



TUGAS AKHIR (WE40050)

ANALISIS VARIASI KUAT ARUS DAN *ACTIVE FLUX* PENGELASAN *DISSIMILAR* A-TIG ALUMINIUM GRADE 5052 DENGAN 5083 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN, KUAT TARIK, DAN LAJU KOROSI

MAULANA BASRI NURADAN
NRP. 0722040071

DOSEN PEMBIMBING :
ALVALO TOTO WIBOWO, S.ST., M.T.
IMAH LULUK KUSMINAH, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGELASAN
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank



TUGAS AKHIR (WE40050)

ANALISIS VARIASI KUAT ARUS DAN *ACTIVE FLUX* PENGELASAN *DISSIMILAR* A-TIG ALUMINIUM GRADE 5052 DENGAN 5083 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN, KUAT TARIK, DAN LAJU KOROSI

**MAULANA BASRI NURADAN
NRP. 0722040071**

**DOSEN PEMBIMBING :
ALVALO TOTO WIBOWO, S.ST., M.T.
IMAH LULUK KUSMINAH, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGELASAN
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS VARIASI KUAT ARUS DAN *ACTIVE FLUX* PENGELASAN
DISSIMILAR A-TIG ALUMINIUM 5052 DENGAN 5083 TERHADAP
KEDALAMAN PENETRASI, STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN,
KUAT TARIK DAN LAJU KOROSI**

Disusun Oleh:
Maulana Basri Nuradan
0722040071

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi Teknik Pengelasan
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 7 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

- | | NIDN/NUPTK | Tanda Tangan |
|---|--------------------|--------------|
| 1. Mochammad Karim Al Amin, S.ST., M.T | (0017019103) | (.....) |
| 2. Imah Luluk Kusminah, ST., M.T. | (0707039201) | (.....) |
| 3. Yulia Puspa Dewi, S.Si., M.T. | (0025079402) | (.....) |
| 4. Immanuel Freddy Augustino, S.ST., M.T. | (9648770671130312) | (.....) |

Dosen Pembimbing

- | | NIDN/NUPTK | Tanda Tangan |
|------------------------------------|--------------|--------------|
| 1. Alvalo Toto Wibowo, S.ST., M.T. | (0005039501) | (.....) |
| 2. Imah Luluk Kusminah, ST., M.T. | (0707039201) | (.....) |

Menyetujui
Ketua Jurusan,

Mengetahui
Koordinator Program Studi,


Ir. Priyambodo Nur Ardi N., S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198103242014041001


Moh Syaiful Amri, S.ST., MT.
NIP. 199101072019031016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	--	--

Yang bertandatangan dibawahini :

Nama : Maulana Basri Nuradan

NRP. : 0722040071

Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal/D4-Teknik Pengelasan

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Analisis Variasi Kuat Arus dan *Active Flux* Pengelasan *Dissimilar A-TIG* Aluminium Grade 5052 dengan 5083 terhadap Kedalaman Penetrasi, Struktur Mikro, Nilai Kekerasan, Kuat Tarik ,dan Laju Korosi

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 7 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,


51CAAKX651497247
(Maulana Basri Nuradan)
NRP. 0722040071

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, serta petunjuk -Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“ANALISIS VARIASI KUAT ARUS DAN ACTIVE FLUX PENGELASAN DISSIMILAR A-TIG ALUMINIUM GRADE 5052 DENGAN 5083 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN, KUAT TARIK, DAN LAJU KOROSI”** dengan lancar. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat penulis menyelesaikan pendidikan Program Diploma IV Teknik Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengerjaan tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari peran, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu , penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini. Yaitu kepada:

1. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Priyambodo Nur Adi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Moh. Syaiful Amri S.ST., MT. selaku Ketua Prodi Teknik Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Ibu Adristi Nisazarifa, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah bijaksana membantu, memeriksa, serta memberikan izin kepada penulis untuk mengikuti sidang akhir.
5. Bapak Alvalo Toto Wibowo., S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir sehingga menjadi bekal yang sangat berarti dalam menyempurnakan penelitian ini.
6. Ibu Imah Luluk Kusminah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II dan selaku Dosen Penguji yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyusunan

Tugas Akhir sehingga menjadi bekal yang sangat berarti dalam menyempurnakan penelitian ini.

7. Bapak Mochammad Karim Al Amin, S.ST., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta evaluasi yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat tersusun dengan lebih baik.
8. Ibu Yulia Puspa Dewi, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta evaluasi yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat tersusun dengan lebih baik.
9. Bapak Immanuel Freddy Augustino S.ST., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta evaluasi yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat tersusun dengan lebih baik.
10. Kedua orang tua penulis yaitu Ibu Animijatin dan Bapak Purnomo, yang selalu mendoakan bagi kesehatan dan kelancaran, serta memberikan motivasi dan dukungan moral maupun materil kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh teman mahasiswa D4 Teknik Pengelasan angkatan 2022 yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
12. Diri sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap kesulitan, serta tetap berusaha memberikan yang terbaik sampai penelitian ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kemajuan penulisan Tugas Akhir yang lebih baik. Besar harapan dari penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi setiap orang yang membaca. Selain itu juga dapat memberikan referensi untuk penelitian selanjutnya. Apabila terdapat kesalahan yang penulis buat, penulis memohon maaf dengan setulus hati.

Surabaya, 7 Juli 2026

Maulana Basri Nuradan

ANALISIS VARIASI KUAT ARUS DAN ACTIVE FLUX PENGELASAN DISSIMILAR A-TIG ALUMINIUM GRADE 5052 DENGAN 5083 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN, KUAT TARIK, DAN LAJU KOROSI

MAULANA BASRI NURADAN

ABSTRAK

Pengelasan *dissimilar* Aluminium 5052 dan Aluminium 5083 banyak digunakan pembuatan kapal karena kekuatan dan ketahanan korosi yang baik, namun perbedaan karakteristik kedua material menyebabkan kualitas sambungan, terutama pada kedalaman penetrasi sulit dicapai dengan pengelasan TIG konvensional. Oleh karena itu, *metode Activated Tungsten Inert Gas (A-TIG)* dengan penambahan *active flux* TiO₂ dan ZnO digunakan meningkatkan kedalaman penetrasi melalui mekanisme *arc constriction*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus (190 A, 210 A, dan 230 A) serta penggunaan *active flux* (TiO₂ dan ZnO) terhadap kedalaman penetasi, struktur mikro, nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan laju korosi. Hasil pengujian menunjukkan kedalaman penetrasi tertinggi diperoleh ZnO sebesar (7,21 mm), TiO₂ sebesar (7,02 mm) dan tanpa *flux* sebesar (4,89 mm). Struktur mikro didominasi fasa α -Al dengan partikel intermetalik Mg₂Si lebih halus dan merata pada penggunaan *active flux*. Nilai kekerasan *weld metal* tertinggi diperoleh pada TiO₂ sebesar (72,6 HVN), ZnO sebesar (72,4 HVN), dan tanpa *flux* sebesar (67,6 HVN). Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada ZnO sebesar (196,54 MPa). Laju korosi terendah diperoleh ZnO sebesar (0,133 mmpy). Secara keseluruhan, proses *A-TIG* dapat meningkatkan kualitas pengelasan *dissimilar* Aluminium 5052–5083, dengan *active flux* ZnO memberikan hasil pengujian terbaik.

