ke material induk yang ingin dipanaskan dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Proses pemanasan awal

2. Bagian material yang dipanaskan adalah seluruh bagian secara merata dengan harapan seluruh moisture dapat terangkat dan temperatur relative sama. Selama proses pemanasan awal *thermo gun* didekatkan pada

material yang sedang dipanaskan guna mengontrol suhu apakah sudah sesuai dapat dilihat pada Gambar 3.13, Termogun (*Infrared Thermometer*) menggunakan prinsip lensa pemfokus energi inframerah pada detektor, yang mengubah energi menjadi sinyal elektrik yang bisa ditunjukkan dalam unit temperatur setelah disesuaikan dengan variasi temperatur lingkungan, pengukur suhu ini bekerja dari jarak jauh tanpa menyentuh objek. *Infrared Thermometer* ini cara penggunaannya hanya diarahkan ke media atau benda yang akan diukur suhunya, maka alat ini akan membaca suhu media tersebut



Gambar 3.13 Pengukuran suhu dengan termogun

3. Suhu pemanasan awal yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah 80°C, 100°C, dan 150°C. Untuk suhu pemanasan awal sedikit lebih tinggi dari pada yang dibutuhkan dengan asumsi terjadi penurunan temperature ketika dibawa ke tempat pengelasan. Ketika suhu pemanasan telah tercapai ditandai dengan pengukuran menggunakan termometer maka proses pemanasan dihentikan.



Gambar 3.14 Pemanasan awal suhu 80°C



Gambar 3.15 Pemanasan awal suhu 100°C



Gambar 3.16 Pemanasan awal suhu 120°C

3.2.3.2 Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding

1. Persiapkan 14 buah plat material aluminium seri 6061 dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 15 mm, dan tebal 6 mm yang telah diberi perlakuan pemanasan awal
2. *Filler metal* yang digunakan adalah ER 5356 diameter 3,2 mm.
3. Proses pengelasan secara umum adalah sebagai berikut :
 - Mesin las disiapkan dan diatur mengenai besar arus, voltase mesin las sesuai dengan parameter yang telah ditentukan pada WPS. Berikut spesifikasi prosedur pengelasan (WPS) :
 - *Welding Process* : Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)
 - *Type* : Semi-Automatic
 - *Groove* : Single V groove

- *Base Metal* : Alumuniun 6061
 - *Filler Metal* : ER 5356
 - *Welding postion* : 1G
 - *Preheating* : 80°C , 100°C, dan120°C
 - *Aging PWHT* : 180°C dan 260°C
 - *Current* : AC
 - *Ampere* : 150 A
 - *Voltage* : 24 V
 - *Speed* : 15-25 mm/s
 - *Shielding gas* : 99,998% Argon
4. Proses pengelasan diawali dengan pembuatan *tack weld* pada ujung-ujung material sebgai penyambung material agar tidak bergeser saat dilakukan pengelasan *full length*.
 5. Proses pengelasan mulai dilakukan
 6. Setelah pengelasan pada layer pertama selesai selanjutnya permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membuat alur las bagi layer selanjutnya.



Gambar 3.17 Proses pengelasan dengan GTAW

3.2.4 Inspeksi NDT

Sesudah dilakukan proses pengelasan hasil pengelasan akan ditinjau ulang dengan *non-destructive test*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan

metode *radiography test*. NDT dilakukan untuk mendeteksi kemungkinan cacat pada hasil lasan. Apabila terjadi cacat las maka diperlukan untuk melakukan pengelasan ulang. Apabila tidak ditemui cacat las penelitian bisa dilanjutkan dengan uji laboratorium. *Radiography test* dalam penelitian ini mengacu pada ASME *Section IX welding, brazing, and fusing qualification*

3.2.5 Aging Post-weld Heat Treatment

Sebelum dilakukan aging PWHT material dibentuk sesuai kebutuhan uji. *Post-weld heat treatment* dilakukan dengan melalui 2 fase yaitu fase *solution* dan fase *quenching*. Berikut proses dari *aging* PWHT :

1. Fase *solution* dilakukan dengan meletakkan spesimen ke dalam *furnace machine* (dapur pemanas). Fase ini dilakukan dengan *holding time* selama 15 menit dan temperatur yang digunakan adalah 525°C dapat dilihat pada Gambar 3.18



Gambar 3.18 Proses Solution treatment dengan suhu 525°C

2. Setelah dipanaskan selama 15 menit, spesimen dikeluarkan dari mesin *furnace* untuk fase *quenching* (pendinginan). Pendinginan dilakukan dengan cara meletakkan spesimen tersebut ke dalam air yang bersuhu kamar selama beberapa menit hingga spesimen dirasatelah mencapai suhu kamar.



Gambar 3.19 Proses quenching menggunakan air

3. Setelah dilakukan proses *solution*, *quenching*, dan *aging Treatment* dilakukan dan spesimen telah mencapai suhu kamar, maka selanjut nya bias dilakukan *aging treatment*. Sama halnya dengan *post-weld heat treatment*, *aging treatment* dilakukan dengan memasukkan kembali spesimen ke dalam dapur pemanas dengan holding time selama 4 jam waktu ini dipilih berdasarkan penelitian dari Saefulloh *et al* (2018) dan variasi temperatur yang digunakan antara lain 180°C dan 260°C. Selanjutnya, materialnya akan dikeluarkan dan dibiarkan di luar dapur pemanas agar kembali mencapai suhu kamar.



Gambar 3.20 *Aging treatment* pada suhu 180°C

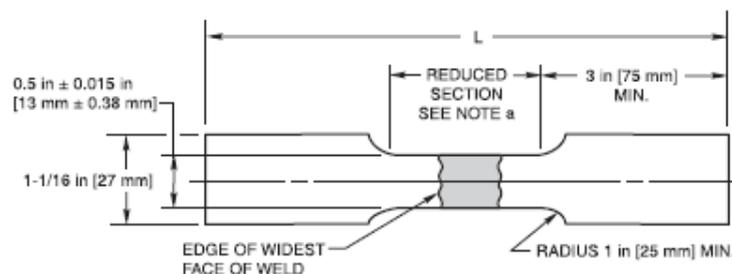


Gambar 3.21 Aging treatment pada suhu 260°C

3.2.6 Pengujian Tensile Strength

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban. Kekuatan tarik pada sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, dan distribusi tegangan dalam sambungan. Maka dari itu uji tarik dilakukan untuk mendapat grafik tegangan kekuatan tarik yang bisa digunakan sebagai parameter keuletan dari spesimen. Pengujian tarik mengacu pada AWS D1.2 – *Structural Welding code Aluminium* proses pengujian tarik sebagai berikut:

1. Spesimen uji dibuat menjadi material uji (batang) sesuai dengan standar seperti pada gambar 3.22 dan gambar 3. 23



Gambar 3.22 Spesimen uji Tarik sesuai AWS D1.2



Gambar 3.23 Spesimen uji tarik

2. Spesimen uji diletakkan pada mesing pengujian tarik seperti pada gambar 3.24 Lalu, spesimen uji dijepit dengan pencekram (*grip*) spesimen ditarik



Gambar 3.2 Mesin uji tarik

3. Selama proses pengujian tarik semua data tercatat dengan grafik pada mesin uji tarik

3.2.7 Pengujian Metalografi

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

a. Pengujian makro

Pengujian makro etsa proses pengujian material menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa mutu pengelasan pada posisi potongan melintang., dalam permukaan obyek, dan mengetahui permukaan dari layer pengelasan. Pada penelitian kali ini uji makro etsa dilakukan pada permukaan sambungan aluminium seri 6061 yang sudah dilas menggunakan proses GTAW dan diaplikasikan *heat treatment*. Langkah-langkah yang harus dilakukan selama pengujian foto makro adalah sebagai berikut:

1. Persiapan 7 buah spesiment,
2. Persiapan larutan reagent keller's yang terdiri dari :
 - 25 ml Hydrofluorid Acid (HF)
 - 100 ml HCL
 - 100 ml HNO₃
 - 100 ml Aquades
3. Spesimen dicelupkan dalam larutan hingga dua menit, lalu dicelup dengan alkohol 90 % hingga terlihat bentuk daerah pengelasan.
4. Spesimen disiram dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
5. Selanjutnya spesiment siap dilakukan proses foto makro.
6. Langkah terakhir adalah pengambilan gambar dengan kamera DSLR dengan perbesaran 7x

b. Pengujian Mikro

1. Persiapan 7 buah spesiment, permukaan spesiment dipoles hingga halus, bersih, mengkilap, dan tidak ada goresan dengan menggunakan kertas gosok. Pembersihan dilakukan mulai dari grade 600,800, 1000, 1200, 1500, dan 2000.
2. Persiapan larutan *Poultan reagent* yang terdiri dari:
 - 30 mL HCl
 - 40 mL HNO₃
 - 10 mL HF
 - 12 g CrO₃

- 42.5 mL (Aquadest)
- 3. Spesimen dicelupkan dalam larutan reagent keller's selama 1,5 menit.
- 4. Setelah proses pencelupan, dicelupkan dalam alkohol 90 % hingga terlihat bentuk daerah pengelasan.
- 5. Spesimen disiram dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
- 6. Selanjutnya spesimen dilakukan proses foto mikro, proses foto mikro ini menggunakan mikroskop dengan pembesaran 100 kali. Daerah yang diamati adalah pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal.
- 7. Langkah terakhir adalah menyimpan foto kedalam komputer.

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat dilakukan analisa dan pembahasan sesuai dengan standar dan codes yang digunakan sehingga dari hasil analisa dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan



Gambar 3.24 spesimen uji makro dan mikro

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 *Welding Procedur Specification (WPS)*



Gambar 4.1 Proses pengelasan GTAW

Proses pengelasan pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di Laboratorium *Welding Center* Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan *welding procedur specification* sebagai berikut :

Base metal	: Alumunium 6061
Dimensi	: 300 mm × 150 mm × 6 mm
Jenis sambungan	: <i>butt joint</i>
Kampuh	: <i>Single V</i> (sudut <i>groove</i> 60°)
Jumlah <i>layer</i>	: 3
Proses pengelasan	: <i>Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)</i>
<i>Preheating</i>	: 80°C, 100°C, dan 120°C
<i>Aging PWHT</i>	: 180°C dan 260°C
Posisi pengelasan	: 1G
<i>Filler Metal</i>	: ER 5356 diameter 3,2 mm
Arus	: AC
<i>Interpass cleaning</i>	: Gerinda
Gas pelindung	: Argon 99,999%
Flow rate gas	: 20 L/menit
<i>Welder</i>	: Rahmat

4.1.1. *Welding Procedur Specification* pada *Joint* Tanpa Perlakuan Heat Treatment

Pada *joint* tanpa perlakuan panas terdiri dari penyambungan material alumunium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, material tidak diberikan perlakuan panas sebelum dan sesudah pengelasan. Adapun parameter pengelasan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan hasil pengelasan pada Gambar 4.2

Tabel 4.1 Parameter pengelasan *joint* tanpa perlakuan panas

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	64	5.89	3.38
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	67	6.48	3.22
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	58	4.45	3.72



Gambar 4.2 Hasil pengelasan *joint* tanpa perlakuan panas

4.1.2. *Welding Procedur Specification* pada *Joint* 1A

Pada *joint* 1A terdiri dari penyambungan material alumunium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, sebelum pengelasan dilakukan material diberi perlakuan *preheating* suhu 80°C dan suhu aging PWHT 180°C . Adapun

parameter pengelasan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan hasil pengelasan pada Gambar 4.3

Tabel 4.2 Parameter pengelasan *joint* 1A dengan preheat 80°C dan aging PWHT 180°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	64	4.69	3.38
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	67	4.48	3.22
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	58	5.17	3.72



Gambar 4.3 Hasil pengelasan spesimen 1A

4.1.2 *Welding Procedur Specification* pada *Joint* 1B

Pada *joint* 1B terdiri dari penyambungan material aluminium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, sebelum pengelasan dilakukan material diberi perlakuan *preheating* suhu 80°C dan suhu aging PWHT 260°C . Adapun parameter pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan hasil pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.4

Tabel 4.3 Parameter pengelasan *joint* 1B dengan preheat 100°C dan aging PWHT 260°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	56	5.36	3.86
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	70	4.29	3.09
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	54	5.56	4.00



Gambar 4.4 Hasil pengelasan spesimen 1B

4.1.3 *Welding Procedur Specification pada Joint 2A*

Pada *joint* 1B terdiri dari penyambungan material alumunium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, sebelum pengelasan dilakukan material diberi perlakuan *preheating* suhu 100°C dan suhu aging 180°C . Adapun parameter pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan hasil pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.5

Tabel 4.4 Parameter pengelasan *joint* 2A dengan preheat 100°C dan aging PWHT 180°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	60	5.00	3.6
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	68	4.41	3.18
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	55	5.45	3.93



Gambar 4.5 Hasil pengelasan spesimen 2A

4.1.4 *Welding Procedur Specification pada Joint 2B*

Pada *joint 2B* terdiri dari penyambungan material aluminium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, sebelum pengelasan dilakukan material diberi perlakuan *preheating* suhu 100°C dan suhu aging 260°C . Adapun parameter pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan hasil pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.6

Tabel 4.5 Parameter pengelasan *joint 2B* dengan preheat 100°C dan aging PWHT 260°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	54	5.56	4.00
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	67	4.48	3.22
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	52	5.77	4.15



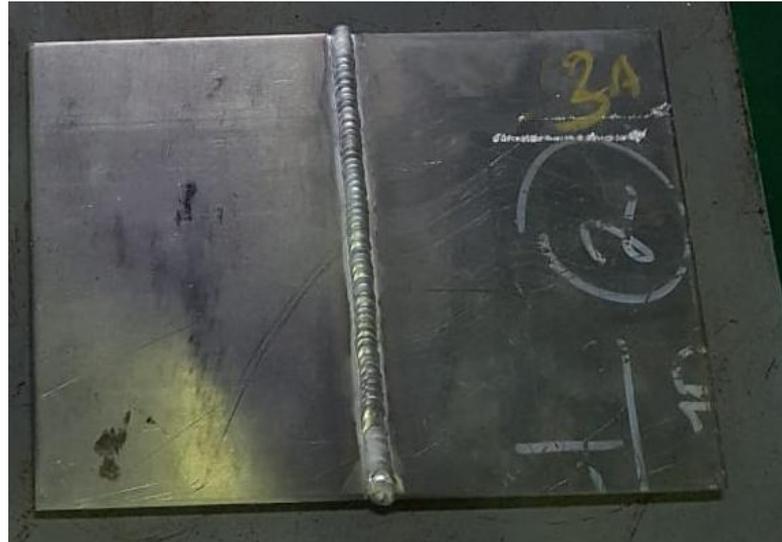
Gambar 4.6 Hasil pengelasan spesimen 2B

4.1.5 *Welding Procedur Specification pada Joint 3A*

Pada *joint 3A* terdiri dari penyambungan material alumunium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, sebelum pengelasan dilakukan material diberi perlakuan *preheating* suhu 120°C dan suhu aging 180°C . Adapun parameter pengelasan yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan hasil pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.7

Tabel 4.6 Parameter pengelasan *joint 3A* dengan preheat 120°C dan aging PWHT 180°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	58	5.17	3.72
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	60	5.00	3.60
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	56	5.36	3.86



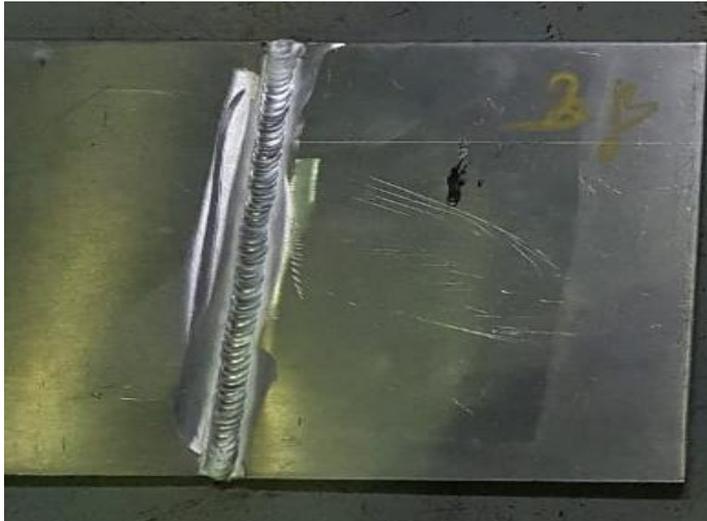
Gambar 4.7 Hasil pengelasan spesimen 3A

4.1.6 *Welding Procedur Specification* pada *Joint 3B*

Pada *joint 3B* terdiri dari penyambungan material alumunium 6061 menggunakan *filler metal* ER 5356, sebelum pengelasan dilakukan material diberi perlakuan *preheating* suhu 120°C dan suhu aging 260°C. Adapun parameter pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan hasil pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.8

Tabel 4.7 Parameter pengelasan *joint 3B* dengan preheat 120°C dan aging PWHT 260°C

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (detik)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
		Class	Dia	Polarity	Ampere				
1	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	55	5.45	3.93
2	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	65	4.62	3.32
3	GTAW	ER5356	3,2mm	AC	150	24	50	6.00	4.32



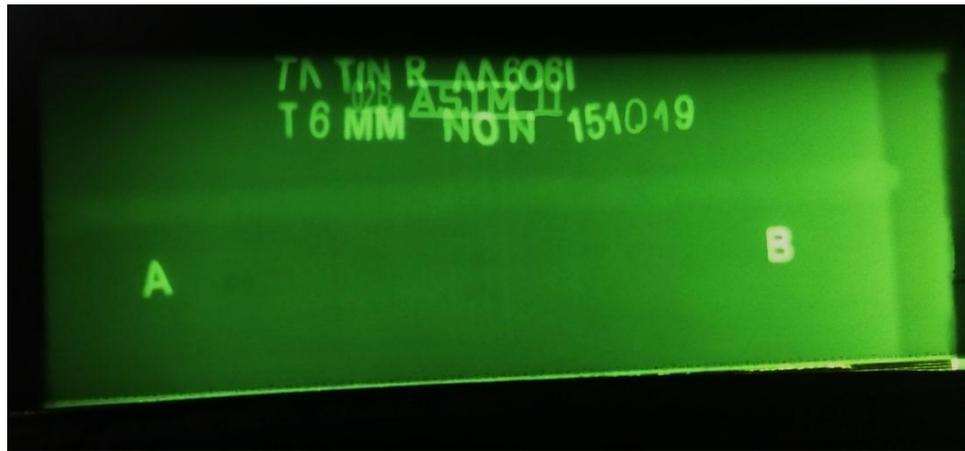
Gambar 4.8 Hasil pengelasan spesimen 3B

4.2 Non-Destructive Test (NDT)

Setelah proses pengelasan selesai maka dilakukan pengujian *non-destructive test* (NDT) untuk mengetahui hasil lasan baik atau terdapat cacat. Pengujian tidak merusak dalam penelitian ini menggunakan *radiography test* (RT). Metode radiografi dengan menembakkan sinar x atau gamma yang dapat menembus logam. Sebagian sinar akan terserap sehingga intensitas berkurang, intensitas akhir direkam pada film sensitif. Apabila terdapat cacat atau diskontinuitas akan nampak pada film karena diskontinuitas mengalami penyerapan lebih sedikit sehingga radiasi lebih mudah menembus, sehingga dicatat oleh film dan membentuk gambar gelep yang mewakili struktur internal material. Berikut hasil pengujian radiografi yang dilakukan di PT. Robutech

4.2.1 Hasil Non-Destructive Test (NDT) Radiografi pada *joint Non-Heat Treatment*

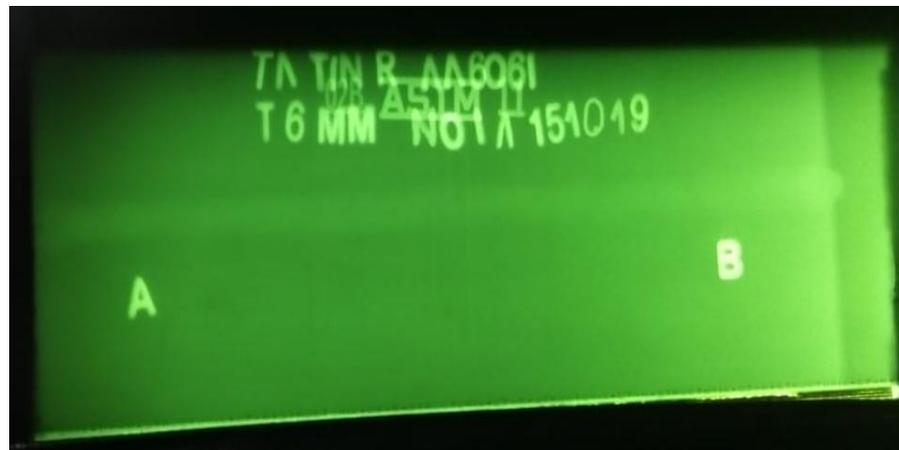
Hasil *non destructive test* pada pengelasan aluminium 6061 *joint non* merupakan spesimen tanpa perlakuan *preheat* tidak mengalami cacat pada hasil lasan. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada Gambar 4.9, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan telah memenuhi kriteria (*Acceptable*) yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke tahap pengujian laboratorium



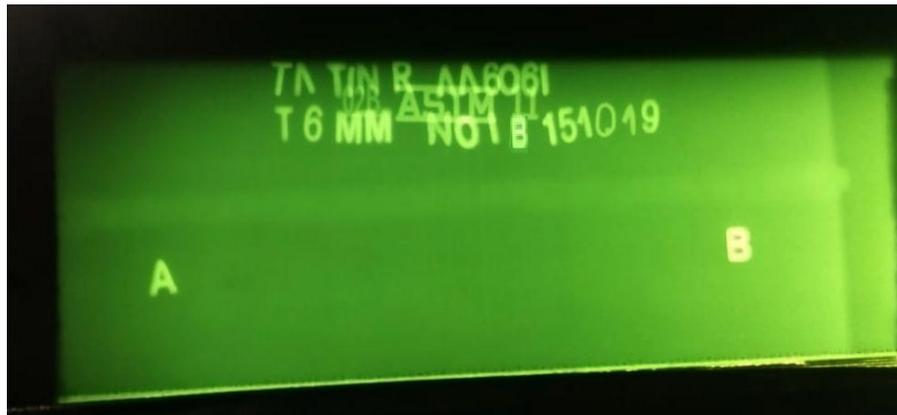
Gambar 4.9 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada *joint* tanpa perlakuan panas

4.2.2 Hasil *Non-Destructive Test* (NDT) Radiografi pada *joint* 1A dan *joint* 1B

Hasil *non destructive test* pada pengelasan aluminium 6061 *joint* 1A dan *joint* 1B merupakan spesimen dengan *preheat* 80°C tidak mengalami cacat pada hasil lasan. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan telah memenuhi kriteria (*Acceptable*) yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke tahap pengujian laboratorium.