Kata kunci: Pengelasan *Dissimilar*, A-TIG, Aluminium, Kuat Arus, *Active Flux*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

ANALYSIS OF CURRENT AND ACTIVE FLUX VARIATIONS IN DISSIMILAR A-TIG WELDING OF ALUMINUM GRADES 5052 AND 5083 ON PENETRATION DEPTH, MICROSTRUCTURE, HARDNESS VALUE, TENSILE STRENGTH, AND CORROSION RATE

MAULANA BASRI NURADAN

ABSTRACT

Dissimilar welding of Aluminum 5052 and Aluminum 5083 is widely used in shipbuilding for its good strength and corrosion resistance. However, the different properties of the two alloys make it difficult to achieve adequate weld penetration using conventional TIG welding. Therefore, the Activated Tungsten Inert Gas (A-TIG) process with TiO_2 and ZnO active fluxes was used to improve penetration through an arc-constriction mechanism. This study investigated the effect of welding current (190, 210, and 230 A) and the type of active flux on penetration depth, microstructure, hardness, tensile strength, and corrosion rate. The results showed that the deepest penetration was achieved using ZnO (7.21 mm), followed by TiO_2 (7.02 mm), while welding without flux only yielded (4.89 mm). The weld microstructure was dominated by the $\alpha\text{-Al}$ phase, with finer and more evenly distributed Mg_2Si intermetallic particles. The highest weld metal hardness was obtained with TiO_2 (72.6 HVN), while ZnO provided the highest tensile strength (196.54 MPa) and the lowest corrosion rate (0.133 mmpy). Overall, the A-TIG process improved the quality of dissimilar welding between Aluminum 5052 and 5083, with active flux ZnO providing the best test results..

Keywords: *Dissimilar Welding, A-TIG, Aluminum, Current Strength, Active Flux.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Aluminium.....	5
2.2 Aluminium 5052.....	8
2.3 Aluminium 5083.....	9
2.4 Proses Pengelasan.....	12
2.5 <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> (GTAW).....	12
2.5.1 <i>Tungsten</i>	13
2.5.2 Arus Pengelasan.....	13
2.6 <i>Activated Tungsten Inert Gas</i> (A-TIG).....	14
2.6.1 <i>Active Flux</i> TiO_2	15
2.6.2 <i>Active Flux</i> ZnO	16
2.7 Pengujian.....	17
2.7.1 Pengujian Visual.....	17
2.7.2 Pengujian Metalografi.....	18
2.7.3. Pengujian Kekerasan.....	18

2.7.4 Pengujian Tarik.....	20
2.7.5 Pengujian Laju Korosi.....	22
2.8 Penelitian Terdahulu.....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 <i>Flowchart</i>	27
3.2 Studi Literatur.....	28
3.3 Rumusan Masalah.....	28
3.4 Persiapan Alat dan Material.....	28
3.4.1 Persiapan Alat.....	29
3.4.2 Persiapan Material.....	29
3.4.3 <i>Active Flux TiO₂</i>	30
3.4.4 <i>Active flux ZnO</i>	30
3.5 Pengelasan A-TIG.....	30
3.6 Pengujian.....	33
3.6.1 Uji Visual.....	34
3.6.2 Uji Makro.....	34
3.6.3 Uji Mikro.....	35
3.6.4 Uji Kekerasan.....	37
3.6.5 Pengujian Kuat Tarik.....	39
3.6.6 Pengujian Laju Korosi.....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Hasil Pengujian.....	43
4.1.1 Hasil Uji Visual.....	43
4.1.2 Hasil Uji Makro.....	46
4.1.3 Hasil Uji Struktur Mikro.....	50
4.1.3.1 Struktur Mikro <i>Base Metal</i>	50
4.1.3.2 Struktur Mikro HAZ.....	53
4.1.3.3 Struktur Mikro <i>Weld Metal</i>	56
4.1.4 Hasil Uji Kekerasan.....	58
4.1.5 Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	61
4.1.6 Hasil Uji Laju Korosi.....	62
4.2 Pembahasan.....	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Kesimpulan.....	69

5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	75
BIODATA PENULIS.....	105

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Mikro Aluminium 5052.....	8
Gambar 2. 2 Struktur Mikro Aluminium 5083.....	10
Gambar 2. 3 Proses Pengelasan GTAW.....	13
Gambar 2. 4 Skema <i>Active Flux</i>	14
Gambar 2. 5 Perbedaan Pengamatan Uji Makro dan Mikro.....	18
Gambar 2. 6 Jarak Minimum Antar Indentasi Uji Kekerasan.....	20
Gambar 2. 7 Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	21
Gambar 2. 8 Grafik $P - \Delta L$	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Detail Dimensi Spesimen.....	29
Gambar 3. 3 Fit Up Material.....	31
Gambar 3. 4 Takaran active flux TiO_2	32
Gambar 3. 5 Takaran active flux ZnO	32
Gambar 3. 6 Pengolesan Active Flux.....	33
Gambar 3. 7 Cutting Plan.....	34
Gambar 3. 8 Kamera Lensa Makro.....	35
Gambar 3. 9 Alat Mikroskop Optik.....	37
Gambar 3. 10 Pengambilan Titik <i>Hardness Test</i>	38
Gambar 3. 11 Alat Pengujian Hardness Vickers.....	39
Gambar 3. 12 Alat Pengujian Tarik.....	40
Gambar 3. 13 Alat penimbangan spesimen laju korosi.....	40
Gambar 4. 1 Hasil Uji Visual Pada Face.....	44
Gambar 4. 2 Hasil Uji Visual Pada Root.....	45
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kedalaman Penetrasi Aluminium 5052-5083.....	49
Gambar 4. 4 Hasil Struktur Mikro Base Metal.....	52
Gambar 4. 5 Hasil Struktur Mikro HAZ.....	55
Gambar 4. 6 Hasil Struktur Mikro Weld Metal.....	57
Gambar 4. 7 Grafik Nilai Kekerasan Aluminium 5052-5083.....	60
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Kekuatan Tarik Aluminium 5052-5083.....	62
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Laju Korosi Aluminium 5052-5083.....	63
Gambar 4. 10 Grafik Korelasi Nilai Pengujian.....	65

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar seri paduan Aluminium.....	6
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Aluminium 5052.....	9
Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Aluminium 5052.....	9
Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Aluminium 5083.....	11
Tabel 2. 5 Sifat Mekanik Aluminium 5083.....	11
Tabel 2. 6 Hubungan Laju Korosi dengan Ketahanan Korosi.....	24
Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu.....	24
Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan.....	31
Tabel 4. 1 Hasil Foto Makro.....	47
Tabel 4. 2 Data Hasil Uji Kekerasan.....	58
Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	61
Tabel 4. 4 Data Hasil Laju Korosi.....	63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Mill Certificate Aluminium 5052.....	75
Lampiran B. Mill Certificate Aluminium 5083.....	75
Lampiran C. COA TiO ₂	76
Lampiran D. COA ZnO.....	77
Lampiran E. COA NaCl.....	78
Lampiran F. Proses Pengelasan.....	79
Lampiran G. Proses Pengujian.....	80
Lampiran H. Perhitungan Laju Korosi.....	82
Lampiran I. Hasil Uji Visual.....	85
Lampiran I. 1 Hasil Uji Visual <i>Weld Face</i> TiO ₂ – 190 A.....	85
Lampiran I. 2 Hasil Uji Visual <i>Weld Root</i> TiO ₂ – 190 A.....	85
Lampiran I. 3 Hasil Uji Visual <i>Weld Face</i> TiO ₂ – 210 A.....	86
Lampiran I. 4 Hasil Uji Visual <i>Weld Root</i> TiO ₂ – 210 A.....	86
Lampiran I. 5 Hasil Uji Visual <i>Weld Face</i> TiO ₂ – 230 A.....	86
Lampiran I. 6 Hasil Uji Visual <i>Weld Root</i> TiO ₂ – 230 A.....	87
Lampiran I. 7 Hasil Uji Visual <i>Weld Face</i> ZnO – 190 A.....	87
Lampiran I. 8 Hasil Uji Visual <i>Weld Root</i> ZnO – 190 A.....	88
Lampiran I. 9 Hasil Uji Visual <i>Weld Face</i> ZnO – 210 A.....	88
Lampiran I. 10 Hasil Uji Visual <i>Weld Root</i> ZnO – 210 A.....	89
Lampiran I. 11 Hasil Uji Visual <i>Weld Face</i> ZnO – 230 A.....	89
Lampiran I. 12 Hasil Uji Visual <i>Weld Root</i> ZnO – 230 A.....	90
Lampiran I. 13 Hasil Uji Visual <i>Weld Face No Flux</i> 190 A.....	91
Lampiran I. 14 Hasil Uji Visual <i>Weld Root No Flux</i> 190 A.....	91
Lampiran I. 15 Hasil Uji Visual <i>Weld Face No Flux</i> 210 A.....	91
Lampiran I. 16 Hasil Uji Visual <i>Weld Root No Flux</i> 210 A.....	92
Lampiran I. 17 Hasil Uji Visual <i>Weld Face No Flux</i> 230 A.....	92
Lampiran I. 18 Hasil Uji Visual <i>Weld Root No Flux</i> 230 A.....	93
Lampiran J. Hasil Uji Tarik.....	93
Lampiran J. 1 Hasil Uji Tarik TiO ₂ 190A.....	94
Lampiran J. 2 Hasil Uji Tarik TiO ₂ 210A.....	95
Lampiran J. 3 Hasil Uji Tarik TiO ₂ 230A.....	96
Lampiran J. 4 Hasil Uji Tarik ZnO 190A.....	97
Lampiran J. 5 Hasil Uji Tarik ZnO 210A.....	98
Lampiran J. 6 Hasil Uji Tarik ZnO 230A.....	99
Lampiran J. 7 Hasil Uji Tarik <i>No Flux</i> 190A.....	100
Lampiran J. 8 Hasil Uji Tarik <i>No Flux</i> 210A.....	101
Lampiran J. 9 Hasil Uji Tarik <i>No Flux</i> 230A.....	102
Lampiran K. Hasil Uji Kekerasan <i>Weld Metal</i>	103

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan material Aluminium dalam industri pembuatan kapal semakin meningkat seiring kebutuhan akan struktur kapal yang ringan dan tahan korosi. Pada paduan Aluminium seri 5xxx, terutama Aluminium 5052 dan Aluminium 5083 banyak digunakan untuk bagian lambung, sekat, dan struktur atas kapal karena memiliki ketahanan korosi laut dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi (Purnama et al., 2024). Kedua material ini memiliki perbedaan *P-number*, yaitu Aluminium 5052 dengan *P-number* 22 dan Aluminium 5083 dengan *P-number* 25, yang menunjukkan perbedaan karakteristik metalurgi terutama pada kadar magnesium. Perbedaan tersebut berpotensi menimbulkan tantangan teknis dalam proses pengelasan, khususnya ketika dilakukan penyambungan *dissimilar*, karena karakteristik pencairan, konduktivitas termal, dan pembentukan struktur mikro pada masing-masing material tidak sama.

Pada Aluminium proses pengelasan yang digunakan adalah *Tungsten Inert Gas (TIG)* konvensional namun proses ini memiliki keterbatasan pada kedalaman penetrasi yang rendah dan penyebaran panas yang kurang terfokus. Kondisi ini dapat menyebabkan cacat seperti *incomplete fusion* atau *HAZ* yang terlalu lebar pada material tipis maupun tebal. Oleh karena itu, proses *Activated TIG (A-TIG)* dikembangkan sebagai solusi untuk meningkatkan kedalaman penetrasi. Penggunaan *active flux* seperti TiO_2 dan ZnO diketahui menghasilkan fenomena *arc constriction* yang mempersempit busur dan mengonsentrasikan panas pada area pengelasan (Setiadi & Wijaya, 2020). Teknologi ini menjadi alternatif yang sangat relevan untuk meningkatkan efisiensi pengelasan Aluminium, terutama dalam aplikasi konstruksi kapal yang memerlukan kualitas sambungan tinggi pada lingkungan laut yang korosif.

Ilmihadiyat (2025) meneliti Aluminium 5052 dengan variasi arus 180A dan 190A, dengan penggunaan *active flux* menemukan bahwa arus 190A TiO_2 memberikan penetrasi terdalam dan nilai kekerasan yang rendah. Sementara

menurut Bahri (2022) meneliti Aluminium 5083 dalam penggunaan *flux* dan menemukan bahwa *flux* ZnO menghasilkan penetrasi paling dangkal dan nilai kekerasan tinggi. Temuan tersebut didukung oleh Ridho (2023), yang menunjukkan bahwa Aluminium 5083 jauh lebih tahan korosi dan berumur panjang. Namun seluruh penelitian tersebut hanya dilakukan pada material homogen, sehingga belum memberikan informasi komprehensif mengenai perilaku metalurgi pada sambungan *dissimilar* Aluminium 5052 dengan 5083.

Meskipun hasil penelitian sebelumnya menunjukkan performa optimal arus 190A, nilai tersebut belum tentu berlaku pada sambungan *dissimilar* karena perbedaan *P-number* dan kadar magnesium menyebabkan perbedaan laju pencairan, termal, dan solidifikasi. Kondisi ideal yang diharapkan yaitu penetrasi konsisten, kekerasan seragam, dan struktur mikro homogen, sering kali tidak tercapai pada pengelasan *dissimilar* Aluminium akibat ketidakseragaman pada zona pencairan maupun *HAZ*. Selain itu, belum ada penelitian yang mengevaluasi performa *A-TIG* pada arus di atas 190A, sehingga batas optimal performa *arc constriction* belum diketahui. Celah penelitian ini menunjukkan bahwa hasil terbaik dari penelitian terdahulu tidak dapat langsung diaplikasikan pada sambungan Aluminium *dissimilar* tanpa dilakukan verifikasi eksperimental tambahan.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini memiliki urgensi untuk mengkaji variasi kuat arus (190A, 210A, dan 230A) serta penggunaan *active flux* (TiO₂ dan ZnO) pada pengelasan *A-TIG dissimilar* Aluminium 5052 dengan 5083. Pemilihan arus tersebut didasarkan pada hasil penelitian terdahulu di mana 190A menjadi nilai optimal, sehingga variasi di atas nilai tersebut diperlukan untuk mengidentifikasi performa terbaik pada material yang berbeda sifatnya. Penelitian ini menganalisis variasi kuat arus dan *active flux* terhadap kedalaman penetrasi, struktur mikro, nilai kekerasan, kuat tarik dan laju korosi, dengan tahapan meliputi persiapan material, aplikasi *flux*, proses pengelasan, serta melakukan pengujian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi parameter pengelasan untuk aplikasi pembuatan konstruksi kapal berbahan Aluminium *dissimilar* pengelasan A-TIG pada paduan Aluminium 5052 dengan 5083.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kedalaman penetrasi pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 dengan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂)?
2. Bagaimana struktur mikro pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 dengan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂)?
3. Bagaimana nilai kekerasan pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 dengan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂)?
4. Bagaimana kuat tarik pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 dengan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂)?
5. Bagaimana laju korosi pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 dengan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂)?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Untuk mengetahui kedalaman penetrasi pada pengelasan *dissimilar* A-TIG aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂).
2. Untuk mengetahui struktur mikro pada pengelasan *dissimilar* A-TIG aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂).
3. Untuk mengetahui nilai kekerasan pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂).
4. Untuk mengetahui kuat tarik pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂).
5. Untuk mengetahui laju korosi pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* (ZnO dan TiO₂).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai proses sarana belajar sekaligus dalam penempuan syarat kelulusan dari program studi D4 Teknik Pengelasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Sebagai referensi dalam menentukan kuat arus dan jenis *active flux* pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 pada kedalaman penetrasi yang paling dalam.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Aluminium 5052 dengan Aluminium 5083 dengan *design* sambungan square butt joint.
2. *Travel Speed* dianggap konstan dengan Arus las 190 A, 210 A, dan 230 A.
3. *Active flux* yang digunakan adalah ZnO dan TiO₂.
4. Pelapisan *active flux* dioles menggunakan kuas cat dengan lebar dianggap sama, yaitu 10 mm.
5. *Solvent* yang digunakan adalah *acetone*.
6. Posisi pengelasan 1G.
7. Proses pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*).
8. Angin, suhu, kelembapan lingkungan disekitar pengelasan diabaikan.
9. Komposisi *shielding gas* yang digunakan yaitu *argon high purity* 99,99%.
10. Pengujian yang dilakukan adalah Struktur Mikro, Struktur Makro, Nilai Kekerasan, Kuat Tarik dan Laju Korosi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