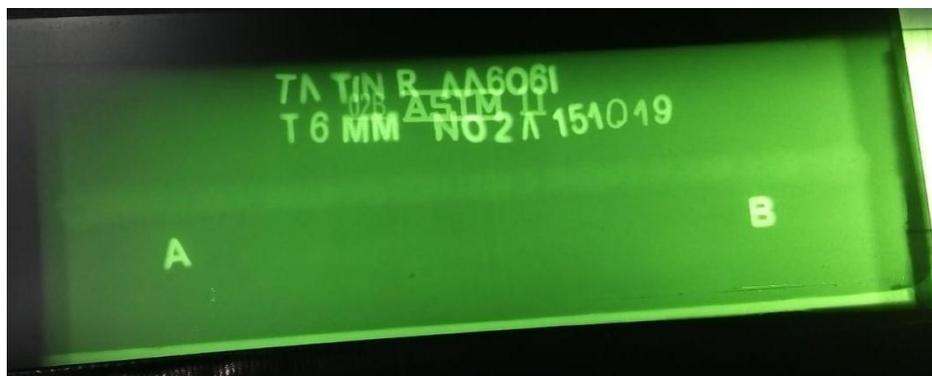
Gambar 4.10 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada *joint* 1A



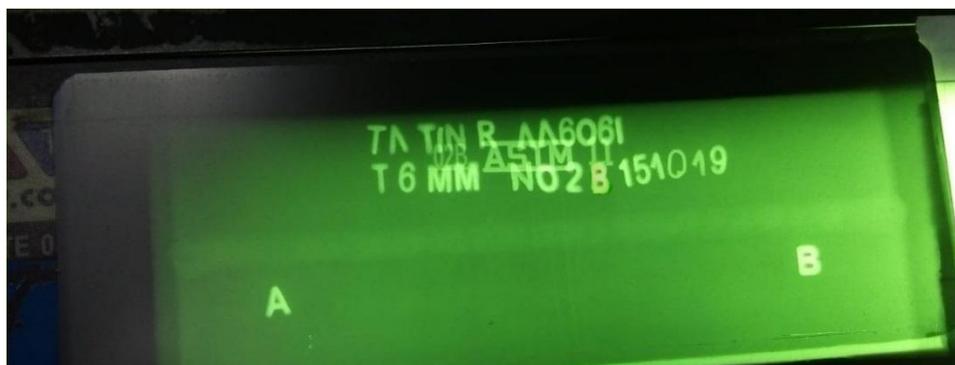
Gambar 4.11 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada *joint 1B*

4.2.3 Hasil Non-Destructive Test (NDT) Radiografi pada *joint 2A* dan *joint 2B*

Hasil non destructive test pada pengelasan alumunium 6061 *joint 2A* dan *joint 2B* merupakan spesimen dengan *preheat* 100°C tidak mengalami cacat pada hasil lasan. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan telah memenuhi kriteria (*Acceptable*) yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke tahap pengujian laboratorium.



Gambar 4.12 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada *joint 2A*

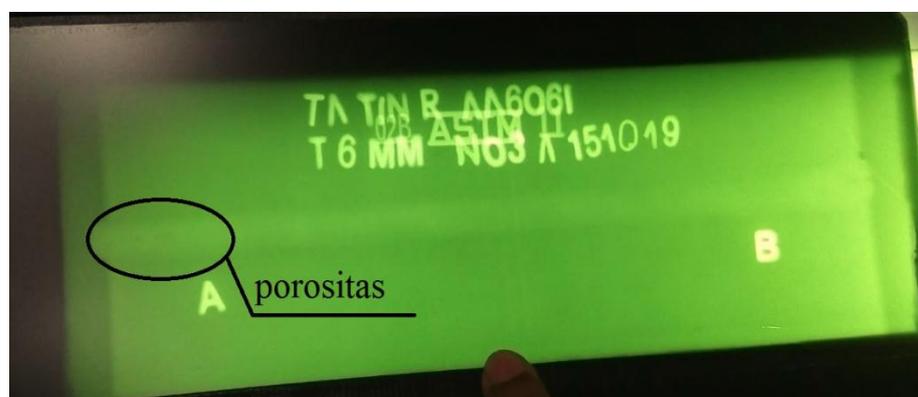


Gambar 4.13 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada *joint 2B*

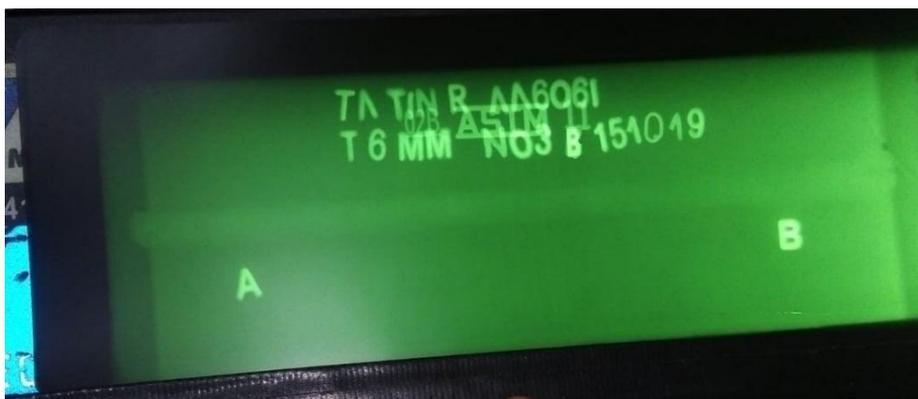
4.2.4 Hasil *Non-Destructive Test* (NDT) Radiografi pada *joint* 3A dan *joint* 3B

Hasil non destructive test pada pengelasan aluminium 6061 *joint* 3A merupakan spesimen dengan *preheat* 120°C dinyatakan terdapat cacat las berupa porositas sepanjang 1 mm dapat dilihat dari film radiografi pada Gambar 4.14, porositas merupakan jenis cacat las yang berbentuk lubang pada logam hasil pengelasan. Pada pengelasan aluminium porositas sering terjadi dikarenakan aluminium merupakan material aktif dan akan bereaksi dengan oksigen diudara untuk menghasilkan aluminium oksida di permukaan, aluminium oksida dapat menyerap kelembaban dari udara, kelembaban adalah sumber dari hidrogen yang merupakan penyebab porositas pada lasan aluminium. Selain itu pendinginan cepat juga merupakan penyebab terjadi porositas pada aluminium, dengan *preheat* dapat mengurangi pendinginan cepat dan meminimalisir terjadinya porositas terbukti pada spesimen 1A, 1B, 2A, 2B, dan 3B tidak memiliki cacat las.

Porositas pada spesimen 3A masih bisa diterima karena mengacu pada ASME section IX dimana *acceptance* kriteria bahwa diameter porositas tidak boleh melebihi 20% ketebelannya, atau dalam penelitian ini tidak boleh melebihi 1.2 mm sehingga masih bisa diterima, juga letak porositas hanya terdapat pada sisi ujung sambungan sehingga bagian lain dari spesimen bisa digunakan untuk uji labrotarium. Sedangkan pada spesimen 3B juga spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dinyatakan tidak ditemukan cacat las pada sambungan dapat dilihat dari film radiografi pada Gambar 4.15 , sehingga hasil pengelasan telah memenuhi kriteria (*Acceptable*) yang ditetapkan dan dapat dilanjutkan ke tahap pengujian laboratorium.



Gambar 4.14 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada *joint* 3A



Gambar 4.15 Hasil Pengujian NDT Radiografi pada Spesimen 3B

4.3 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan keefektifan dan perilaku suatu material ketika diberi gaya berlawanan yang kedua gayanya terletak pada sumbu yang sama. Pengujian tarik juga berguna untuk menentukan kekuatan maksimum yang dapat ditahan material. Pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium konstruksi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Standar yang digunakan dalam pengujian tarik adalah AWS D1.2 pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan nilai uji tarik yang valid.

4.3.1 Hasil Uji tarik pada spesimen O (*Non-Heat Treatment*)

Pada spesimen O yaitu spesimen tanpa perlakuan panas dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 9,47 kN dan 18,10 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 87,73 MPa dan 167,66 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam las (*weld metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Table 4.8 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.16

Tabel 4.8 Hasil Uji tarik pada spesimen O

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (MPa)	Avg max (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield kN	F Ult kN	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
O1.1	18.91	5.71	107.98	9.52	18.12	88.16	167.81	87.73	167.66
O1.2	18.91	5.71	107.98	9.08	17.91	84.08	165.88		
O1.3	18.91	5.71	107.98	9.82	18.28	90.94	169.28		



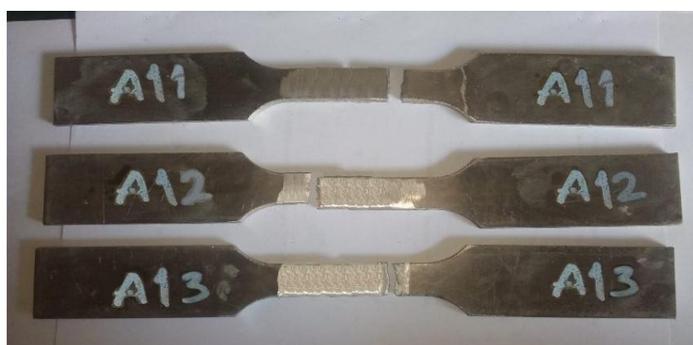
Gambar 4.16 Hasil pengujian tarik pada Spesimen A1

4.3.2 Hasil Uji tarik pada spesimen A1 (*preheating* 80°C dan *Aging* 180°C)

Pada spesimen A1 yaitu spesimen dengan perlakuan suhu *preheating* 80°C dan suhu *Aging* 180°C, dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 9,81 kN dan 20,16 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 90,85 MPa dan 186,70 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Table 4.9 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.17

Tabel 4.9 Hasil Uji tarik pada spesimen A1

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (MPa)	Avg max (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield kN	F Ult kN	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
A1.1	18.91	5.71	107.98	9.59	20.19	88.81	186.98	90.85	186.70
A1.2	18.91	5.71	107.98	9.82	20.04	90.94	185.59		
A1.3	18.91	5.71	107.98	10.02	20.25	92.79	187.53		



Gambar 4.17 Hasil pengujian tarik pada Spesimen A1

4.3.3 Hasil Uji tarik pada spesimen A2 (*preheating* 100°C dan *Aging* 180°C)

Pada spesimen A1 yaitu spesimen dengan perlakuan suhu *preheating* 100°C dan suhu *Aging* 180°C, dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 12,07 kN dan 22,01 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 111,80 MPa dan 203,85 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Table 4.10 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.18

Tabel 4.10 Hasil Uji tarik pada spesimen A2

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (MPa)	Avg max (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield (kN)	F Ult (kN)	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
A2.1	18.91	5.71	108	12.02	22.03	111.36	204.06	111.80	203.85
A2.2	18.91	5.71	108	12.25	21.80	113.45	201.85		
A2.3	18.91	5.71	108	11.94	22.21	110.58	205.65		



Gambar 4.18 Hasil pengujian tarik pada Spesimen A2

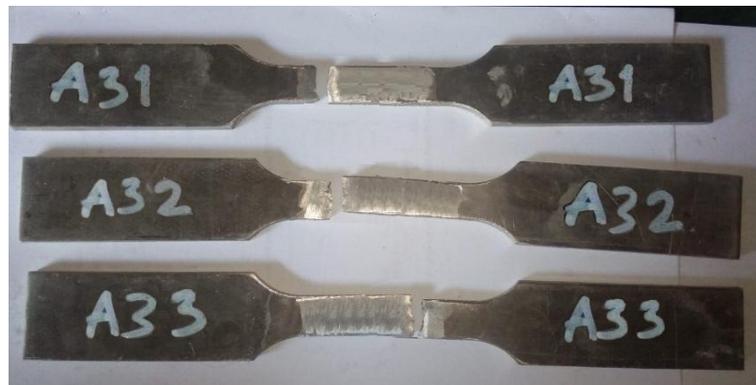
4.3.4 Hasil Uji tarik pada spesimen A3 (*preheating* 120°C dan *Aging* 180°C)

Pada spesimen A3 yaitu spesimen dengan perlakuan suhu *preheating* 120°C dan suhu *Aging* 180°C, dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 13,01 kN dan 23,86 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 120,48 MPa dan 238,5 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Table 4.11 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.19

MPa dan 220,94 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Table 4.11 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.19.

Tabel 4.11 Hasil Uji tarik pada spesimen A3

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (MPa)	Avg max (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield (kN)	F Ult (kN)	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
A3.1	18.91	5.71	108	12.96	24.04	120.10	222.64	120.48	220.94
A3.2	18.91	5.71	108	12.82	23.80	118.73	220.43		
A3.3	18.91	5.71	108	13.24	23.73	122.62	219.74		



Gambar 4.19 Hasil pengujian tarik pada Spesimen A3

4.3.5 Hasil Uji tarik pada spesimen B1 (*preheating* 80°C dan *Aging* 260°C)

Pada spesimen B1 yaitu spesimen dengan perlakuan suhu *preheating* 80°C dan suhu *Aging* 260°C, dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 12,67 kN dan 23,28 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 117,35 MPa dan 215,62 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.20

Tabel 4.12 Hasil Uji tarik pada spesimen B1

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (MPa)	Avg max (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield (kN)	F Ult (kN)	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
B1.1	18.91	5.71	108	13.10	23.46	121.29	217.22	117.35	215.62
B1.2	18.91	5.71	108	12.58	23.09	116.54	213.85		
B1.3	18.91	5.71	108	12.33	23.30	114.21	215.78		



Gambar 4.20 Hasil pengujian tarik pada Spesimen B1

4.3.6 Hasil Uji tarik pada spesimen B2 (*preheating* 100°C dan *Aging* 260°C)

Pada spesimen B2 yaitu spesimen dengan perlakuan suhu *preheating* 100°C dan suhu *Aging* 260°C, dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 12,94 kN dan 24,63 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 119,88 MPa dan 228,07 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.21

Tabel 4.13 Hasil Uji tarik pada spesimen B2

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (Mpa)	Avg max (Mpa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield (kN)	F Ult (kN)	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
B2.1	18.91	5.71	108	13.00	24.88	120.36	230.43	119.88	228.07
B2.2	18.91	5.71	108	12.90	24.47	119.45	226.60		
B2.3	18.91	5.71	108	12.94	24.53	119.83	227.17		



Gambar 4.21 Hasil pengujian tarik pada Spesimen B2

4.3.7 Hasil Uji tarik pada spesimen B3 (*preheating* 120°C dan *Aging* 260°C)

Pada spesimen B3 yaitu spesimen dengan perlakuan suhu *preheating* 120°C dan suhu *Aging* 260°C, dengan ukuran lebar daerah uji adalah 18,91 mm dan luas permukaan uji 107,98 mm². Nilai rata-rata *yield force* (F yield) dan *ultimate force* (F Ult) yang didapatkan berturut-turut 13,52 kN dan 26,64 kN, sedangkan nilai rata-rata yield strength dan max strength sebesar 125,21 MPa dan 246,74 MPa. *Breaking point* ketiga spesimen adalah logam induk (*base metal*). Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Table 4.14 dan visual hasil uji tarik pada Gambar 4.22

Tabel 4.14 Hasil Uji tarik pada spesimen B3

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			Hasil Uji Tarik				Avg yield (MPa)	Avg max (MPa)
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	F Yield (kN)	F Ult (kN)	Yield Strength (MPa)	max Strength (MPa)		
B3.1	18.91	5.71	108	13.77	26.96	127.53	249.68	125.21	246.74
B3.2	18.91	5.71	108	13.20	26.76	122.24	247.82		
B3.3	18.91	5.71	108	13.59	26.21	125.86	242.73		



Gambar 4.22 Hasil pengujian tarik pada Spesimen B3

4.4 Analisa Hasil Uji Tarik

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan didapat nilai rata-rata *ultimate strength* dan *yield strength* setiap spesimen data dapat dilihat pada Tabel 4.15 kriteria penerimaan hasil pengujian tarik apabila kekuatan tarik lebih besar dari kekuatan tarik minimum yang telah ditetapkan dari logam dasar. Dalam penelitian ini kriteria penerimaan mengacu pada *codes* AWS D1.2 yang mana minimum kekuatan tarik dari alumunium 6061 adalah 165 MPa.