10.1. Aluminium

Aluminium merupakan material *non ferrous* yang memiliki ketahanan korosi, konduktivitas listrik dan *machinability* yang baik. Selain itu, Aluminium memiliki sifat yang ringan sehingga seringkali digunakan dalam industri. Pada umumnya Aluminium memiliki kekuatan atau sifat yang rendah, sehingga untuk mendapatkan kekuatan atau sifat yang lebih baik Aluminium perlu ditambahkan unsur paduan lain.

Kandungan yang terdapat pada material Aluminium adalah Mg, Cu, Ni, Zn, Mn, Si. Dimana kandungan tersebut bisa bersifat sendiri ataupun menjadi satu. Kandungan ini yang sangat mempengaruhi kekuatan, kekerasan, dan ketahanan korosinya. Pada material Aluminium (99,9%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm³ densitas 2,685 kg/m³ serta dapat lebur pada 660⁰ C. *Strength to weight ratio* pada Aluminium lebih tinggi jika dibandingkan dengan Baja. Lapisan oksida pada permukaan aluminium yang bereaksi dengan oksigen yang ada di udara menjadikan material Aluminium ini sangat tahan terhadap korosi. Lapisan ini melekat sangat kuat dan stabil sehingga melindungi bagian yang ada di dalamnya.

Aluminium sendiri memiliki tambahan elemen paduan untuk mendapatkan sifat mekanik yang berbeda. Adanya perbedaan sifat mekanik ini sangat berguna untuk memudahkan proses produksi sesuai dengan perkembangan zaman. Sesuai pada spesifikasi internasional untuk paduan tempa atau sistem *alfa-numerik ISO*, maka paduan pada Aluminium dikelompokkan berdasarkan elemen paduan utamanya. Pengelompokan ini ditunjukkan dengan empat digit seperti 1XXX, 2XXX, 3XXX, 4XXX, dst. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan komposisi kimia setiap nomer seri.

Tabel 2. 1 Daftar seri paduan Aluminium

No.Seri	Komposisi Paduan
1xxx	Alumunium murni
2xxx	Paduan aluminium – Tembaga
3xxx	Paduan aluminium – Mangan
4xxx	Paduan aluminium – silicon
5xxx	Paduan aluminium – magnesium
6xxx	Paduan aluminium – magnesium- silicon
7xxx	Paduan aluminium – seng
8xxx	Paduan lainnya

Sumber: ASME Sec. II Part B, (2019)

Berdasarkan Tabel tersebut dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Aluminium seri 1xxx.

Aluminium seri 1xxx merupakan seri Aluminium yang mempunyai kandungan 99% murni Aluminium, Dimana sifat bentuk yang baik serta konduktivitas termal yang tinggi sehingga sangat cocok digunakan dalam bidang kelistrikan. Namun kekurangan material ini adalah memiliki kekuatan yang rendah.

2. Aluminium seri 2xxx.

Aluminium seri 2xxx ini merupakan salah satu material aluminium yang terdapat kandungan Tembaga. Material seri ini dapat menerima perlakuan panas serta memiliki sifat kekuatan yang tinggi ,namun pada seri 2xxx sangat kurang terhadap korosi.

3. Aluminium seri 3xxx.

Aluminium seri 3xxx adalah jenis material Aluminium dengan paduan utamanya yaitu Mangan. Fungsi dari mangan dalam seri 3xxx ini untuk memberikan sifat kuat tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Aluminium murni (seri1xxx). Proses pengerjaan hanya dapat dilakukan dengan proses dingin karena sifat material ini kurang cocok terhadap perlakuan panas.

4. Alumunum seri 4xxx.

Aluminium seri 4xxx merupakan material Aluminium dengan paduan utamanya yaitu Silicon. Aluminium seri ini memiliki sifat tahan karat yang baik serta memiliki bobot yang ringan. Sifat koefisien pemuaian termal pada Si adalah sangat rendah. Sehingga jika semakin banyak terdapat kandungan

Si, maka koefisien termal paduannya juga akan rendah. Paduan Al- Si banyak digunakan sebagai elektroda pengelasan, terutama dengan kandungan 5%Si.

5. Aluminium seri 5xxx.

Aluminium seri 5xxx merupakan material Aluminium dengan Magnesium yang menjadi paduan utamanya. Material seri ini memiliki sifat tahan terhadap korosi yang sangat baik. Proses pengerjaan pada material ini hanya dapat dilakukan dengan *cold working*, karena material ini memiliki sifat yang tidak dapat diberikan perlakuan panas. Paduan ini banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum tetapi juga untuk tangki penyimpanan gas alam cair dan kapal.

6. Aluminium seri 6xxx.

Aluminium seri 6xxx merupakan material Aluminium dengan paduan utamanya yaitu Magnesium dan Silikon. Material seri 6xxx ini memiliki sifat yang dapat diberi perlakuan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang baik. Material seri ini sering digunakan dalam bidang otomotif.

7. Aluminium seri 7xxx.

Aluminium seri 7xxx merupakan material dengan paduan utamanya yaitu Seng. Material seri ini memiliki sifat kurangnya daya tahan terhadap korosi serta tidak dapat dilakukan proses pengelasan. Namun material ini memiliki kelebihan yaitu kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan material Aluminium seri lainnya. Dengan kekuatan tarik yang tinggi ini, sehingga sering digunakan dalam fabrikasi pesawat terbang.