Tabel 4. 15 Hasil pengujian tarik pada setiap spesimen

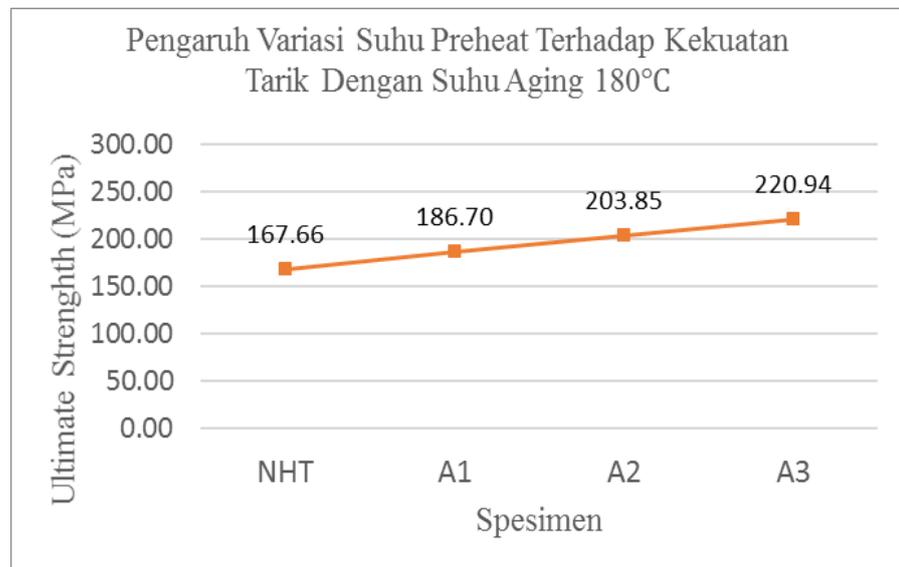
<i>Aging PWHT</i>	<i>Preheat</i>	Rata- rata <i>yield strength</i> (Mpa)	Rata- rata <i>ultimate strength</i> (Mpa)
-	-	87.73	167.66
180 °C	80 °C	90.85	186.70
	100 °C	111.80	203.85
	120 °C	120.48	220.94
260 °C	80 °C	117.35	215.62
	100 °C	119.88	228.07
	120 °C	125.21	246.74

Spesimen tanpa perlakuan panas memiliki rata-rata kekuaan tarik sebesar 167,66 MPa, Spesimen dengan *preheat* 80°C dan *aging PWHT* 180°C (spesimen A1) memiliki rata-rata kekuatan tarik 186.70 MPa. Hal ini menunjukkan spesimen A1 lolos uji tarik karena sudah melebihi nilai minimum kekuatan tarik dari standar. Spesimen dengan *preheat* 100°C dan *aging PWHT* 180°C (spesimen A2) memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 203,85 MPa nilai tersebut menunjukkan bahwa spesimen A2 lolos uji tarik karena nilai uji tarik spesimen telah melebihi standar yang telah ditentukan

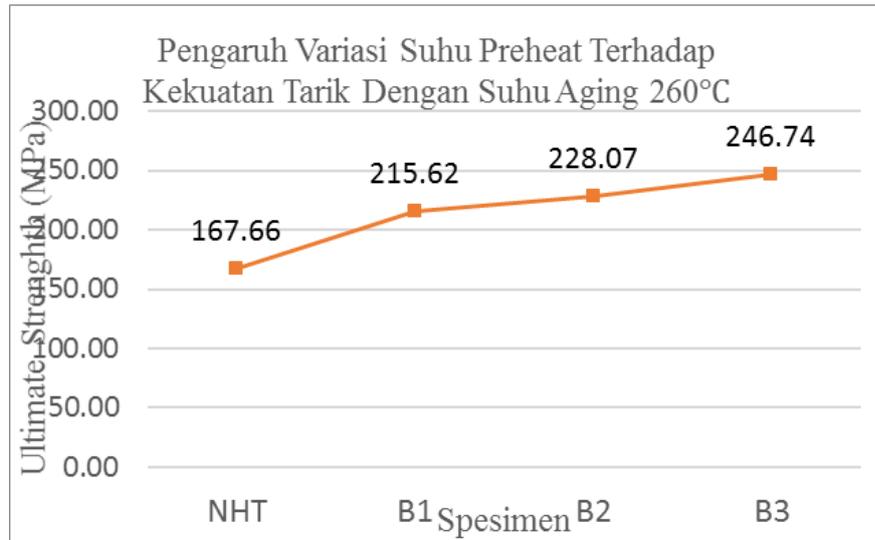
Pada spesimen dengan *preheat* 120°C dan *aging* PWHT 180°C (spesimen A3) memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 220.94 MPa nilai tersebut menunjukkan spesimen A3 lolos uji tarik karena sudah memenuhi standar

Spesimen dengan perlakuan *preheat* 80°C dan *aging* PWHT 260°C (spesimen B1) memiliki rata-rata 215,62 MPa, hal ini menunjukkan spesimen dengan perlakuan *preheat* 80°C dan *aging* PWHT 260°C lolos uji tarik karena sudah melebihi nilai minimum kekuatan tarik dari standar. Spesimen dengan dengan *preheat* 100°C dan *aging* PWHT 260°C (B2) memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 228.07 MPa, nilai tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik spesimen B2 lolos uji tarik karena nilai uji tarik telah melebihi standar, pada spesimen B3 spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *aging* PWHT 260°C (spesimen B3) memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 246,74 MPa hal ini menunjukkan spesimen tersebut lolos uji tarik.

Berdasarkan data pada Tabel 4.15 dapat digambarkan grafik pengaruh suhu preheating terhadap kekuatan tarik pada masing-masing variasi suhu *aging* yang dapat dilihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24. Kedua grafik tersebut menggambarkan penambahan kekuatan tarik pada masing-masing variasi suhu *aging*.



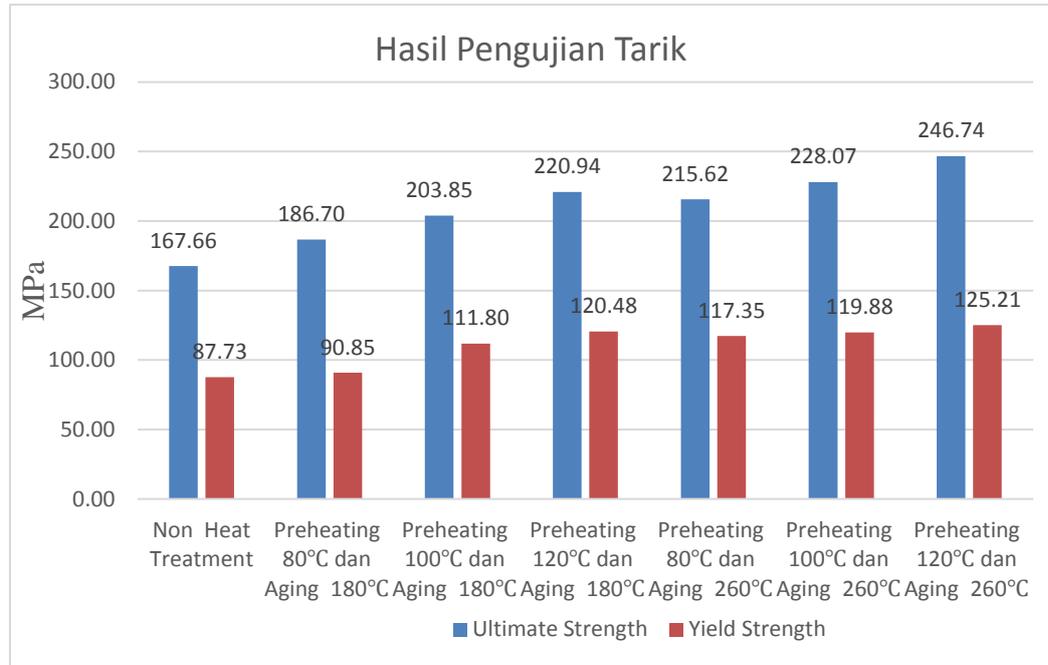
Gambar 4.23 Grafik pengaruh suhu *preheating* dengan suhu *aging* 180°C terhadap *ultimate strength*



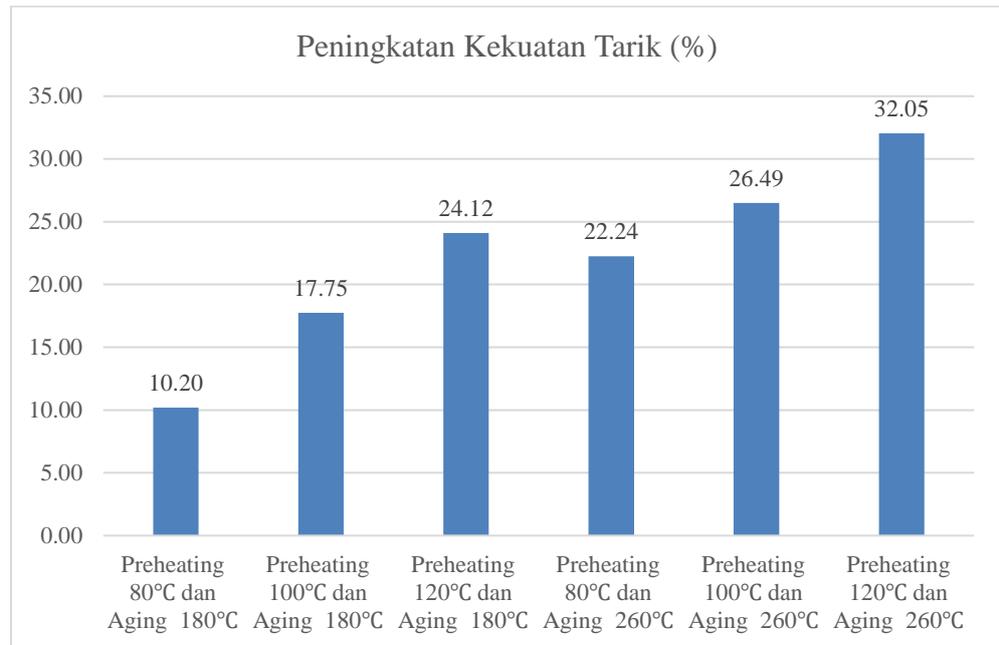
Gambar 4.24 Grafik pengaruh *preheating* dengan suhu *aging* 260°C terhadap *ultimate strength*

Berdasarkan kedua grafik diatas penggunaan suhu aging yang berbeda menunjukkan *trendline* yang sama. Hal ini ditunjukkan dengan semakin bertambahnya suhu *preheat* nilai kekuatan tarik juga semakin meningkat. sesuai dengan penjelasan Fudenburk (1997) bahwa pengaplikasian *preheat* dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan hasil pengelasan serta mengurangi resiko terjadinya *crack*. Selain itu perlakuan panas pasca pengelasan juga membantu meningkatkan kekuatan tarik dari sambungan las paduan aluminium, Dengan bertambahnya suhu aging kekuatan tarik juga semakin meningkat hasil yang sama juga diperoleh pada penelitian yang dilakukan oleh Kumar *et al* (2019). Pada temperature *preheat* 80°C dan *aging PWHT* 180°C kekuatan tarik meningkat 10,2%, pada temperature *preheat* 80°C dan *aging PWHT* 260°C kekuatan tarik meningkat 22,24%, pada temperature *preheat* 100°C dan *aging PWHT* 180°C kekuatan tarik meningkat 17,75%, pada temperature *preheat* 100°C dan *aging PWHT* 260°C kekuatan tarik meningkat 26,48%, pada temperature *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 180°C kekuatan tarik meningkat sebesar 24,12%, dan peningkatan kekuatan tarik tertinggi adalah pada temperature *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C peningkatan mencapai 32,05%. Dapat diambil kesimpulan kekuatan tarik tertinggi adalah pada spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C hal ini terjadi karena perlakuan panas dapat membentuk unsur paduan Si dan Mg berubah menjadi presipitat

Mg₂Si yang terdispersi secara merata disekitar batas butir, sehingga menyebabkan susunan antar atom aluminium menjadi lebih rapat dan menimbulkan ikatan antar atom menjadi lebih kuat. Grafik kekuatan tarik dari ketujuh spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan grafik presentasi peningkatan kekuatan tarik dapat dilihat pada Gambar 4.26



Gambar 4.25 Grafik hasil uji tarik



Gambar 4.26 Grafik Prosentase peningkatan kekuatan tarik

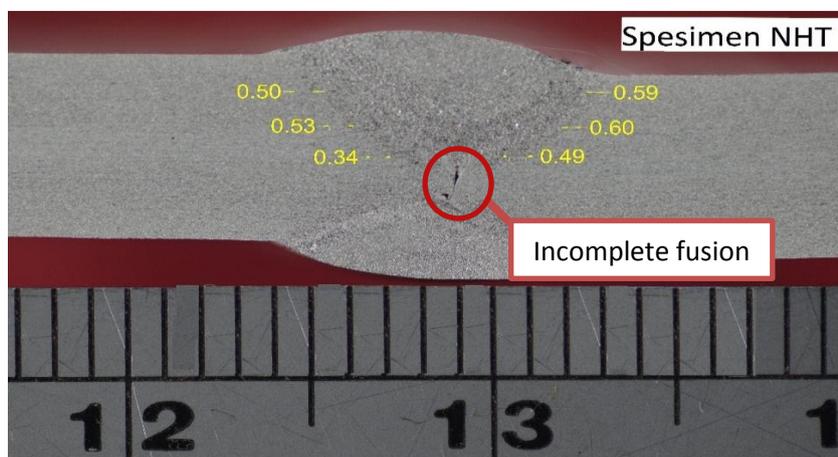
4.5 Pengujian Metalografi

4.5.1 Pengujian Makro

Pengujian makro merupakan pengujian yang dilakukan dan bertujuan untuk mengetahui daerah – daerah dari hasil proses pengelasan, bisa pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), *base metal*, dan *Weld Metal* sekalipun. Dari pengujian makro didapatkan area-area yang terbentuk selama proses pengelasan seperti lebar HAZ yang terjadi pada spesimen. Selain itu, fungsi dari pengujian makro adalah untuk mengetahui cacat las yang ada di dalam hasil pengelasan. Pengujian makro ini dilakukan dengan teknik yaitu menghaluskan dengan cara dipoles (*polishing*) satu sisi dari potongan melintang untuk spesimen uji makro dengan menggunakan kertas gosok (*abrasive paper*). Apabila dirasa cukup halus pada permukaan maka dapat dilakukan proses *polishing* dengan menggunakan bubuk alumina untuk hasil akhir yang baik serta terhindar dari goresan yang dapat mengurangi kualitas efek hasil foto makro. Foto struktur makro, dilakukan dengan perbesaran 7x dengan menggunakan DSLR.

4.5.1.1 Hasil Foto Makro pada Spesimen Non-Heat Treatment

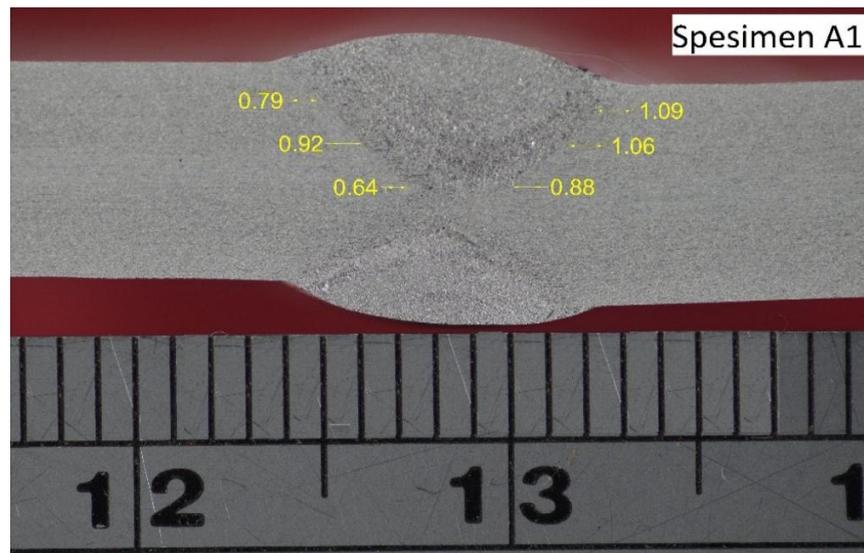
Pada pengamatan foto makro spesimen tanpa perlakuan *preheating* dan *aging PWHT*, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, daerah HAZ, dan weld metal. Pada spesimen uji makro tanpa perlakuan ditemukan cacat berupa *incomplete fusion* sebesar 1,02 mm pada weld metal. Pada spesimen *non heat treatment* memiliki lebar HAZ sepanjang 1 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Hasil foto makro pada spesimen *non-heat treatment*

4.5.1.2 Hasil Foto Makro pada Spesimen A1

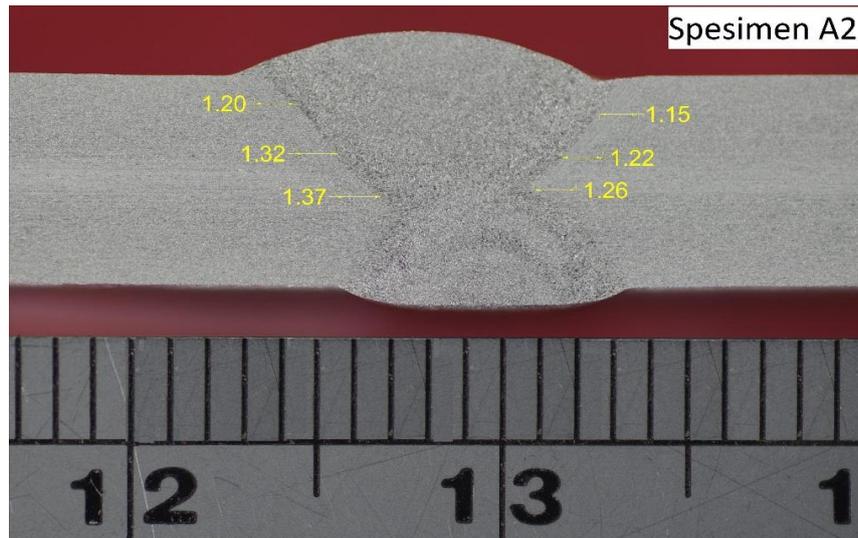
Pada pengamatan foto makro spesimen A1 yaitu spesimen dengan perlakuan *preheat* 80°C dan *Aging* PWHT 180°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, HAZ, dan weld metal. Pada spesimen A1 tidak ditemukan cacat las pada *weld metal*, HAZ, dan base metal. Pada spesimen A1 memiliki lebar HAZ sepanjang 1,6 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Hasil foto makro pada spesimen A1

4.5.1.3 Hasil Foto Makro pada Spesimen A2

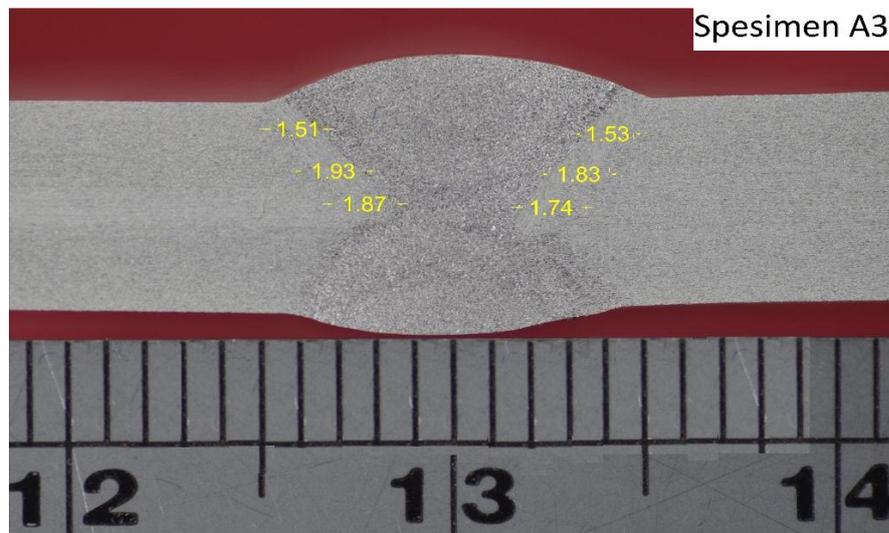
Pada pengamatan foto makro spesimen A2 yaitu spesimen dengan perlakuan *preheat* 100°C dan *Aging* PWHT 180°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, HAZ, dan weld metal. Pada spesimen A2 tidak ditemukan cacat las pada *weld metal*, HAZ, dan base metal. Pada spesimen A2 memiliki lebar HAZ sepanjang 2,5 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Hasil foto makro pada spesimen A2

4.5.1.4 Hasil Foto Makro pada Spesimen A3

Pada pengamatan foto makro spesimen A3 yaitu spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *Aging PWHT* 180°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, HAZ, dan weld metal. Pada spesimen A3 tidak ditemukan cacat las pada *weld metal*, HAZ, dan base metal. Pada spesimen A3 memiliki lebar HAZ sepanjang 3,4 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.30.

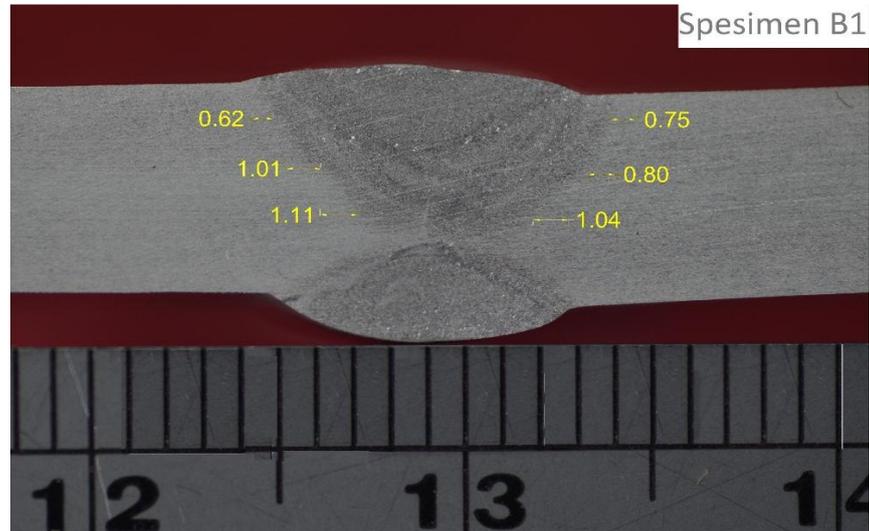


Gambar 4.30 Hasil foto makro pada spesimen A3

4.5.1.5 Hasil Foto Makro pada Spesimen B1

Pada pengamatan foto makro spesimen B1 yaitu spesimen dengan perlakuan *preheat* 80°C dan *Aging PWHT* 260°C, didapatkan foto secara detail pada bagian

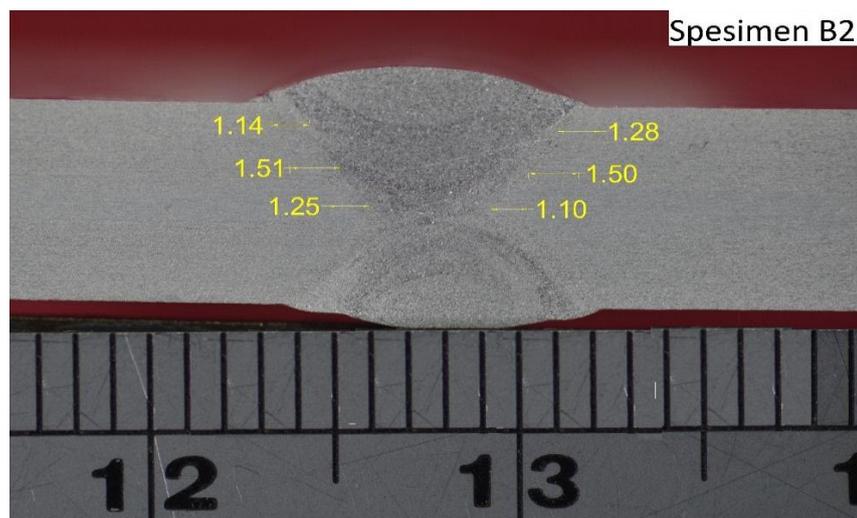
base metal, HAZ, dan weld metal. Pada spesimen B1 tidak ditemukan cacat las pada *weld metal*, HAZ, dan base metal. Pada spesimen B1 memiliki lebar HAZ sepanjang 1,8 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Hasil foto makro pada spesimen B1

4.5.1.6 Hasil Foto Makro pada Spesimen B2

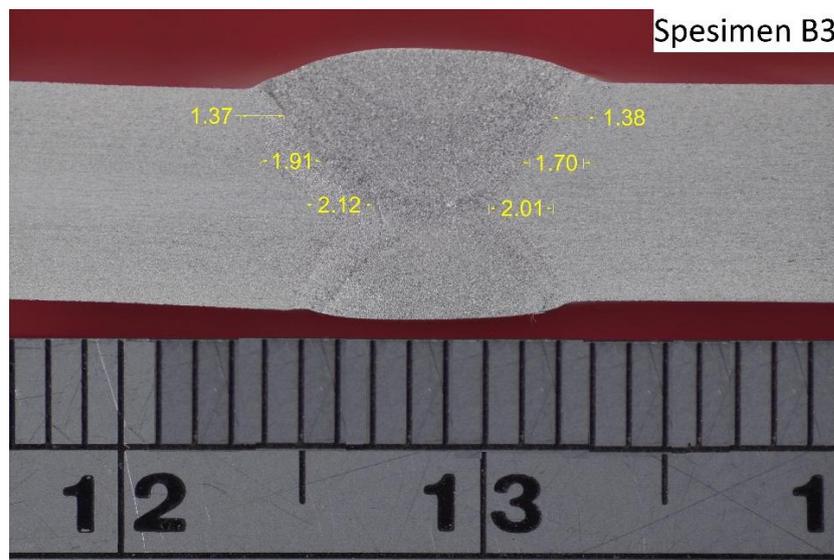
Pada pengamatan foto makro spesimen B2 yaitu spesimen dengan perlakuan *preheat* 100°C dan *Aging PWHT* 260°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, HAZ, dan weld metal. Pada spesimen B2 tidak ditemukan cacat las pada *weld metal*, HAZ, dan base metal. Pada spesimen B2 memiliki lebar HAZ sepanjang 2,6 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Hasil foto makro pada spesimen A2

4.5.1.7 Hasil Foto Makro pada Spesimen B3

Pada pengamatan foto makro spesimen B3 yaitu spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *Aging PWHT* 260°C, didapatkan foto secara detail pada bagian base metal, HAZ, dan weld metal. Pada spesimen B3 tidak ditemukan cacat las pada *weld metal*, HAZ, dan base metal. Pada spesimen B3 memiliki lebar HAZ sepanjang 3,5 mm. Hasil foto Makro dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33 Hasil foto makro pada spesimen A1

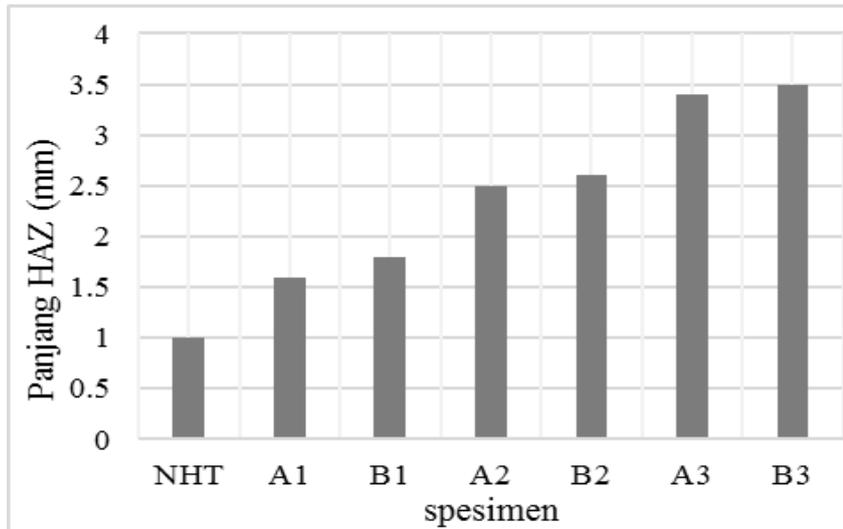
4.5.1.8 Analisa Hasil Uji Makro

Pada hasil foto makro, didapatkan lebar HAZ terbesar adalah pada spesimen B3, spesimen dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *Aging PWHT* 260°C sepanjang 3,5 mm. Sedangkan lebar HAZ terkecil dimiliki oleh spesimen non-heat treatment yaitu sepanjang 1 mm. Untuk lebih lengkapnya data lebar HAZ dapat dilihat pada Table 4.16, Berdasarkan data lebar HAZ yang didapat dari hasil uji makro tampak perbedaan luasan dari HAZ, perbedaan tersebut dipengaruhi oleh perlakuan *preheat* yang diberikan semakin tinggi temperature yang diberikan penetrasi yang terjadi pada saat proses pengelasan semakin dalam hal ini mempengaruhi kekuatan dari spesimen. Menurut Kou (2003) pengelasan aluminium rentan mengalami cacat *hot crack* dan porositas. Pada ke-6 spesimen yang diberikan perlakuan

preheat hasil foto makro menunjukkan keseluruhan tidak memiliki cacat las, cacat *incomplete fusion* ditemukan pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan *preheat* adanya cacat dapat mengurangi kekuatan dari sambungan las. Serta semua spesimen terbebas dari retak las, Dapat disimpulkan pengaplikasian *preheat* dapat meminimalisir terjadinya cacat las dengan mengurangi laju pendinginan dari material, berkurangnya laju pendinginan menyebabkan material lebih ulet dan memiliki ketahanan retak yang lebih baik. Selain itu perlakuan *preheat* mempengaruhi lebar HAZ dikarenakan suhu pemanasan awal membuat material menjadi lebih cepat memanaskan, dan *preheat* juga memperlambat laju pendinginan menyebabkan daerah pengaruh panas semakin luas. Sedangkan pengaplikasian aging PWHT tidak terlalu berpengaruh pada lebar HAZ terbukti perbedaan lebar HAZ dengan perlakuan aging yang berbeda tidak memiliki perbedaan yang signifikan dikarenakan aging PWHT dilakukan ketika material sudah dingin. Kenaikan lebar HAZ pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.34.

Tabel 4.16 Lebar HAZ pada setiap spesimen

Keterangan	Lebar HAZ (mm)
<i>Non Heat Treatment</i>	1
<i>Preheating 80°C dan Aging 180°C (A1)</i>	1,6
<i>Preheating 80°C dan Aging 260°C (B1)</i>	1,8
<i>Preheating 100°C dan Aging 180°C (A2)</i>	2,5
<i>Preheating 100°C dan Aging 260°C (B2)</i>	2,6
<i>Preheating 120°C dan Aging 180°C (A3)</i>	3,4
<i>Preheating 120°C dan Aging 260°C (B3)</i>	3,5



Gambar 4.34 Grafik hasil analisa uji makro

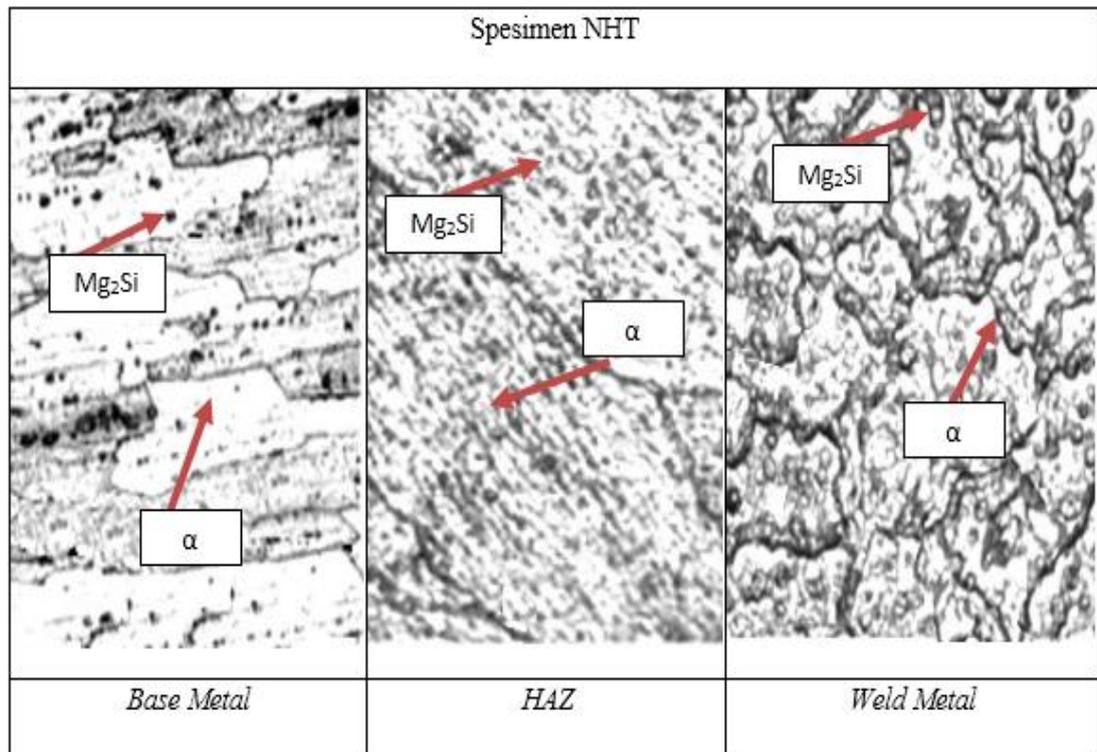
4.5.2 Pengujian Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk dan perubahan struktur mikro akibat adanya perubahan fase, Pada foto struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron dengan perbesaran 100x. Sebelum pengujian metalografi terlebih dahulu dilakukan proses pemolesan. Proses ini dimulai dengan pemolesan menggunakan kertas gosok. Setelah proses pemolesan dengan menggunakan kertas gosok, dilanjutkan dengan proses etsa agar material uji dapat terlihat struktur nya lebih jelas. Proses etsa ini menggunakan larutan reagent keller. Setelah proses etsa dilakukan maka pengamatan struktur mikro dapat dilaksanakan.

4.5.2.1 Hasil Foto Mikro pada Spesimen *Non Heat Treatment*

Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen telah dilakukan pengelasan tanpa perlakuan *preheating* dan *aging PWHT* pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang dan sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen tanpa perlakuan *preheating* dan *aging PWHT* material induk memiliki prosentase α 70,65% dan fasa β 29,35%, pada area *HAZ* dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 64,03% dan fasa β 35,97%

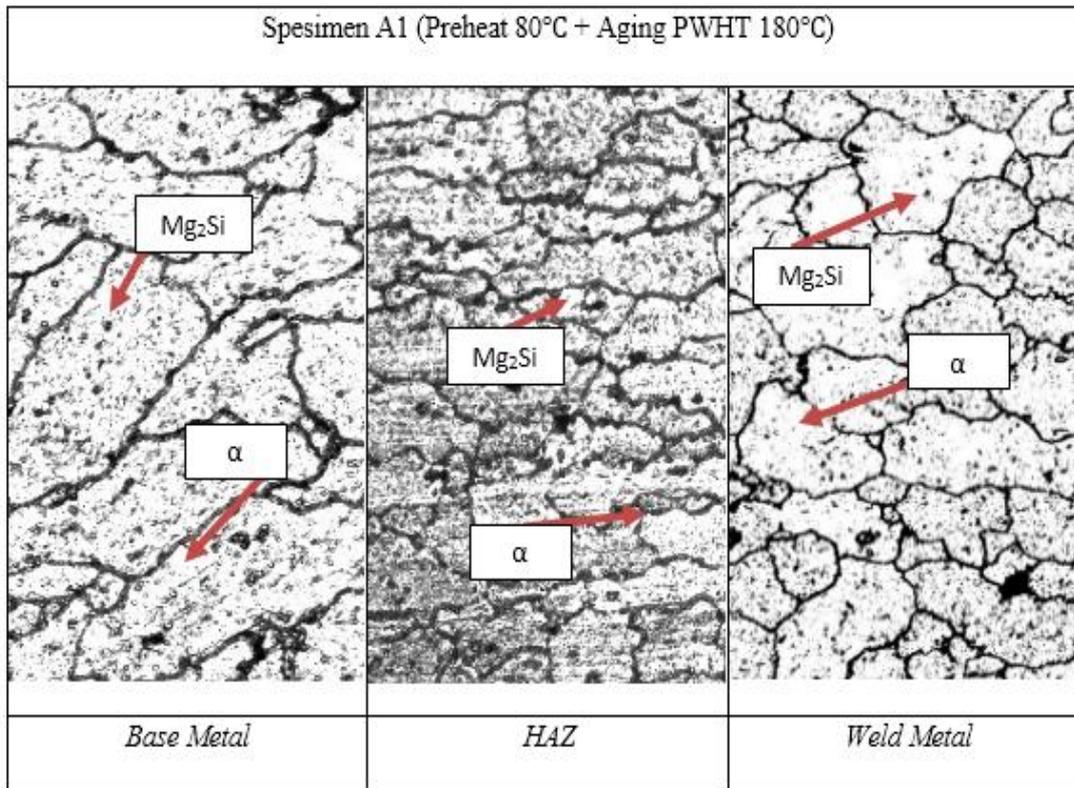
pada area HAZ, dan fasa α 68,16% dan fasa β 31,84% pada *weld* metal. foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 Struktur mikro spesimen tanpa perlakuan panas

4.5.2.2 Hasil Foto Mikro pada Spesimen A1

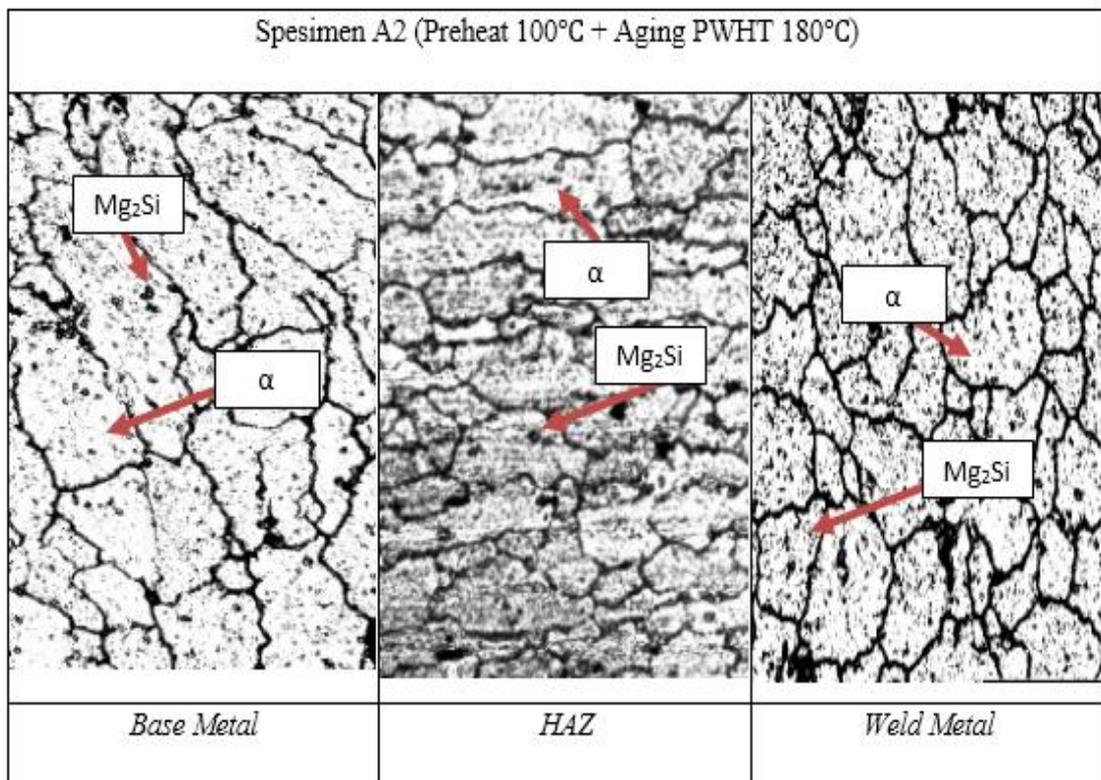
Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen dengan perlakuan *Preheat* 80°C + *Aging PWHT* 180°C (A1) pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen A1 struktur mikro Mg_2Si lebih tersebar dan ukuran butir lebih kecil dari pada spesimen tanpa perlakuan panas. Pada *base metal* memiliki prosentase α 62,56% dan fasa β 37,44%, pada area HAZ dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 49,75% dan fasa β 50,25% pada area HAZ, pada *weld metal* fasa α 68,16% dan fasa β 31,84%. Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4. 36 Struktur mikro spesimen A1