2.2 Aluminium 5052

Aluminium 5052 adalah Aluminium paduan Al-Mg, Magnesium adalah elemen paduan utama dalam Aluminium paduan 5052, dan merupakan paduan Aluminium tahan karat yang paling banyak digunakan. Paduan ini memiliki kekuatan tinggi, terutama ketahanan leleh, plastisitas dan ketahanan korosi, tetapi tidak dapat melakukan penguatan perlakuan panas, plastisitas yang baik pada pengerasan kerja semi dingin, plastisitas rendah pada pengerasan kerja dingin, ketahanan korosi yang sangat baik, kemampuan las, kemampuan mesin yang buruk, dan dapat dipoles.

Pada Al 5052, fasa dominan yang terbentuk adalah α -Al dan fase larutan padat Mg dalam Al, karena Al 5052 merupakan paduan yang tidak mengalami presipitasi secara signifikan selama pendinginan. Namun, dalam beberapa kondisi, terutama setelah pengelasan atau deformasi termal, dapat muncul fasa intermetalik seperti $Al_6(Fe,Mn)$ atau Mg_2Al_3 , walaupun keberadaannya lebih terbatas sehingga menunjukkan perilaku katodik. Fasa-fasa ini memiliki pengaruh terhadap ketahanan korosi dan sifat mekanik. Berikut Gambar 2.1 menampilkan struktur mikro dari Aluminium 5052:



Gambar 2. 1 Struktur Mikro Aluminium 5052
(Bahariawan, 2021)

Aluminium 5052 memiliki efek pewarnaan anodisasi yang sangat baik, tekstur logam dan kekerasan logam yang sangat baik, ketahanan aus dan ketahanan korosi. Tabel 2.2 menunjukkan komposisi Aluminium 5052 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Aluminium 5052

Komposisi		Aluminium seri 5052 %
Al		Rest
Si		0,25
Fe		0,40
Cu		0,10
Mn		0,10
Mg		2,2 – 2,8
Cr		0,15 – 0,35
Zn		0,10
Ti		-
Other Elements	Single	0,05
	Total	0,15

Sumber : ASME Sec. II Part B, (2019)

Sifat mekanik merupakan sifat yang mempengaruhi kekuatan mekanik dan kemampuan material untuk dibentuk. Hal ini berkaitan dengan kemampuan material untuk menahan suatu beban atau kekuatan dan diukur kekuatannya ketika kemampuan tersebut digunakan sebagai tujuan. Sifat mekanik memberikan data pada teknisi sebagai verifikasi pada standar material (Murugan, 2020) Begitu juga dengan Aluminium seri 5052, dengan perbedaan komposisi kimia yang ada dengan material lain, perlakuan panas yang berbeda, serta pembentukan oleh manufaktur yang berbeda maka sifat mekanik ini perlu diperhatikan. Tabel 2.3 merupakan sifat mekanik dari Aluminium 5052 :

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Aluminium 5052

Sifat Mekanik	Aluminium 5052
<i>Tensile Strength</i>	31 ksi
<i>Yield Strength</i>	9,5 ksi
<i>Elongation</i>	18 %
<i>Hardness (Vickers)</i>	60 – 70 HV

Sumber : ASME Sec. II Part B, (2019)

2.3 Aluminium 5083

Aluminium 5083 merupakan paduan Aluminium–Magnesium (Al-Mg) yang termasuk dalam kelompok *non-heat-treatable alloys*, sehingga penguatan utamanya diperoleh melalui mekanisme *solid solution strengthening* dan *strain hardening*. Kandungan Magnesium yang relatif tinggi (4 – 4,9%) menjadikan paduan ini memiliki kekuatan sedang hingga tinggi serta ketahanan korosi yang sangat baik, terutama di lingkungan laut. Menurut Kim et al., (2024) paduan 5083 menunjukkan stabilitas ketahanan korosi yang tinggi karena kombinasi antara

komposisi kimia dan mikrostruktur yang homogen, sehingga paduan ini menjadi pilihan utama dalam aplikasi maritim dan kelautan.

Material ini memiliki kemampuan las (*weldability*) yang baik, karena struktur mikronya tidak mudah mengalami *hot cracking* saat pengelasan. Hal ini menyebabkan paduan 5083 banyak digunakan pada struktur kapal, tangki kriogenik, *pressure vessel*, serta komponen transportasi yang membutuhkan kekuatan spesifik tinggi. Aluminium 5083 didominasi oleh matriks α -Al yang mengikat Mg dalam larutan padat serta partikel intermetalik seperti $\text{Al}_6(\text{Fe}, \text{Mn})$, Al_3Mg_2 (β -phase), dan presipitat kaya Mn atau Fe yang terbentuk selama proses solidifikasi. Keberadaan fasa-fasa intermetalik tersebut mempengaruhi sifat mekanik dan perilaku korosi. Berikut Gambar 2.2 menampilkan struktur mikro dari aluminium 5083.



Gambar 2. 2 Struktur Mikro Aluminium 5083
(Bahri, 2022)

Aluminium 5083 memiliki performa tinggi pada lingkungan laut berkat ketahanan korosinya yang sangat baik sehingga dikatakan anoda. Paduan ini banyak digunakan untuk lambung kapal, superstruktur kapal Aluminium, *pressure vessel*, komponen industri kimia, hingga tangki kriogenik. Dengan sifat las yang sangat baik dan ketahanan aus yang cukup baik, paduan ini juga sesuai untuk komponen yang bekerja pada kondisi beban sedang hingga tinggi. Tabel 2.4 menunjukkan komposisi aluminium 5083 adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Aluminium 5083

Komposisi		Aluminium seri 5083 %
Al		Rest
Si		0,40
Fe		0,40
Cu		0,10
Mn		0,40 – 1,0
Mg		4,0 – 4,9
Cr		0,05 – 0,25
Zn		0,25
Ti		0,15
<i>Other Elements</i>	<i>Single</i>	0,05
	Total	0,15

Sumber : ASME Sec. II Part B, (2019)

Sifat mekanik adalah parameter krusial yang menjelaskan kemampuan material dalam menanggung beban dan deformasi selama digunakan. Parameter ini menentukan sejauh mana bahan dapat bertahan terhadap tekanan, tegangan, atau gaya lain tanpa gagal, serta seberapa fleksibel bahan tersebut ketika dibentuk (Rizki, 2018). Dalam konteks paduan Aluminium 5083, penting untuk mengevaluasi sifat mekaniknya secara cermat karena paduan ini tidak mendapatkan penguatan dari perlakuan panas, oleh karena itu, kekuatannya sangat dipengaruhi oleh proses pengerjaan dingin dan kondisi manufaktur (Wiryolukito & Wijaya, 2020). Aluminium 5083 dikenal memiliki kekuatan tarik dan batas luluh lebih tinggi dibanding Aluminium murni, ketangguhan baik, serta ketahanan luar biasa terhadap korosi terutama dalam lingkungan laut sehingga cocok untuk aplikasi struktural seperti kapal, tangki, dan konstruksi laut (Rizki, 2018). Tabel 2.5 merupakan sifat mekanik dari aluminium 5083:

Tabel 2. 5 Sifat Mekanik Aluminium 5083

Sifat Mekanik	Aluminium 5083
<i>Tensile Strength</i>	37 ksi
<i>Yield Strength</i>	15 ksi
<i>Elongation</i>	14 %
<i>Hardness (Vickers)</i>	75 – 95 HV

Sumber : ASME Sec. II Part B, (2019)