4.5.2.3 Hasil Foto Mikro pada Spesimen A2

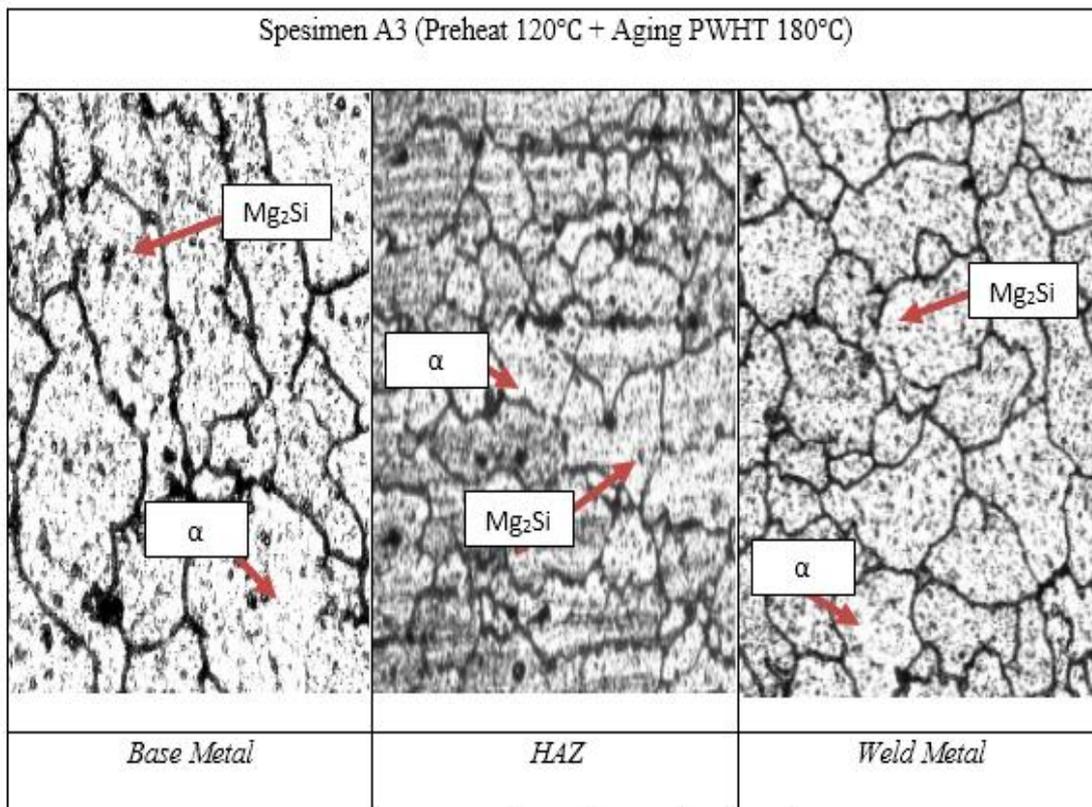
Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen dengan perlakuan *Preheat* 100°C + *Aging PWHT* 180°C (A2) pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen A2 struktur mikro Mg_2Si lebih tersebar dan ukuran butir lebih kecil dari pada spesimen tanpa perlakuan panas, namun bentuk struktur mikro tidak jauh berbeda dari spesimen A1. Pada *base metal* memiliki prosentase α 61,15% dan fasa β 38,85%, pada area *HAZ* dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 49,45% dan fasa β 52,51% pada area *HAZ*, pada *weld metal* fasa α 57,62% dan fasa β 42,38%. Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4.37 Struktur mikro spesimen A2

4.5.2.4 Hasil Foto Mikro pada Spesimen A3

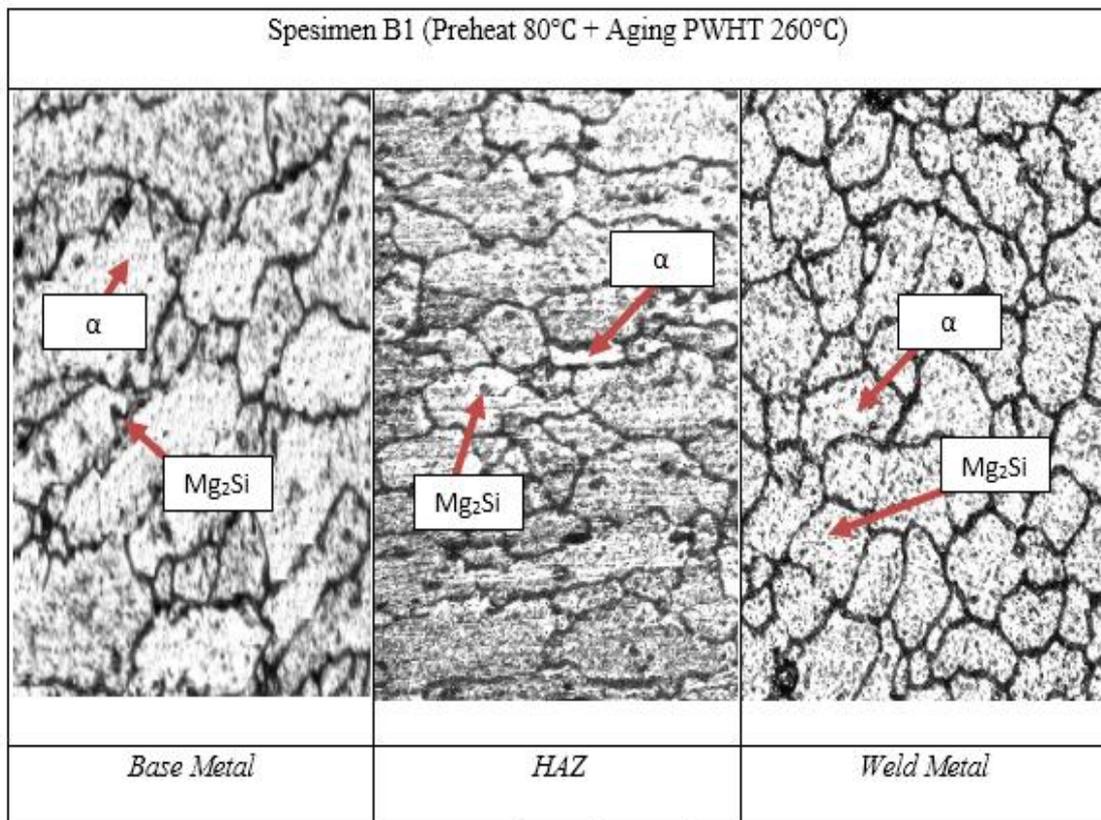
Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen dengan perlakuan *Preheat* 120°C + *Aging PWHT* 180°C (A3) pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen A3 struktur mikro Mg_2Si lebih tersebar dan ukuran butir lebih kecil dari pada spesimen tanpa perlakuan panas, namun bentuk struktur mikro tidak jauh berbeda dari spesimen A1 dan A2. Pada *base metal* memiliki prosentase α 60,21% dan fasa β 39,79%, pada area *HAZ* dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 47,49% dan fasa β 53,21% pada area *HAZ*, pada *weld metal* fasa α 56,75% dan fasa β 45,25%. Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.37.



Gambar 4.38 Struktur mikro spesimen A3

4.5.2.5 Hasil Foto Mikro pada Spesimen B1

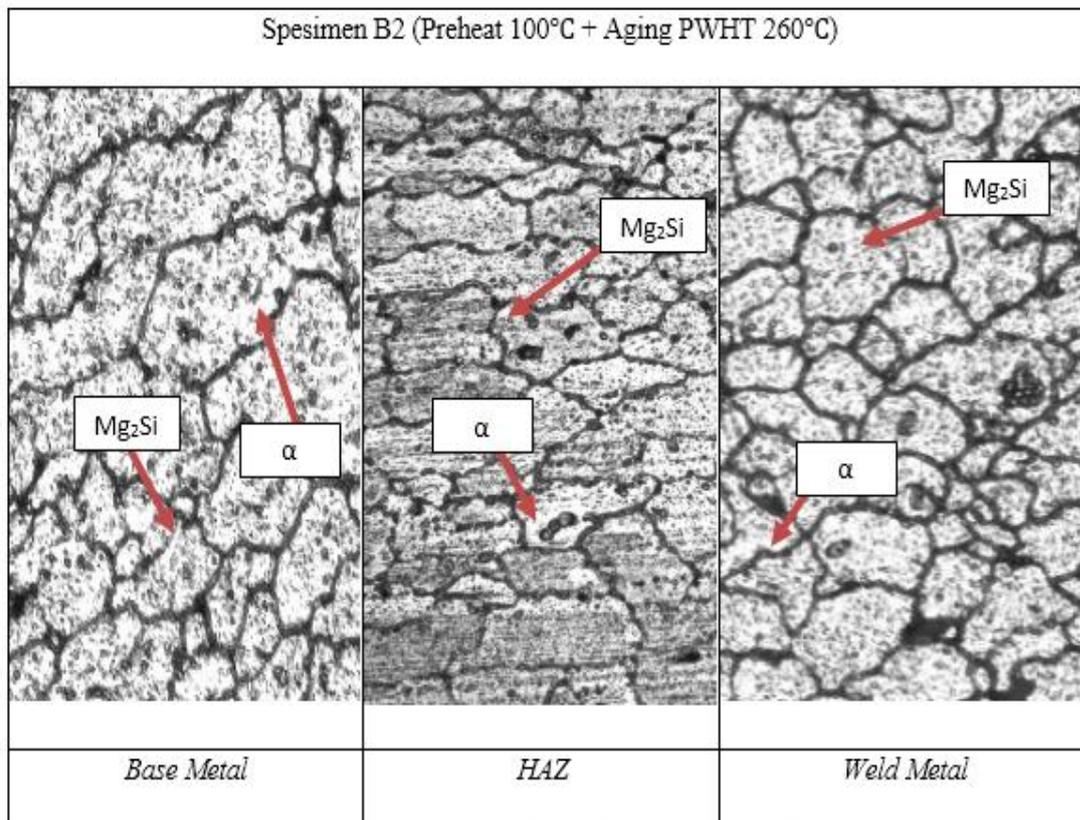
Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen dengan perlakuan *Preheat* 80°C + *Aging PWHT* 260°C (B1) pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen B1 struktur mikro Mg_2Si lebih tersebar dan ukuran butir lebih kecil serta halus dari pada spesimen tanpa perlakuan panas dan spesimen dengan *Aging PWHT* 180°C. Pada *base metal* memiliki prosentase α 58,72% dan fasa β 41,28%, pada area *HAZ* dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 43,68% dan fasa β 56,32% pada area *HAZ*, pada *weld metal* fasa α 53,86% dan fasa β 46,14%. Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.38



Gambar 4.39 Struktur mikro spesimen B1

4.5.2.6 Hasil Foto Mikro pada Spesimen B2

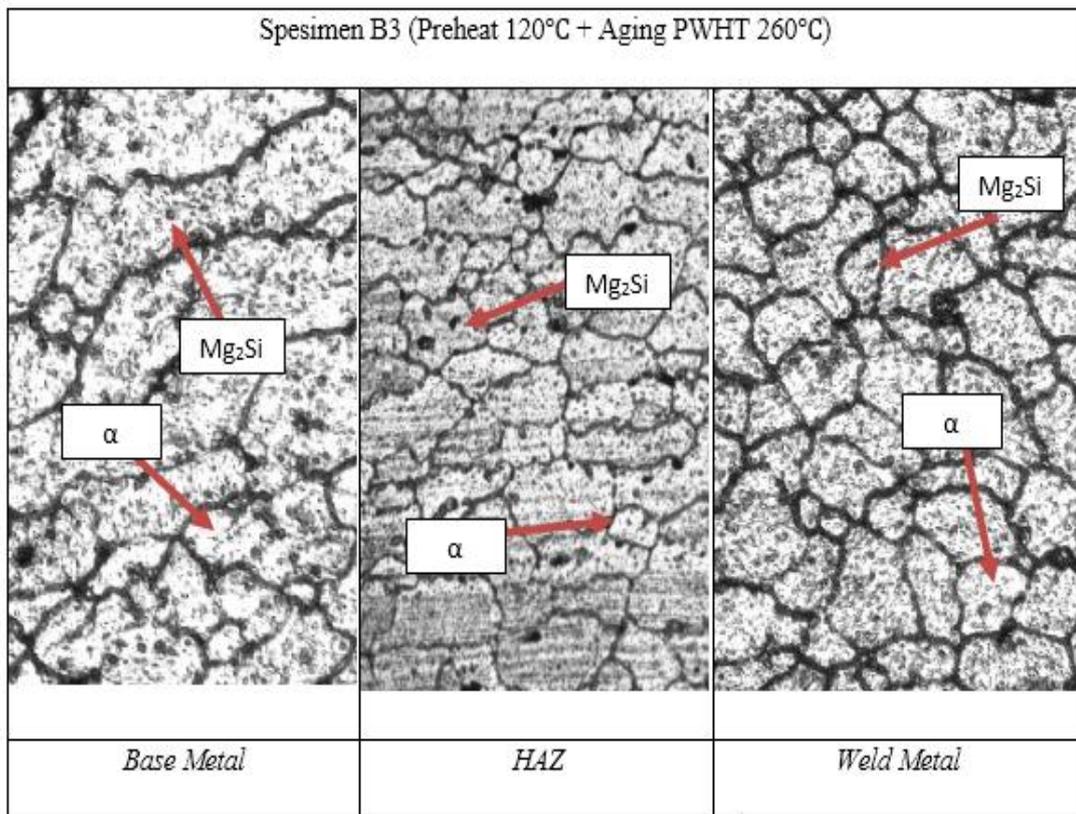
Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen dengan perlakuan *Preheat* 100°C + *Aging PWHT* 260°C (B2) pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen B2 struktur mikro Mg_2Si lebih tersebar dan ukuran butir lebih kecil serta halus dari pada spesimen tanpa perlakuan panas dan spesimen dengan *Aging PWHT* 180°C, namun bentuk struktur mikro tidak jauh berbeda dengan spesimen B1. Pada *base metal* memiliki prosentase α 57,62% dan fasa β 42,38%, pada area *HAZ* dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 43,15% dan fasa β 57,85% pada area *HAZ*, pada *weld metal* fasa α 51,87% dan fasa β 48,13%. Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.39.



Gambar 4.40 Struktur mikro spesimen B2

4.5.2.7 Hasil Foto Mikro pada Spesimen B3

Dapat dilihat hasil struktur mikro dengan perbesaran 100x dari spesimen dengan perlakuan *Preheat* 120°C + *Aging PWHT* 260°C (B2) pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Dari hasil foto mikro terdapat dua fasa yaitu aluminium *solid solution* (α) dan Mg_2Si (β). Pada fasa α memiliki ciri-ciri daerah berwarna terang sifat dari fase ini cenderung lunak. Sedangkan pada fasa β memiliki ciri-ciri berwarna gelap sifat fasa β cenderung keras dan kuat. Pada spesimen B3 struktur mikro Mg_2Si lebih tersebar dan ukuran butir lebih kecil serta halus dari pada spesimen tanpa perlakuan panas dan spesimen dengan *Aging PWHT* 180°C, namun bentuk struktur mikro tidak jauh berbeda dengan spesimen B1 dan B2. Pada *base metal* memiliki prosentase α 56,46% dan fasa β 43,54%, pada area *HAZ* dan *weld metal* struktur fasa β meningkat yaitu masing-masing prosentase fasa α 41,25% dan fasa β 58,75% pada area *HAZ*, pada *weld metal* fasa α 51,16% dan fasa β 48,84%. Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.40.



Gambar 4.41 Struktur mikro spesimen B3

4.5.2.8 Analisa Hasil Foto Mikro

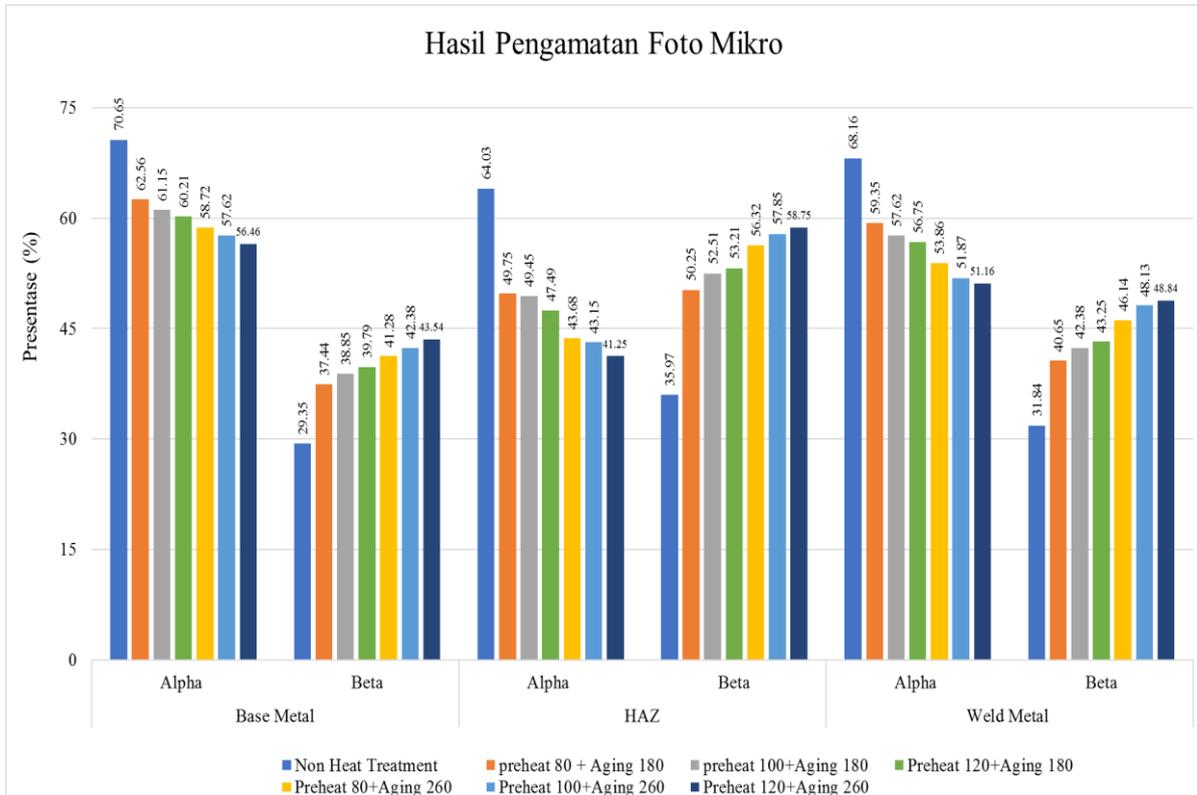
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro karena pengaruh suhu *preheat* dan *aging PWHT* pada *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* untuk setiap spesimen. Hasil pengamatan menunjukkan struktur mikro yang terdapat pada spesimen tanpa perlakuan *heat treatment* pada daerah lasan atau *weld metal*, dan *Heat Affected Zone* (*HAZ*) terlihat pembentukan struktur mikro berupa dendritik dan eutentik, sedangkan pada daerah logam induk atau *base metal* tidak terjadi perubahan struktur yang signifikan. Selanjutnya pada 6 spesimen yang diberikan perlakuan panas yaitu spesimen A1, A2, A3, B1, B2, dan B3 *heat treatment* memberikan perubahan struktur mikro baik pada *weld metal*, *HAZ*, maupun logam induk terlihat terjadi perubahan pada struktur dan bentuk butiran yang lebih homogen dan cenderung berbentuk hexagonal. Seiring dengan bertambahnya suhu *aging* pula ukuran butir yang lebih kecil dengan banyak tersebar Mg_2Si , hal ini sesuai dengan *ASM Hand Book Metallography* pada aluminium 6061 presipitat yang terbentuk adalah Mg_2Si sifat dari presipitat

ini keras dan kuat. Sehingga dapat disimpulkan semakin banyak Mg_2Si material akan semakin kuat akibatnya dapat meningkatkan kekuatan tarik material tersebut. Dalam penelitian ini ditemukan presentase Mg_2Si paling banyak terdapat di HAZ pada keseluruhan spesimen. Menurut Hwang *et al* (2010) menjelaskan bahwa evaporasi paduan pada *weld pool* dapat menyebabkan hilangnya unsur-unsur paduan, unsur Mg biasanya menurun pada *weld pool*.

Selain presipitat Mg_2Si peningkatan sifat mekanik juga dipengaruhi oleh batas butir. Batas butir merupakan halangan bagi pergerakan dislokasi, butir semakin halus cenderung akan memperbanyak batas butir sehingga mengakibatkan gerakan dislokasi butir semakin sulit yang nantinya akan meningkatkan sifat mekanik dari logam (Setyawan, 2014). Dapat disimpulkan bahwa spesimen B3 dengan Preheat 120°C dan aging PWHT 260°C memiliki kekuatan tarik paling tinggi dikarenakan memiliki persentase Mg_2Si paling besar yaitu 48,84% pada weld metal, 58,75% pada HAZ, dan 43,54% pada base metal, sehingga daerah patahan ada pada base metal hal ini sesuai dengan hipotesis diawal. Sedangkan kekuatan tarik terendah ada pada spesimen tanpa heat treatment dengan persentase Mg_2Si terendah yaitu yaitu 31,84% pada weld metal, dan 35,97% pada HAZ dan 58,75% pada base metal 29,35% Untuk detail persentase fasa pada ketujuh spesimen dapat dilihat pada Tabel. 4.17 dan grafik analisa uji mikro pada Gambar 4.41.

Tabel 4.17 Persentase fasa pada setiap spesimen

Spesimen	Perlakuan	Base Metal		HAZ		Weld Metal		Rata-rata	
		Alpha	beta	Alpha	beta	Alpha	beta	Alpha	Beta
NHT	Non Heat Treatment	70.65%	29.35%	64.03%	35.97%	68.16%	31.84%	67.61%	32.39%
A1	Preheating 80°C dan Aging 180°C	62.56%	37.44%	49.75%	50.25%	59.35%	40.65%	57.22%	42.78%
A2	Preheating 100°C dan Aging 180°C	61.15%	38.85%	49.45%	52.51%	57.62%	42.38%	56.07%	44.58%
A3	Preheating 120°C dan Aging 180°C	60.21%	39.79%	47.49%	53.21%	56.75%	43.25%	54.82%	45.42%
B1	Preheating 80°C dan Aging 260°C	58.72%	41.28%	43.68%	56.32%	53.86%	46.14%	52.09%	47.91%
B2	Preheating 100°C dan Aging 260°C	57.62%	42.38%	43.15%	57.85%	51.87%	48.13%	50.88%	49.45%
B3	Preheating 120°C dan Aging 260°C	56.46%	43.54%	41.25%	58.75%	51.16%	48.84%	49.62%	50.38%



Gambar 4.42 Hasil analisa uji struktur mikro

4.6 Hubungan Antara Uji Tarik, Uji Makro, dan Uji Mikro

Dari ketiga uji yaitu pengujian tarik, pengujian makro, dan pengujian mikro dapat dilihat bahwa variasi temperatur *preheating* dan *Aging Post Weld Heat Treatment (PWHT)* yang diberikan pada material memberikan pengaruh pada hasil pengelasan. Dapat dilihat dari pengujian tarik pada spesimen dengan variasi suhu perlakuan panas didapatkan nilai kekuatan tarik meningkat seiring dengan pertambahan suhu *preheat* dan *aging PWHT*. Hal ini terjadi dikarenakan pengaplikasian *preheat* dan *aging PWHT* dapat meningkatkan kelarutan Mg dalam aluminium. Sehingga kemampuan Mg dalam mengikat Si akan semakin meningkat pula, membentuk presipitat Mg_2Si yang semakin banyak. Distribusi presipitat dalam bentuk partikel endapan fase kedua ini menimbulkan tegangan (*internal stress*). Tegangan yang ditimbulkan semakin besar sehingga mengakibatkan semakin meningkatnya kekuatan. Terbukti kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen dengan pengaplikasian suhu paling tinggi yaitu *preheat* $120^{\circ}C$ dan *aging PWHT* $260^{\circ}C$ (B3), yang mana spesimen ini memiliki

prosentase Mg_2Si terbanyak dibandingkan specimen lain dengan suhu perlakuan panas lebih rendah

. Selain meningkatkan kekuatan tarik perlakuan panas juga meminimalisir terjadinya cacat las pada keseluruhan specimen dengan pengaplikasian *preheat* tidak ditemukan cacat las pada hasil foto makro. Juga pengaplikasian *preheat* mempengaruhi lebar HAZ, Semakin tinggi suhu *preheat* yang diberikan akan memperlebar HAZ. Dengan bertambahnya suhu *preheat* maka penetrasi akan semakin dalam mengakibatkan hasil lasan semakin kuat. Hasil foto makro menunjukkan specimen dengan *preheat* 120 °C memiliki lebar HAZ terbesar yaitu pada specimen B3, hal ini menyebabkan specimen dengan *preheat* 120 °C dan *aging PWHT* 260 °C (B3) memiliki kekuatan tarik tertinggi. Namun perlakuan aging PWHT tidak memberi hasil yang signifikan pada lebar HAZ dikarenakan perlakuan aging PWHT dilakukan ketika las-lasan sudah dingin. Tetapi perlakuan aging PWHT memberikan pengaruh pada perubahan struktur mikro.

Pada specimen tanpa perlakuan panas memiliki kekuatan tarik paling rendah dibandingkan dengan specimen diberi perlakuan *preheat* dan *aging PWHT* dikarenakan specimen ini memiliki prosentase Mg_2Si paling rendah. Selain karena persentase presipitat yang rendah menurut analisa penulis rendahnya uji tarik bisa dikarenakan terdapat cacat las berupa *incomplete fusion* sebesar 1,02 mm pada weld metal specimen tanpa perlakuan panas, cacat las dapat mempengaruhi kekuatan dari hasil lasan.

Selain terbentuknya fasa Mg_2Si kekuatan tarik juga dipengaruhi oleh *grain size* pada foto mikro dapat dilihat bentuk butir semakin kecil menyebabkan batas butir semakin banyak hal ini menyebabkan dislokasi butir semakin sulit sehingga kekuatan tarik bertambah, dapat dilihat butir semakin halus dan batas butir lebih banyak seiring dengan bertambahnya suhu perlakuan panas Dapat disimpulkan berdasarkan keterkaitan tiga uji bahwa suhu *preheat* paling optimum adalah 120 °C dan suhu *aging* paling optimum adalah 260 °C dikarenakan pada ketiga uji specimen tersebut memiliki hasil yang paling baik dari pada keenam specimen yang lain.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi temperatur preheating dan aging post weld heat treatment pada pengelasan GTAW Alumunium 6061, didapatkan kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini. Berikut merupakan uraian kesimpulan, yaitu:

1. Dari pengujian tarik yang dilakuan dapat diambil kesimpulan perlakuan preheat dan aging mempengaruhi nilai kekuatan tarik dari sambungan las. Perlakuan *preheat* dan *aging PWHT* dapat meningkatkan prosentase kekuatan tarik. Hasil pengujian tarik didapatkan nilai tertinggi yaitu pada pengelasan GTAW Alumunium 6061 dengan perlakuan *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C, nilai *yield strength* sebesar 125,21 MPa dan nilai *ultimate strength* sebesar 246,74 MPa. Dan pengujian tarik terendah yaitu pada pengelasan GTAW tanpa diberi perlakuan panas dengan nilai *yield strength* sebesar 87,73 MPa dan *ultimate strength* sebesar 167,66 MPa. Peningkatan kekuatan tarik dikarenakan prosentase Mg₂Si akan semakin besar seiring dengan bertambahnya suhu *preheat* dan *Aging PWHT*.
2. Pada pengamatan struktur makro-mikro perlakuan *preheat* dan *Aging PWHT*. mempengaruhi struktur makro dan mikro spesimen. Pada foto makro didapatkan semakin tinggi variasi suhu preheat HAZ yang dihasilkan semakin panjang, Lebar HAZ terpanjang ada pada pengelasan dengan temperature perlakuan *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C yaitu sepanjang 3,5 mm. Sedangkan perlakuan aging tidak memberikan efek yang signifikan pada lebar HAZ, tetapi memberikan perubahan pada struktur mikro. Untuk struktur mikro semakin tinggi suhu preheat dan aging PWHT prosentase presipitat Mg₂Si (β) akan semakin meningkat, Pengelasan dengan temperature *preheat* 120°C dan *aging PWHT* 260°C (B3) memiliki rata-rata fase Mg₂Si (β) yang paling banyak yaitu 50,38% dan fasa Alumunium (α) 49,62%. Semakin banyak Mg₂Si yang terbentuk maka kekuatan tarik akan semakin baik, dapat ditarik kesimpulan suhu preheating yang optimal adalah pada suhu 120°C dan suhu aging yang optimal adalah pada suhu 260°C karena menghasilkan hasil lasan yang tangguh dan kuat

5.2 Saran

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

1. Pada penelitian selanjutnya perlu adanya penelitian lebih mendalam tentang variasi *holding time* pada proses *aging heat treatment*.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian lain seperti uji kekerasan dan uji tekuk
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan *treatment* lain untuk memperbaiki sifat mekanis alumunium seperti *cold work*

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F. 2010. *Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas*. Thesis. Semarang: Prodi Magistes Teknik Mesin Universitas Negri Semarang.
- Amado, M., dan F. Daroqui. 2015. "Revision of the Solvus Limit of Al-Mg₂Si Pseudo Binary Phase". *International Congress of Science and Technology of Metallurgy and Materials*, Argentina: 1079 – 1088.
- Asaroni, A.U. 2019. "Analisis Struktur Mikro, Kekuatan Tarik, dan Nilai Kekerasan Pada Studi Kasus Terbakarnya Kapal *Coaster*". Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Bangunan Kapal Prodi D-4 Teknik Pengelasan PPNS.
- ASTM E3-01. 2001. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Washington: ASTM International
- ASM Handbook. 1992. *Metallography and Microstructures*. USA: ASM International
- AWS section D1.2. 2014. *Structural Welding Code Aluminium*. USA: American Welding Society
- AWS Welding Handbook 9th Edition. 2001. *Welding Science and Technology*. Miami: American Welding Society.
- Buchbinder, D., W. Meiners, N. Pirch, K. Wissenbach. 2014. "Investigation on reducing distortion by Preheating During Manufacture of Aluminum Components Using Selective Laser Melting". *Journal of Laser Application*. 26(1): 012004.
- Funderburk, R. S. 1997. "Key Concepts In Welding Engineering (Fundamentals of Preheat)", *Welding Innovation*. 16(2).
- Han, N. M., X. M. Zhang, S. D. Liu,, D. G. He, R. Zhang. 2011. "Effect of Solution Treatment on The Strength and Fracture Toughness of Aluminum". *Journal of Alloys and Compounds*. 509(10): 4138–4145.
- Hatch, J. E. (1984). *Aluminium : Properties and Physical METallurgy*. USA: ASM International.

- Hilty, E.B. 2014. *Influence of Welding and Heat Treatment on Aluminium Alloys*. Thesis. USA: Department of Mechanical Engineering University of Akron..
- Kah, P., E. Hiltunen , dan J. Martikainen. 2010. "Investigation of Hot Cracking in the Welding of Aluminium Alloys 6005 and 6082". *63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding*. AWST-10/128. 373-380.
- Krishna, P. C. 2017. "Influence of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Alumunium Alloys (6xxx Series)". *International Journal of Engineering Research & Technology*. 6(3): 386-389.
- Kou, S. 2003. *Welding Metallurgy*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Koirufik, I. 2015. *Analisa Teknis Pengelasan Dissimilar Material Antara AA 6063 dan AA 5083 Ditinjau dari Aspek Mekanis dan Metalurgi pada Bangunan Kapal*. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS
- Kumar, M., M. M. Baloch, , dan M. I. Abro. 2019. "Effect of Artificial Aging Temperature on Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy. *Journal of Engineering and Technology*. 31-36.
- Lin, Y. T., D. P. Wang, M. C. Wang, Y. Zhang, Y. Z. He. 2016. "Effect of Different Pre and Post Weld Heat Treatments on Microstructures and Mechanical Properties of Variable Polarity TIG Welded AA2219 Joints". *Science and Technology of Welding and Joining*. 21(3): 234-241.
- Ma, H., G. Qin, L. Wang, X. Meng, L. Chen. 2015. "Effects of Preheat Treatment on Microstructure Evolution and Properties of Brazed Fusion Welded Joint of Alumunium Alloy to Steel". *Materials and Design*. 90: 330-339.
- Majanasastra, R. S. 2015. "Pengaruh Variable Waktu (Aging Heat Treatment) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Kepala Piston Honda Vario". *Jurnal Imiah Teknik Mesin*. 3(2): 87-101.

- Mansoori, H., R. Mirzaee, F. Esmailzadeh, A. Vojood, A.S. Dowrani. 2017. "Pitting Corrosion Failure Analysis of a Wet Gas Pipeline". *Engineering Failure Analysis*. 82: 16-25.
- Masubuchi, K. 1980. *Analysis of Welded Structures: Residual stresses, Distortion, and their Consequences*. UK: Pergamon Press Ltd.
- Mathers, G. 2001. *The Welding of Aluminium and its Alloys*. North America: Woodhead Publishing Ltd.
- Meng, C. 2010. *Effect of Preheating Condition on Strength of AA6060 Aluminium Alloy for Extrusion*. Thesis. New Zealand: School of Engineering Auckland University of Technology.
- Nafrizal, Tarkono, dan Sugiyanto. 2011. "Analisis Uji dan Non Destructive Terhadap asil Sambungan Las V Tunggal Baja AISI 1045". *Jurnal Mechanical*. 2(2): 66-70.
- Onat, A. 2018. "Effects of Artificial Aging Heat Treatment on Mechanical". *Journal of Chemical Engineering and Materials*. 17-23.
- Palgunadhi, H. 2017. *Analisis Pengaruh Suhu Preheating pada Pengelasan Baja Karbon Sedang (ASTM 53) Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi*. Tugas Akhir .Surabaya: Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.
- Putri, A. M., I. Rochani, dan H. Supomo. 2012. "Studi Laju Korosi dan Surface Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending". *Jurnal Teknik ITS*. 1: 198-202.
- Qin, Y., X. He, dan W. Jiang, (2018). "Influence of Preheating Temperature on Cold Metal Transfer (CMT) Welding–Brazing of Aluminium Alloy/Galvanized Steel". *Appl Sci*. 8: 1659.
- Radaj, D. 1992. *Heat Effect of Welding Temperature Field, Residual Stress, and Distortion*. Berlin: Springer Verlag.

- Ridhwan, J., J. A. Noor, M. S. Zakaria, Z. Zulfattah, M. M. Hafidzal. 2014. "Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of 6061 Alloy". *Journal of Engineering and Technology*. 5(1): 89-98.
- Saefuloh, I., A. Promono, dan W. Jamaludin. 2018. "Studi Karakterisasi Sifat Mekanik Dan struktur Mikro Material Piston Alumunium-Silikon Alloy". *Jurnal Teknik Mesin Untirta*. 4(2): 56-62
- Setyawan, P. E., Y. S. Irawan, , dan S. Wahyono. 2014. Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 5(2): 141-148.
- Sharma, S. D., R.. Saluja, dan K. M. Moeed. 2013. "A Review on Effect of Preheating and/or Post Weld Heat Treatment on Hardened Steel". *International Journal of Technical Research and Application*. 1: 05-07.
- Stannard, D., E. Adlington, W.Offshore, M. Bayley. 1989. "Design Implications on the Use of Aluminum Offshore". *21st Annual Offshore Technology Conference*, Houston: 253-260
- Subagyo, N. I. 2017. *Analisis Pengaruh Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis pada Alumunium 6061*. Tugas Akhir. Bandar Lampung : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Surdia, T., dan S. Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Tan, C. F., dan M. R. Said. 2009. "Effect of Hardness Test on Precipitation HardeningAluminium Alloy 6061-T6". *Chiang Mai Journal Science*. 36(3): 276-286.
- Temmar, M., M. Hadji, dan T. Sahraoui. 2011. "Effect of Post-Weld Aging Treatment on Mechanical Properties of Tungsten Inert Gas Welded Low Thickness 7075 Aluminium Alloy Joints". *Materials and Design*. 32: 3532–536.
- Wiryosumarto, H., dan T. Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

- Yasfi, A. F. 2018. *Analisa Pengaruh Aplikasi Preheat dan Post Weld Heat Treatment pada Pengelasan Alumunium 5083 Propeller Shaft Bracket Menggunakan Metode Pengelasan GMAW Terhadap Sifat Mekanis dan Metalurgi*. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.
- Zheng, Chuan-bo., Xi C., Chun-ling L., Xiao-lan S., dan Ke C. 2016. "The Effect of Heat Treatment on Corrosion Resistance of 6061 Aluminium Alloy". *International Journal of Electrochemical Science*. 11: 7254 – 7261.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN A

NDT REPORT

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT				Sheet 1 of 1								
Customer : TIN R		Report No. : 01-RT/RBT-TA/X/19												
Project Name : TA		Drawing No. : -												
Location : SURABAYA		Procedure No. : RBT - P -05												
Work Order No. : -		Applicable Code : ASME IX												
PART		RADIATION SOURCE		RADIOGRAPHIC FILM		LEAD SCREEN								
Name : Plate		Isotope Type : Ir-192		Brand : AGFA		Thickness: 0.125 mm								
OD : -		Activity : 37		Film Type : D7		Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front								
Base Mat'l Type : AA 6061		X-ray Equipment : -		Dimension: 4x10		<input checked="" type="checkbox"/> Back								
Base Mat'l Thk. : 6 mm		Voltage : -		No. of Film in a Cassette: 1		MARKER								
Reinforcement : 2 mm		Current : -		Lead letter "B" used : <input type="checkbox"/>		Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/>								
Backing : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Source Size (mm) : 2 x 3		Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Film Side <input type="checkbox"/>								
TECHNIQUE		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH				IMAGE QUALITY INDICATOR								
Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>						Wire Set: 02B Wire ID: 6								
Viewing : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>						Hole Designation: - Visible Hole 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>								
Exposure Time : 0.5 Min		DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>				Placement: Source Side <input checked="" type="checkbox"/>								
Ug : 0.5 mm		Note for sketch: 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed 2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)				Film Side <input type="checkbox"/>								
SOD : 15 Inch						DENSITY: Min : 2								
SSOF : 8 mm						Max : 4								
Note: SOD : Source to Object Distance SSOF : Source side to Object Film														
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity						Result		Remark / Comment	
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	Acc		Rej
15-10-2019	-	No.1A	A - B									Acc	-	
	-	No.1B	A - B									Acc	-	
	-	No.2A	A - B									Acc	-	
	-	No.2B	A - B									Acc	-	
	-	No.3A	A - B						v			Acc	-	POR 1mm
	-	No.3B	A - B									Acc	-	
	-	No.Non	A - B									Acc	-	
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack Welding Process(es) : GTAW Total Film/s : 4" x 10" = 6 Sheet/s 4" x 15" = - Sheet/s														
Examined By,		Reviewed/Witnessed By,			Reviewed/Witnessed By,			Reviewed/Witnessed By,						
 NDT Level II Date:18/10/2019		Date:			Date:			Date:						

LAMPIRAN B
***FORM* Uji Tarik, Uji Makro,**
Uji Mikro



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

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444 FAX. (031) 5999444 e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1289 /PL19/BJP/2019
Number

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
O1	5.71	18.91	-	107.98	-	9.52	18.12	-	-	-
O2	5.71	18.91	-	107.98	-	9.08	17.91	-	-	-
O3	5.71	18.91	-	107.98	-	9.82	18.28	-	-	-
No	Hasil pengujian							Remark		
	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)				
O1	-	-	-	-	88.16	167.81	WM			
O2	-	-	-	-	84.09	165.88	WM			
O3	-	-	-	-	90.94	169.28	WM			

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

Surabaya, 08 November 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
 Agus	 K. H. T. H. W.