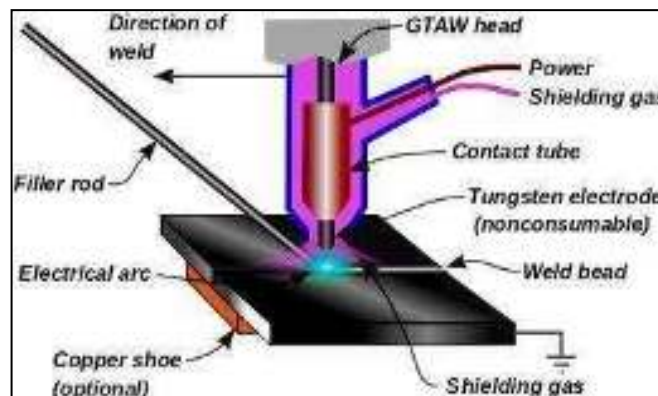
2.4 Proses Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu metode untuk melakukan penyambungan material dengan cara memanaskan material hingga mencair dengan tekanan atau tanpa tekanan. Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan mencair. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa pengelasan merupakan sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan dapat dilakukan menggunakan logam pengisi atau tanpa menggunakan logam pengisi. Dalam pengelasan, proses pemanasan sangat penting dilakukan untuk mencairkan logam pengisi maupun material, sumber panas pada pengelasan yang biasa digunakan adalah berasal dari arus listrik atau api pembakaran. Dari pengertian tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut, bahwa pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam menggunakan energi panas untuk melelehkan logam dasar dan logam pengisi atau tanpa logam pengisi yang bersumber dari aliran listrik atau api pembakaran.

2.5 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan pengelasan elektroda berupa *tungsten* murni atau paduan yang berada di dalam *torch* dengan menggunakan gas pelindung yang berfungsi untuk melindungi logam lasan dari kontaminasi udara sekitar. Arus pengelasan yang dapat digunakan ada dua jenis yaitu AC dan DC dengan kelebihan masing-masing.

Proses pengelasan dengan GTAW ini dapat dilakukan hampir disemua material seperti Al, Mg, baja karbon, baja paduan, baja tahan karat, tembaga, paduan nikel, titanium dan lain-lain (Bahri, 2022). Dengan mudah dapat dilakukan dan hasilnya baik, terutama pengelasan yang sukar dilakukan dengan proses las lain dan membutuhkan kepresisian serta kualitas pengelasan yang tinggi. Penambah logam pengisi (*filler metal*) biasa dilakukan untuk pengelasan pelat yang tebal. Proses pengelasan GTAW dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2. 3 Proses Pengelasan GTAW
(Bahri, 2022)

2.5.1 Tungsten

Dalam pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), *tungsten* sangat penting dikarenakan *tungsten* berfungsi untuk melelehkan material dengan panasnya yang dibantu dengan gas pelindung. Setelah terjadinya lelehan baru di isi menggunakan *filler metal*. Elektroda untuk las GTAW secara garis besar dapat diklasifikasikan sebagai *tungsten pure*, *tungsten thorium*, dan *tungsten zirconium*. *Tungsten* memiliki titik leleh yang sangat tinggi, sehingga termasuk dalam *non consumable* atau elektroda tak terumpan (Nurdin, 2017).

2.5.2 Arus Pengelasan

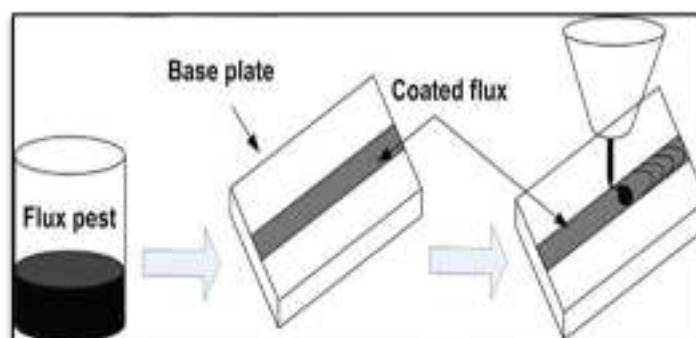
Arus pengelasan tidak boleh asal digunakan, namun harus disesuaikan dengan kebutuhan saat dilakukannya proses pengelasan. Pada proses pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), sumber arus yang digunakan dapat berupa arus DC atau AC. Arus DC terdiri dari dua jenis polaritas, yaitu DCSP (polaritas lurus) dan DCRP (polaritas balik). Pada polaritas DCSP, elektron yang bergerak menumbuk logam induk menghasilkan panas yang mendalam, memungkinkan penetrasi yang lebih dalam pada logam tersebut (Tarmizi et al., 2020). Sebagian besar panas busur (sekitar 70%) terkonsentrasi pada daerah anoda, yaitu logam induk, yang memungkinkan penggunaan arus besar dan menjadikan rangkaian ini banyak digunakan dalam pengelasan GTAW. Sedangkan pada polaritas DCRP, elektroda menjadi sangat panas, sehingga hanya sebagian kecil arus yang dapat dialirkan, yang dapat menyebabkan ujung elektroda mencair. Oleh karena itu, rangkaian ini kurang disarankan dalam pengelasan GTAW. Namun, DCRP menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal dan luas, cocok untuk pengelasan pelat-pelat tipis.

Selain itu, pada proses ini, terjadi ionisasi pada gas argon yang melapisi benda kerja, sehingga lapisan oksida pada permukaan benda kerja dapat terlepas (Ramadani, 2023).

Polaritas AC memiliki konsentrasi hampir terbagi rata antara material yang akan dilas maupun elektrodanya. Pada umumnya busur listrik arus DC kurang begitu baik, sehingga disarankan menggunakan arus AC, untuk pengelasan logam khusus tertentu. Bila menggunakan arus AC, maka proses yang terjadi akan sama dengan menggunakan rangkaian DCSP dan DCRP yang digunakan secara bergantian. Dan hasil pengelasan akan terletak antara hasil pengelasan dengan rangkaian DCSP dan DCRP (Bahri, 2022).

2.6 Activated Tungsten Inert Gas (A-TIG)

Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan fluks aktif telah menghasilkan peningkatan dramatis dalam kedalaman penetrasi dibandingkan dengan proses TIG konvensional dengan parameter input yang sama. Berbagai gaya di zona busur seperti gaya gravitasi, gaya tarik karena busur, gaya elektromagnetik karena aliran arus, dan harus serupa untuk parameter proses yang sama dalam kedua kasus cara kerja dari A- TIG ini hampir sama dengan proses las GTAW, yang membedakan adalah ini menggunakan lapisan *active flux* di permukaan material untuk membantu kedalaman penetrasinya (Vidyarthi & Dwivedi, 2016). Skema pengaplikasian *active flux* dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2. 4 Skema *Active Flux*
(Vidyarthi & Dwivedi, 2016)

Oleh karena itu, penambahan *activated flux* dapat menambah kedalaman penetrasi dari proses las TIG (rizat et al., 2022). Metode ini disebut dengan A-TIG (*Activated Tungsten Inert Gas*). Konveksi *Marangoni* adalah fenomena aliran fluida yang terjadi di antara dua fluida akibat perbedaan *gradien* tegangan permukaan. Jika berkaitan dengan suhu, fenomena ini juga dikenal sebagai konveksi *thermo-capillary*. Konveksi ini dapat mempengaruhi kedalaman penetrasi pengelasan. Arah aliran fluida dipengaruhi oleh perbedaan tegangan permukaan, di mana fluida mengalir dari daerah dengan tegangan permukaan rendah ke daerah dengan tegangan permukaan tinggi. Dalam konteks pengelasan, perubahan tegangan permukaan terkait dengan temperatur, yang menyebabkan aliran kompleks di dalam *weld pool*. Ketika terdapat sedikit pengotor dalam *weld pool*, tegangan permukaan dapat berbalik arah, menghasilkan fenomena yang disebut pembalikan konveksi *Marangoni*, di mana logam cair bergerak dari batas fusi menuju pusat *weld pool*, mempengaruhi tekanan pada busur dan arah alirannya.

Penyempitan busur (*arc constriction*) selama pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*), *torch* bergerak dari permukaan tanpa *flux* menuju permukaan yang mengandung *flux*, yang menyebabkan penyempitan diameter kolom busur. Fenomena ini disebut penyempitan busur (*arc constriction*). Penyempitan busur meningkatkan densitas arus dan panas, menghasilkan busur yang lebih sempit dan dalam dibandingkan pengelasan TIG biasa.

2.6.1 Active Flux TiO_2

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari unsur *titanium* (Ti) dan *oksigen* (O) yang melimpah di bumi. Senyawa ini dikenal sebagai *titania*, memiliki beberapa bentuk kristalin yaitu *rutile*, *anatase* dan *brookite*. *Titania* memiliki warna putih, dengan kekerasan yang tinggi, serta diperlukan temperatur 1843°C untuk melelehkan *titania*. Senyawa ini tidak dapat larut didalam air tetapi dapat larut dalam asam yang kuat.

Titania biasa digunakan dalam industri cat karena memiliki pigmen putih yang baik, industri elektronik sebagai bahan pembuatan kapasitor, transistor dan sel surya. Kemudian digunakan sebagai katalis pada produk kimia. Dalam dunia pengelasan *titania* digunakan sebagai bahan *flux* dari elektroda las busur SMAW untuk

melindungi kawah las dari terjadinya oksidasi. Selain itu dapat digunakan sebagai *active flux* pada pengelasan A-TIG untuk meningkatkan penetrasi dan mengurangi distorsi (Nugroho, 2023). TiO_2 cenderung menghasilkan nilai kekerasan *weld metal* yang sedikit lebih tinggi, hal ini dikaitkan dengan pendinginan relatif lebih cepat dan butiran mikrostruktur yang lebih halus akibat stabilitas kolam las yang lebih baik (Firmansyah, 2021).

2.6.2 Active Flux ZnO

Seng oksida (ZnO) adalah senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO yang berbentuk bubuk putih dan tidak larut dalam air. Senyawa ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam berbagai produk, seperti karet, plastik, keramik, kaca, pelumas, cat, dan makanan. Meskipun ada di alam sebagai mineral zincite, sebagian besar *seng oksida* diproduksi secara sintetis. ZnO tahan api dengan suhu dekomposisi mencapai 1975°C dan digunakan dalam industri seperti pembuatan cat, pelumas, dan makanan. Selain itu, ZnO memiliki sifat semikonduktor, transparansi yang baik, mobilitas elektron tinggi, dan konduktivitas termal yang baik, serta digunakan sebagai flux aktif dalam pengelasan (Bahri, 2022).

Active flux ZnO (*zinc oxide*) memiliki karakteristik unik saat digunakan pada material Aluminium, terutama dalam proses pengelasan berbasis busur listrik seperti MIG brazing dan potensialnya dalam A-TIG. ZnO memiliki titik leleh tinggi (-1975°C) dan sifat semikonduktor yang memungkinkan efek *arc constriction*, yaitu mempersempit busur las dan meningkatkan konsentrasi panas pada kolam las, yang berpotensi memperdalam penetrasi sambungan. Ketika digunakan pada Aluminium, ZnO dapat membantu membersihkan lapisan oksida Al_2O_3 yang bersifat isolator, sehingga memungkinkan pembasahan yang lebih baik dan ikatan metalurgi yang kuat. Selain itu, penelitian (Wang et al., 2020) menunjukkan bahwa kombinasi ZnO dengan flux seperti MgO atau MoS_2 dapat meningkatkan penetrasi hingga 56% dalam pengelasan Aluminium 6061 menggunakan arus tinggi, membuktikan peran ZnO dalam memfokuskan energi busur. ZnO juga cenderung memperbaiki bentuk *bead* las dan menurunkan lebar zona termal bila digunakan dalam jumlah yang tepat. Sifat-sifat tersebut menjadikan ZnO sebagai *flux* aktif potensial dalam pengelasan Aluminium, meskipun efektivitas optimalnya sangat tergantung pada parameter proses seperti arus, waktu *arc*, dan kombinasi dengan

flux lain. Meskipun studi eksplisit dalam konteks A-TIG Aluminium masih terbatas, tren dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa ZnO mampu berperan penting dalam modifikasi fisis dan kimia zona las. Dengan pengembangan lebih lanjut, ZnO dapat menjadi bahan aktif utama untuk meningkatkan kualitas sambungan pada berbagai paduan Aluminium. ZnO menghasilkan kolam las yang lebih stabil namun dengan masukan panas efektif lebih tinggi, sehingga berpotensi membentuk butiran yang lebih kasar, yang dapat menurunkan kekerasan dan kekuatan luluh, meskipun keuletan sambungan masih terjaga (Bahri, 2022).

2.7 Pengujian

Setelah semua rangkaian pengelasan dilakukan maka dibutuhkan adanya pengujian, yang mana fungsi dari dilakukannya pengujian ini untuk mengetahui hasil dari yang telah dilakukan. Di dalam industri, pengujian dibagi menjadi dua kelas yaitu pemeriksaan untuk keperluan pembuatan dan pemeriksaan untuk keperluan pemakai (Jawwad, 2022). Dalam hal ini akan dilakukan 2 jenis pengujian yaitu pengujian NDT (*Non Destructive Tes*) dan DT (*Destructive Test*). Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui hasil pengelasan yang sudah dilakukan tersebut telah sesuai dengan kriteria yang kita inginkan ataupun *code*.

2.7.1 Pengujian Visual

Pengujian visual adalah pengujian yang menggunakan cahaya yang dipantulkan atau ditransmisikan dari objek yang diamati kemudian ditangkap oleh mata manusia. Kelebihan uji visual dibanding uji NDT lainnya adalah lebih murah, sederhana, penggunaanya luas dan bisa dilakukan oleh personil dengan pelatihan yang minim. Keterbatasan uji visual adalah hanya kondisi permukaan yang dapat dievaluasi, diperlukan akses atau sudut pandang bagi mata untuk melihat dengan jelas, dan diperlukan pencahayaan yang efektif.

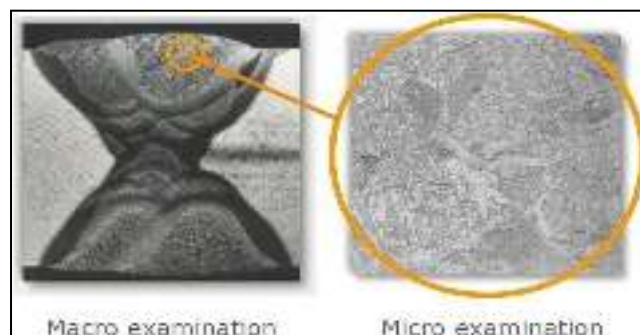
Pada tahap awal sebelum dilakukan pengujian lanjutan, maka dilakukan dulu pengujian visual. Jika dalam tahap awal ini material terdapat banyak *weld imperfection* maka tidak bisa dilanjutkan ke pengujian lainnya. Spesimen uji dapat dilakukan pengujian lain jika dalam pengujian visual sudah *approved*.