Keterangan / Notes :

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



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

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444 FAX. (031) 5999444 e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor Number	: 1289 /PL19/BJP/2019
-----------------	-----------------------

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
A1.1	5.71	18.91	-	107.98	-	9.59	20.19	-	-	-
A1.2	5.71	18.91	-	107.98	-	9.82	20.04	-	-	-
A1.3	5.71	18.91	-	107.98	-	10.02	20.25	-	-	-
No	Hasil pengujian							Remark		
	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)				
A1.1	-	-	-	-	88.81	186.98	BM			
A1.2	-	-	-	-	90.94	185.59	BM			
A1.3	-	-	-	-	92.79	187.53	BM			

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

Surabaya, 08 November 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
	
Agus	Agus

Keterangan / Notes :

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



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

Jl. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444 FAX. (031) 5999444 e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor
Number : **1289** /PL19/BJP/2019

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
A2.1	5.71	18.91	-	107.98	-	12.02	22.03	-	-	-
A2.2	5.71	18.91	-	107.98	-	12.25	21.80	-	-	-
A2.3	5.71	18.91	-	107.98	-	11.94	22.21	-	-	-
No	Hasil pengujian							Remark		
	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)				
A2.1	-	-	-	-	111.36	204.06	BM			
A2.2	-	-	-	-	113.45	201.85	BM			
A2.3	-	-	-	-	110.58	205.65	BM			

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

Surabaya, 08 Nopember 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
	
Agus	NOKM. F. P. K. W.

Keterangan / Notes :

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



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

JL. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444 FAX. (031) 5999444 e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor
Number : **1289** /PL19/BJP/2019

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
A3.1	5.71	18.91	-	107.98	-	12.96	24.04	-	-	-
A3.2	5.71	18.91	-	107.98	-	12.82	23.80	-	-	-
A3.3	5.71	18.91	-	107.98	-	13.24	23.73	-	-	-
No	Hasil pengujian							Remark		
	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)				
A3.1	-	-	-	-	120.10	222.64	BM			
A3.2	-	-	-	-	118.73	220.43	BM			
A3.3	-	-	-	-	122.62	219.74	BM			

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

Surabaya, 08 Nopember 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
 Agus	 Ucoh Teguh W

Keterangan / Notes :

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



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

Jl. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444 FAX. (031) 5999444 e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor Number	: 1289 /PL19/BJP/2019
-----------------	-----------------------

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
B1.1	5.71	18.91	-	107.98	-	13.10	23.46	-	-	-
B1.2	5.71	18.91	-	107.98	-	12.58	23.09	-	-	-
B1.3	5.71	18.91	-	107.98	-	12.33	23.30	-	-	-

No	Hasil pengujian						Remark
	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)	
B1.1	-	-	-	-	121.29	217.22	BM
B1.2	-	-	-	-	116.54	213.85	BM
B1.3	-	-	-	-	114.21	215.78	BM

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

Surabaya, 08 Nopember 2019

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

Keterangan / Notes :

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



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA & PRODUKSI**

Jl. TEKNIK KIMIA, KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. (031) 5947186 – 5999444 FAX. (031) 5999444 e-mail: pusaksi-ppns@ppns.ac.id

**LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT**

Nomor : **1289** /PL19/BJP/2019
Number

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t ₀ (mm)	Lebar w ₀ (mm)	Diameter d ₀ (mm)	Luas A ₀ (mm ²)	L ₀ (mm)	Beban Yield F _y (kN)	Beban Max. F _u (kN)	Tebal t ₁ (mm)	Lebar w ₁ (mm)	Diameter d ₁ (mm)
B2.1	5.71	18.91	-	107.98	-	13.00	24.88	-	-	-
B2.2	5.71	18.91	-	107.98	-	12.90	24.47	-	-	-
B2.3	5.71	18.91	-	107.98	-	12.94	24.53	-	-	-
No	Hasil pengujian							Remark		
	Luas A ₁ (mm)	L ₁ (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ε (%)	Tegangan Yield σ _y (MPa)	Tegangan Ult. σ _u (MPa)				
B2.1	-	-	-	-	120.36	230.43	BM			
B2.2	-	-	-	-	119.45	226.60	BM			
B2.3	-	-	-	-	119.83	227.17	BM			
Catatan : WM : Weld Metal BM : Base Metal FL : Fusion Line HAZ : Heat Affected Zone										

Surabaya, 08 Nopember 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
	
Agus	Agus

Keterangan / Notes :

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



LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor : 1289 /PL19/BJP/2019
Number

No. SPK 04-XI/PL19/BJP/2019
F.01-LUB-PPNS

I. PENGUJIAN TARIK / TENSILE TEST										
No	Ukuran awal benda uji					Hasil Pengujian				
	Tebal t_0 (mm)	Lebar w_0 (mm)	Diameter d_0 (mm)	Luas A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Beban Yield F_y (kN)	Beban Max. F_u (kN)	Tebal t_1 (mm)	Lebar w_1 (mm)	Diameter d_1 (mm)
B3.1	5.71	18.91	-	107.98	-	13.77	26.96	-	-	-
B3.2	5.71	18.91	-	107.98	-	13.20	26.76	-	-	-
B3.3	5.71	18.91	-	107.98	-	13.59	26.21	-	-	-

No	Hasil pengujian							Remark
	Luas A_1 (mm)	L_1 (mm)	Susut penam- pang (%)	Regang ϵ (%)	Tegangan Yield σ_y (MPa)	Tegangan Ult. σ_u (MPa)		
B3.1	-	-	-	-	127.53	249.68	BM	
B3.2	-	-	-	-	122.24	247.82	BM	
B3.3	-	-	-	-	125.86	242.73	BM	

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

Surabaya, 11 Desember 2019

Diuji oleh,	Diverifikasi oleh,
	
Agus	Kucuk Tjokro W

Keterangan / Notes :

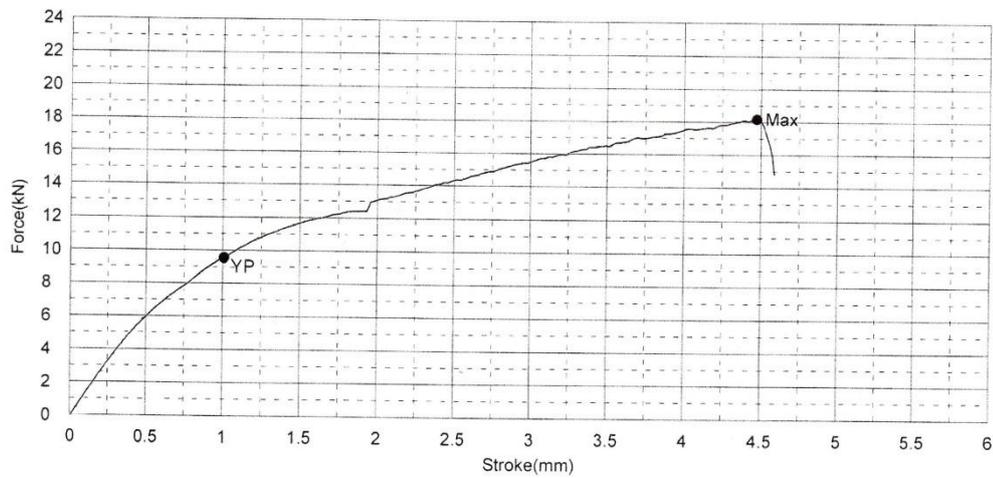
- Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
- Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
This testing report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

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
O1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
O1	107,98	9,52	18,12	88,16	167,81



Comment

Benda uji putus di daerah logam las

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

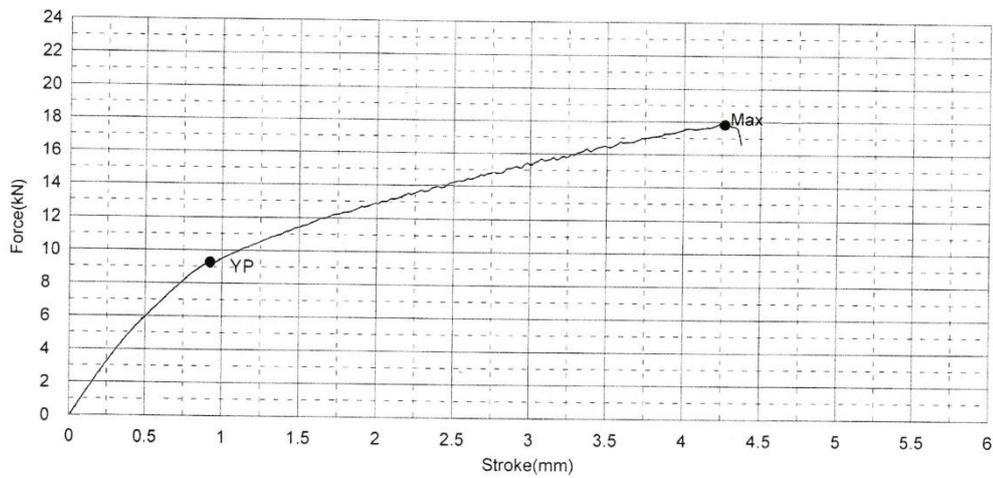

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
O2	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
O2	107,98	9,08	17,91	84,09	165,88



Comment

Benda uji putus di daerah logam las

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

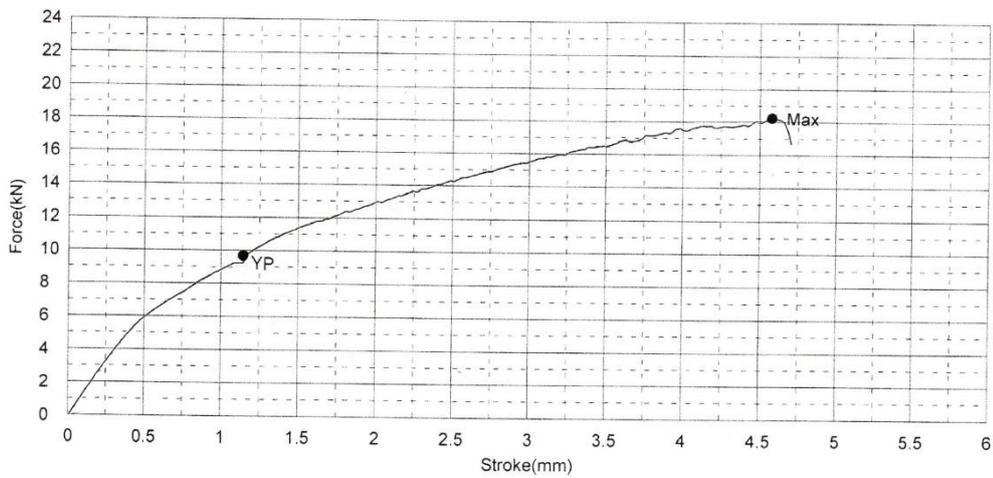
Surabaya, 08 November 2019

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
O3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
O3	107,98	9,82	18,28	90,94	169,28



Comment

Benda uji putus di daerah logam las

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

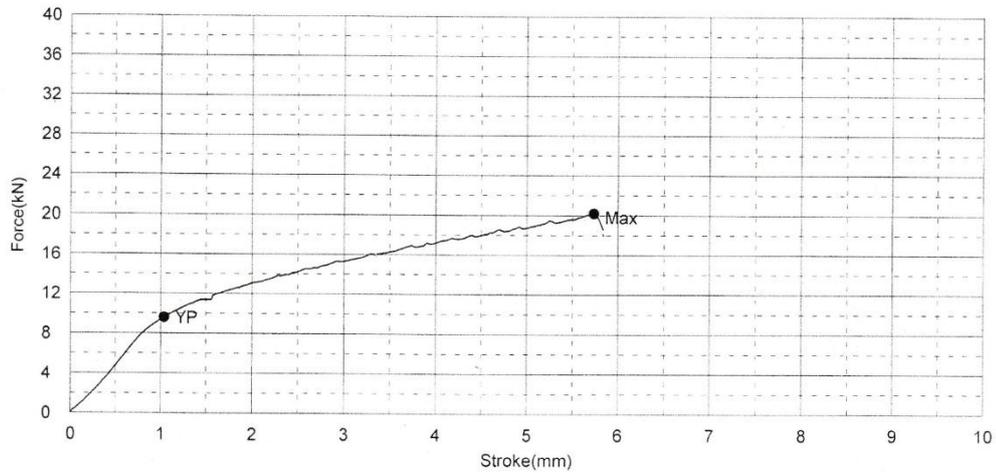
Surabaya, 08 November 2019

**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A1.1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A1.1	107,98	9,59	20,19	88,81	186,98



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

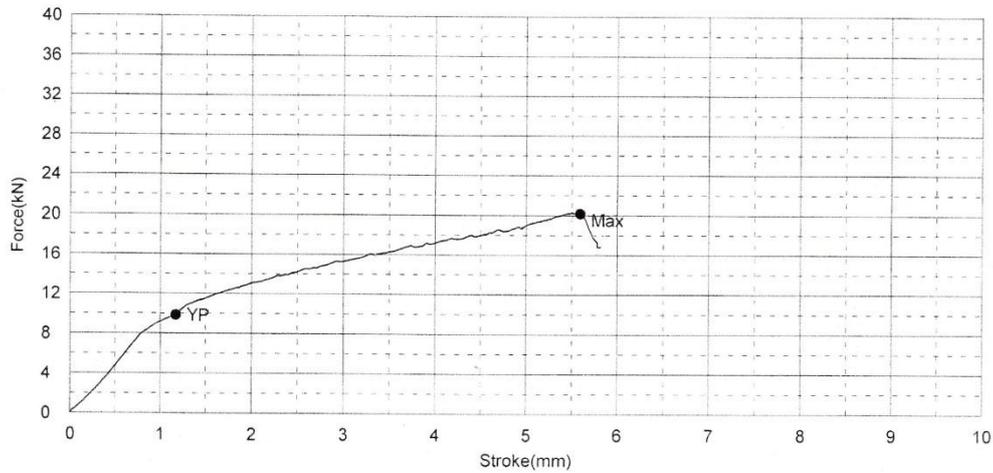


**POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN**

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A1.2	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm2	kN	kN	MPa	MPa
A1.2	107,98	9,82	20,04	90,94	185,59



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019




POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A1.3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A1.3	107,98	10,02	20,25	92,79	187,53



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

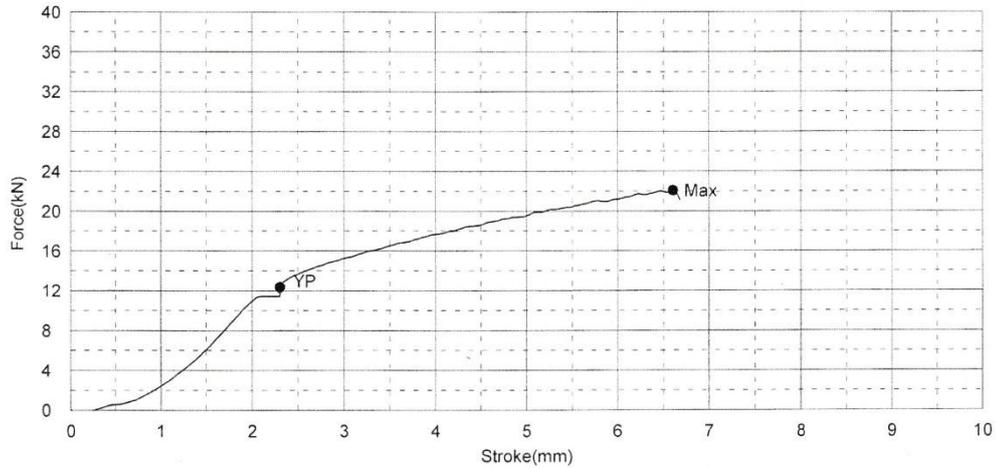
(.....)  

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A2.1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A2.1	107,98	12,02	22,03	111,36	204,06



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

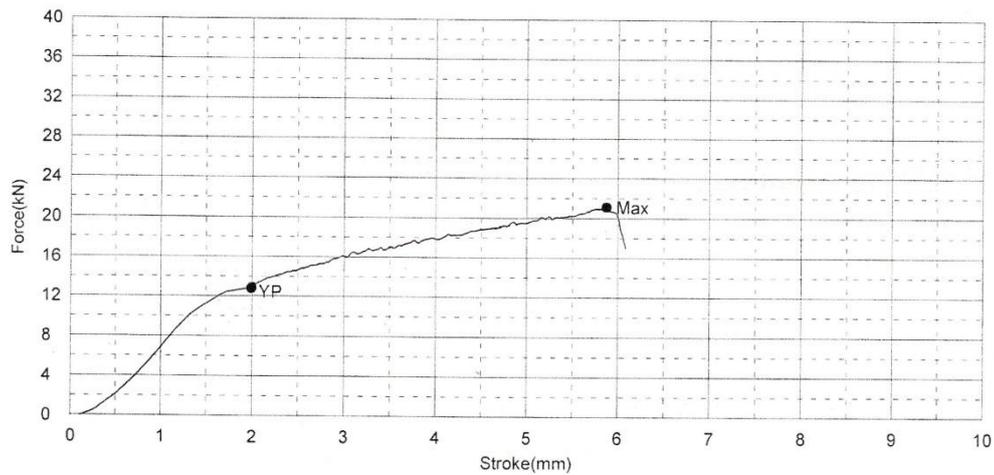


POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A2.2	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A2.2	107,98	12,25	21,80	113,45	201,85



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

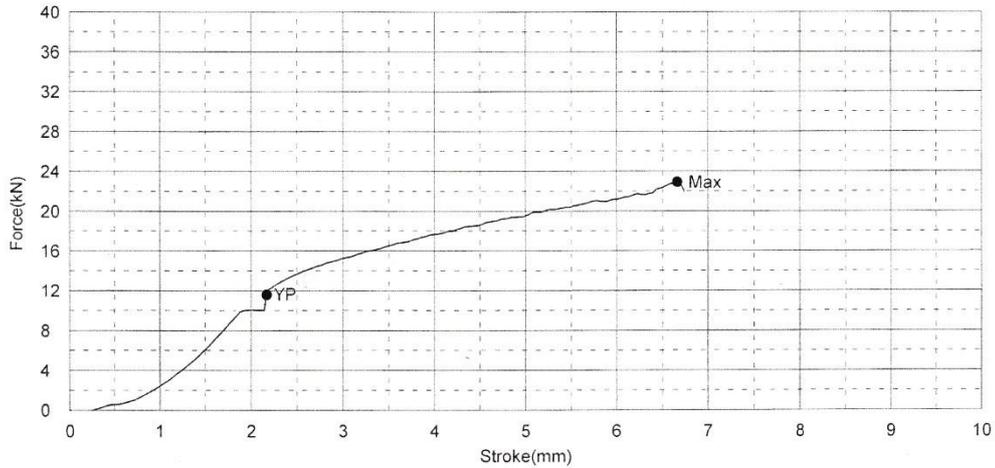
(..... Agus) 

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A2.3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A2.3	107,98	11,94	22,21	110,58	205,65



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

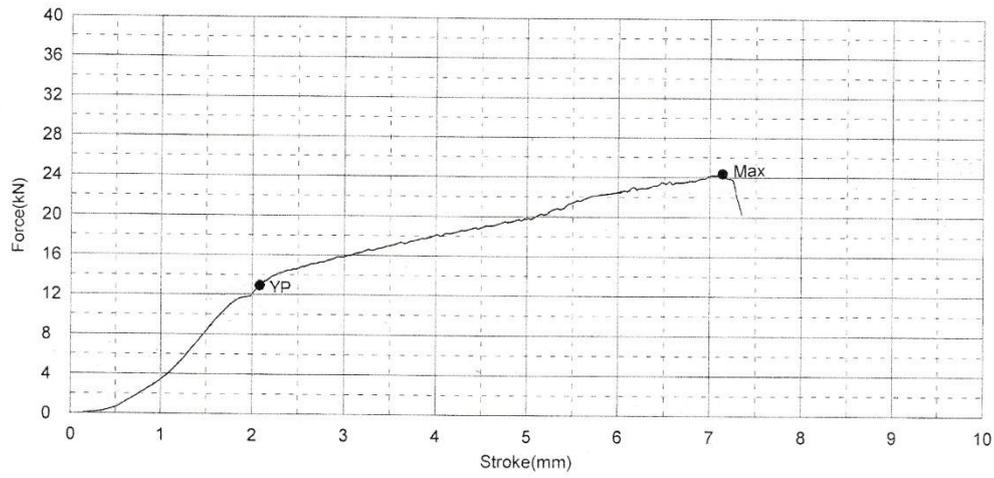


POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A3.1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A3.1	107,98	12,96	24,04	120,10	222,64



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

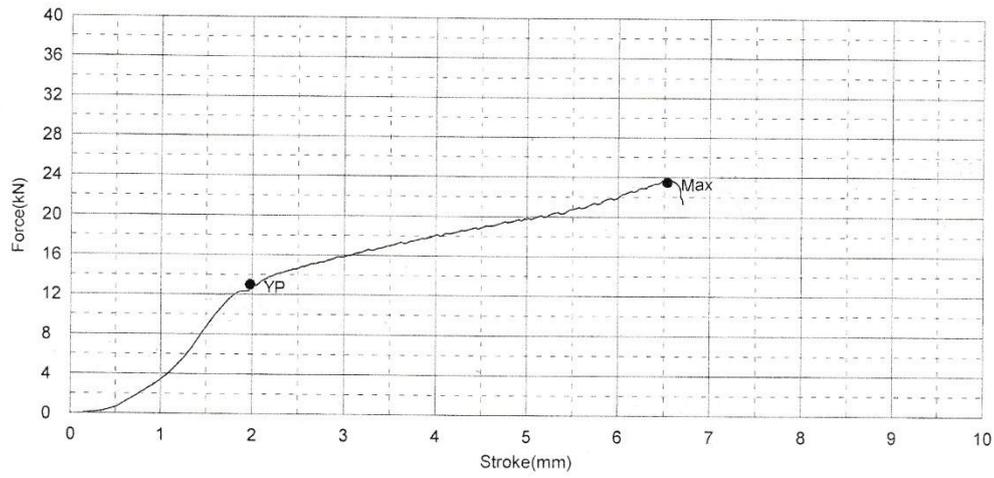
(..... Agus) 

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A3.2	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm2	kN	kN	MPa	MPa
A3.2	107,98	12,82	23,80	118,73	220,43



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

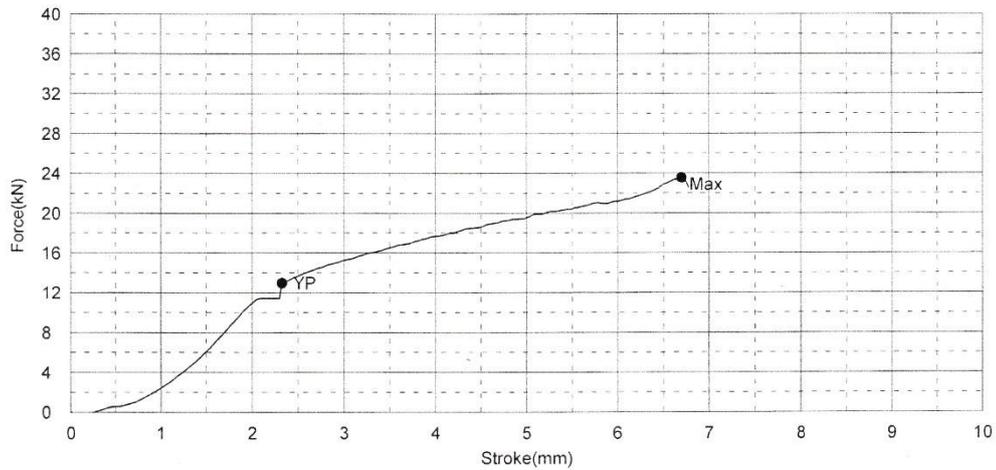

 (.....)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
A3.3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
A3.3	107,98	13,24	23,73	122,62	219,74



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

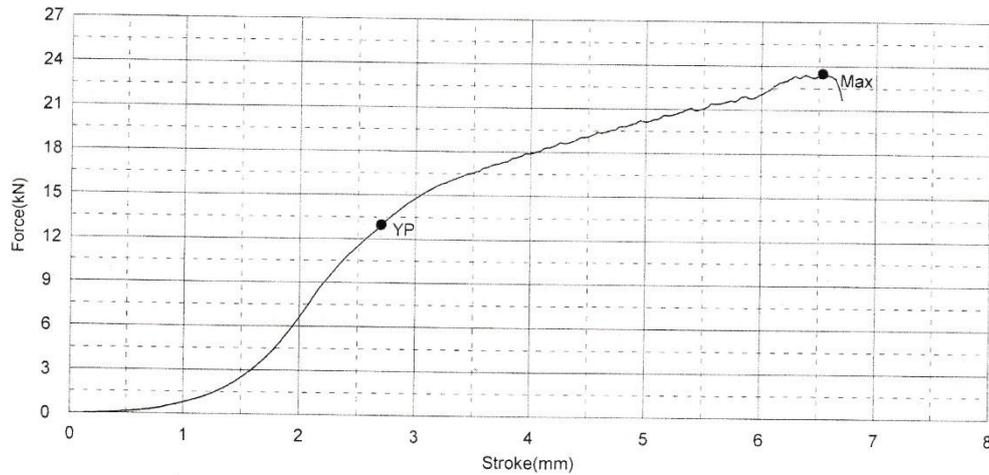


POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B1.1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B1.1	107,98	13,10	23,46	121,29	217,22



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

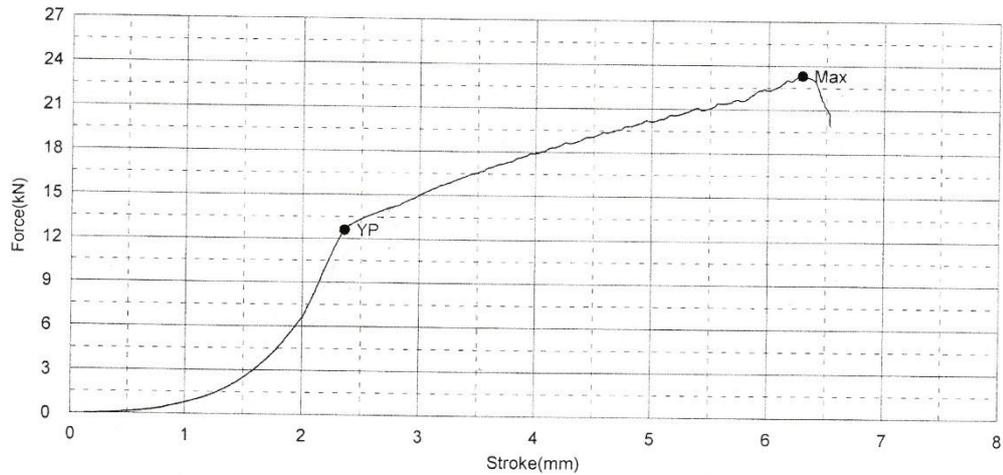


POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B1.3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm2	kN	kN	MPa	MPa
B1.3	107,98	12,33	23,30	114,21	215,78



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

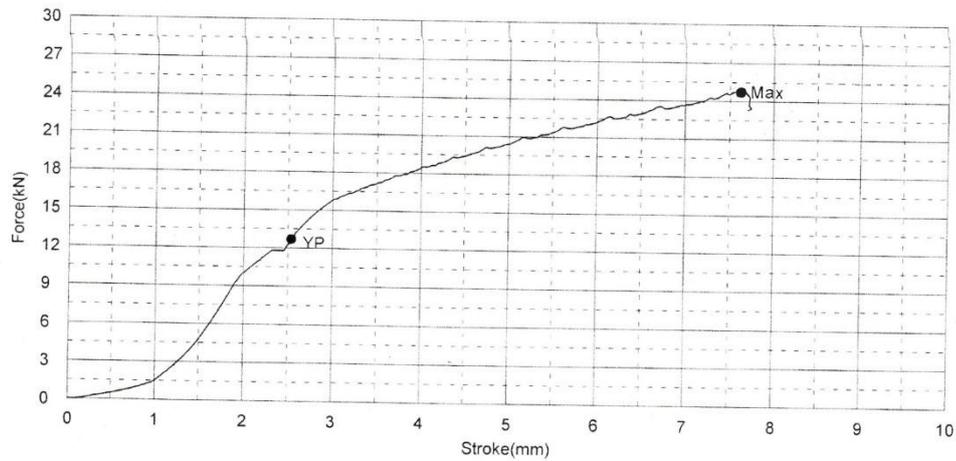


POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B2.1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B2.1	107,98	13,00	24,88	120,36	230,43



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

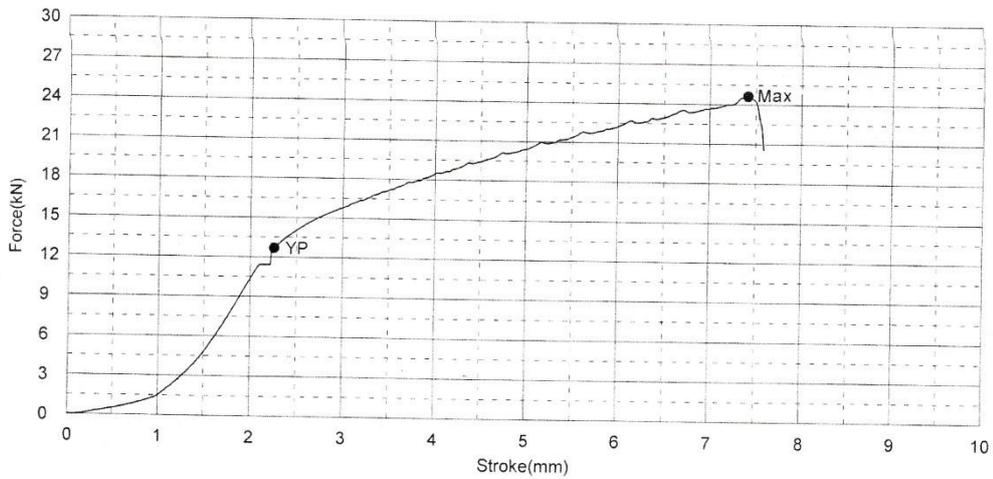
Surabaya, 08 November 2019

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B2.2	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B2.2	107,98	12,90	24,47	119,45	226,60



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019
 Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH
 Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM
 Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm
 Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI
 Referensi: AWS D1.2:2014

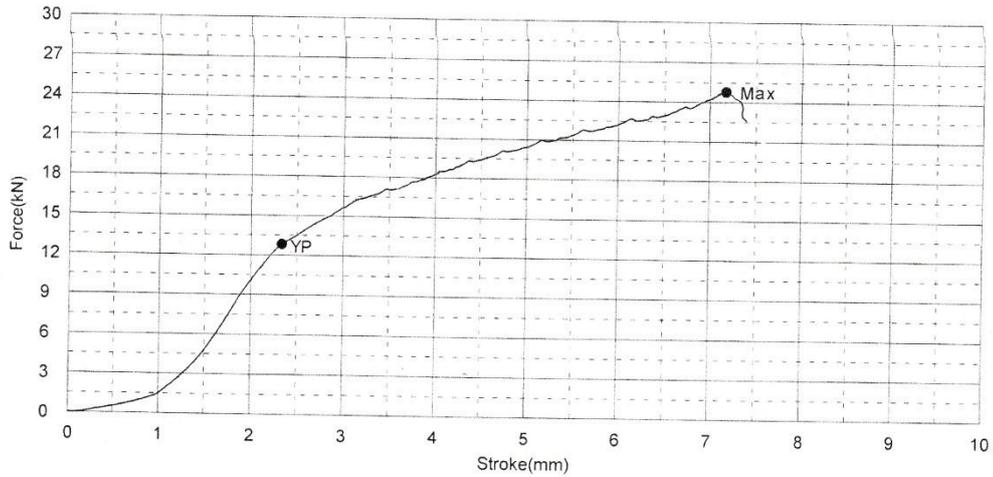
Surabaya, 08 November 2019

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B2.3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B2.3	107,98	12,94	24,53	119,83	227,17



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

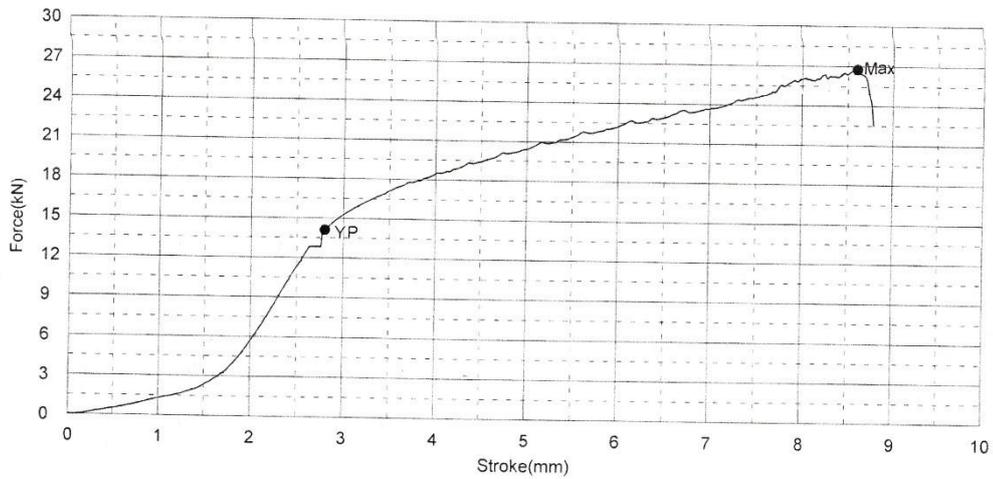



POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B3.1	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B3.1	107,98	13,77	26,96	127,53	249,68



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

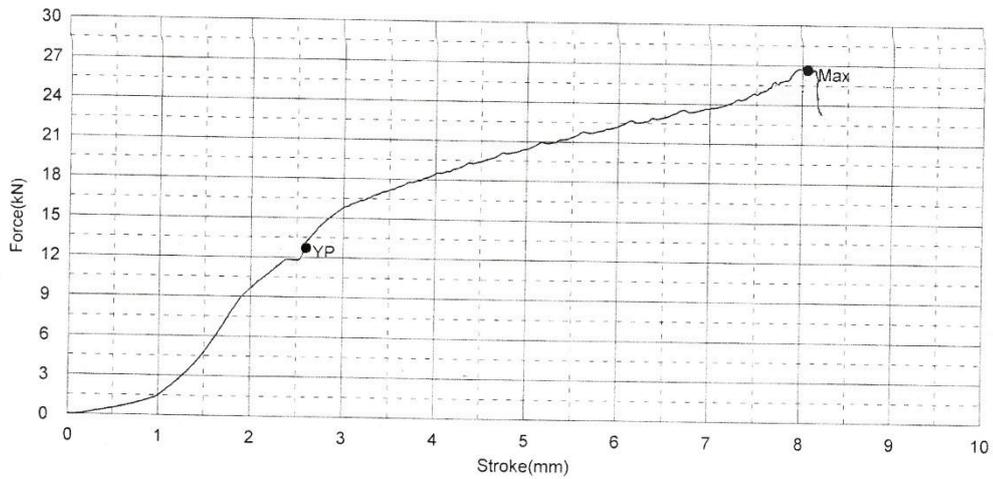
Surabaya, 08 November 2019

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B3.2	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B3.2	107,98	13,20	26,76	122,24	247,82



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

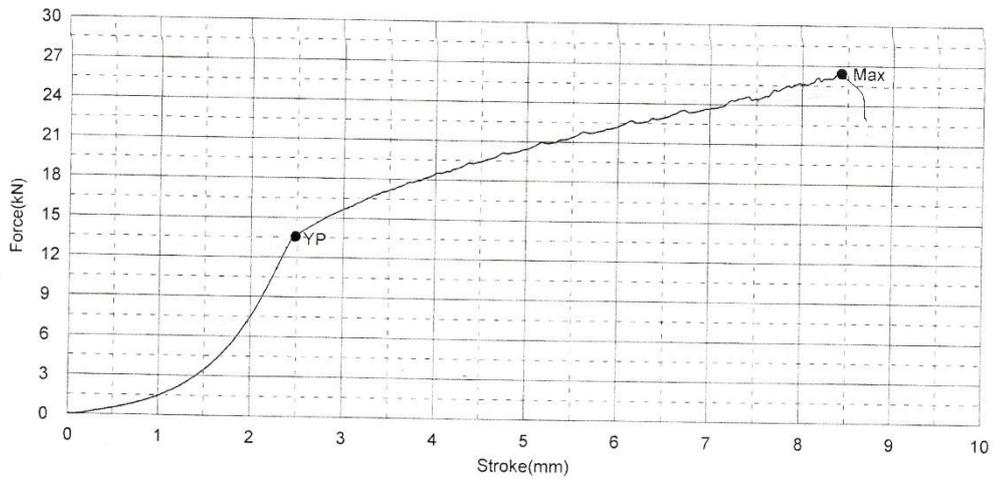



POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B3.3	5,7100	18,9100	0,0001

Name	Area	YP_Force	Max_Force	YP_Stress	Max_Stress
Parameter		0,1 %/FS		0,1 %/FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B3.3	107,98	13,59	26,21	125,86	242,73



Comment

Benda uji putus di daerah logam induk (base metal)

No. SPK: 04-XI/PL19/BJP/2019

Perusahaan/Instansi: TIN RACHMATULLAH

Spesimen: BUTT JOINT PLAT ALUMINIUM

Material: PLAT AL6061 T6 T=6mm

Proses Las/Posisi/Juru Las: GTAW / 1G / M. FAUZI

Referensi: AWS D1.2:2014

Surabaya, 08 November 2019

LAMPIRAN C
SERTIFIKAT JURU LAS



SERTIFIKAT UJI KUALIFIKASI JURU LAS

Welder Approval Test Certificate

No. 00221.0719.SB01166-LAS

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



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

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

Revalidasi masa berlaku untuk 2 (dua) tahun berikutnya
 Revalidation of validity period for a further 2 (two) years

Tanggal : Date	Berlaku s/d ¹⁾ : Valid until	Tanggal : Date	Berlaku s/d ¹⁾ : Valid until
Tanda tangan : Signature		Tanda tangan : Signature	

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

F32.2.02-2018/Rev.3

174801

BIODATA PENULIS



Tin Rachmatullah lahir di Surabaya, 15 Oktober 19977. Penulis adalah anak tunggal yang tumbuh di Surabaya, Jawa Timur. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Ananda, Surabaya, Jawa Timur, kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah dasar di SDN Manukan Kulon Surabaya. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 26 Surabaya, dan berlanjut ke SMAN 11 Surabaya hingga pada tahun 2016 penulis menyelesaikan pendidikan wajib 12 tahunnya. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan ke perguruan tinggi negeri melalui SNMPTN di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Semasa kuliah, penulis aktif berorganisasi baik di dalam maupun di luar lingkungan kampus. Penulis pernah menjadi Staff dan Ketua Divisi Advokasi di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himatekla, serta menjadi salah satu panitia penyelenggara OCEANO 2018 dan OCEANO 2019. Tidak hanya itu, penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai pelatihan, *workshop* dan seminar yang berhubungan dengan teknologi kelautan dan pengelasan. Penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT. PAL INDONESIA (Persero) selama lebih dari 2 bulan.

Email: rachmatullahtin@gmail.com