2.7.2 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengamati struktur logam dengan bantuan kamera atau mikroskop. Mikroskop yang digunakan umumnya memanfaatkan lensa optik. Pengujian metalografi terdiri dari dua jenis, yaitu pengujian mikro dan pengujian makro.

Pengujian mikro merupakan metode untuk menganalisis struktur material dengan memperbesar tampilan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Melalui pengujian ini, dapat diperoleh informasi mengenai fasa-fasa dalam logam, bentuk serta ukuran kristal, kerusakan akibat deformasi, dampak perlakuan panas, dan variasi komposisi. Dalam proses ini, penggunaan mikroskop menjadi alat bantu utama.

Pengujian makro adalah proses pengujian bahan menggunakan mata terbuka dengan bantuan kamera yang bertujuan untuk memeriksa celah atau cacat las dalam permukaan bahan. Selain itu, pengujian makro juga bertujuan untuk mengamati daerah hasil pengelasan, yaitu pengukuran dimensi *weld metal*. Perbedaan antara uji makro dan mikro dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2. 5 Perbedaan Pengamatan Uji Makro dan Mikro
(Modul Praktik DT NDT PPNS., 2019)

2.7.3. Pengujian Kekerasan

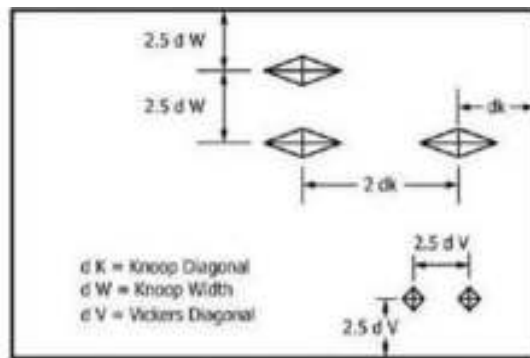
Pengujian kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari sebuah material atau tingkat kekerasan sebuah sambungan pengelasan pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* dari masing-masing spesimen dengan cara menumbukkan indentor mesin uji kekerasan pada material yang akan diuji kekerasannya (Tajul Arifin, 2024).

Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji kekerasan, material dapat dengan mudah di golongkan sebagai material ulet atau getas. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang standar untuk menguji kekerasan logam yaitu: pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, dll.

Perbandingan metode uji *Brinell*, *Vickers* dan *Rockwell*, sebagai berikut:

1. Ketebalan spesimen minim 6 mm untuk *brinell* standar dan 1,5 mm untuk *rockwell* dan *vickers*.
2. *Brinell* standar mengakibatkan bekas indentasi cukup besar sehingga tidak digunakan untuk *finished product*, *rockwell* dan *vickers* meninggalkan bekas yang kecil.
3. *Rockwell* indentasinya kecil tidak baik digunakan pada bahan yang tidak homogen misal besi cor kelabu, karena ada bagian yang keras dan lunak.
4. *Brinell* tidak menuntut kehalusan permukaan yang tinggi, cukup dengan gerinda kasar.
5. *Brinell* dan *vickers* pengukuran dilakukan manual, memungkinkan terjadinya kesalahan ukur.
6. *Vickers* dapat digunakan untuk material lunak hingga keras, namun sensitif terhadap kekasaran permukaan.
7. *Brinell* terbatas pada logam dengan kekerasan maksimal 650 BHN

Pada dasarnya pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah indenter yang lebih keras sifatnya dari bahan uji dengan beban dan jangka waktu tertentu (10-15 detik), bekas tapak tekan pada permukaan benda uji diukur untuk menentukan nilai kekerasan dengan cara gaya tekan dibagi luas tapak tekan. Ada pengujian yang nilai kekerasan langsung dapat dilihat pada *dial indicator*. Gambar 2.6 adalah jarak minimum indentasi untuk pengujian *hardness vickers*.



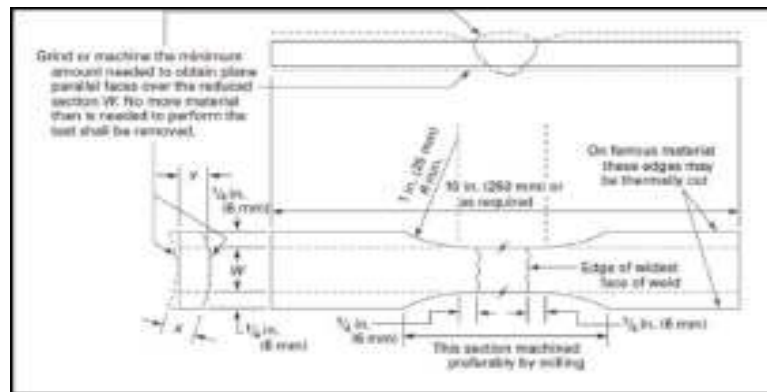
Gambar 2. 6 Jarak Minimum Antar Indentasi Uji Kekerasan (ASTM E92)

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* dengan prosedur yang mengacu pada standar ASTM E92. Metode ini menggunakan gaya tekan antara 1 kgf hingga 120 kgf. Berikut adalah prosedur pengujian kekerasan *Vickers* berdasarkan ASTM E92:

1. *Magnitude of test force*, besarnya gaya yang dikenakan pada spesimen yang biasanya digunakan berkisar 1 kgf sampai dengan 120 kgf, tergantung dari *requirement* pengujian.
2. *Application of test force*, pemberhentian gaya yang dikenakan pada specimen benda uji harus lembut tanpa ada getaran yang tiba-tiba. Dan waktu pemberhentian *force* harus 10 sampai 15 detik. Kecuali tergantung dari *specification hardness test*.
3. *Spacing of indentation*, *center* dari jejak sebuah penekanan indentor piramida intan dengan besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136° .

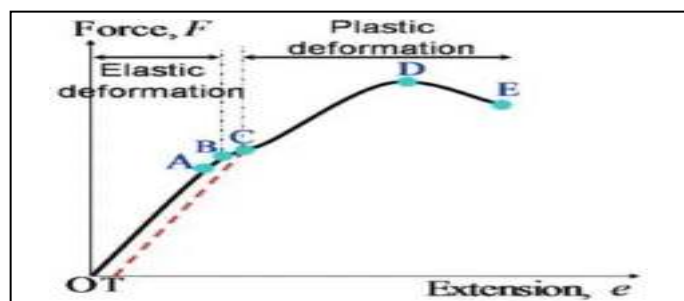
2.7.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah metode yang digunakan untuk menentukan sifat mekanik material, khususnya kekuatan tarik, elongasi, dan modulus elastisitas. Proses ini melibatkan penarikan sampel material hingga terjadi patah, dan selama pengujian, data mengenai gaya yang diterapkan dan perubahan panjang sampel dicatat. Hasil dari pengujian ini memberikan informasi penting mengenai kemampuan material untuk menahan beban tarik dan perilakunya di bawah kondisi stres. Adapun dimensi spesimen untuk uji tarik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Dimensi Spesimen Uji Tarik
(ASME IX, 2023)

Spesimen akan dikenakan beban uji aksial yang meningkat secara bertahap. Sebagai hasil dari pembebanan aksial ini, spesimen akan mengalami perubahan panjang. Perubahan beban (P) dan perubahan panjang (ΔL) dicatat pada mesin uji tarik dalam bentuk grafik, yang menunjukkan hubungan antara beban dan pertambahan panjang, yang dikenal sebagai grafik $P - \Delta L$. Grafik ini kemudian diubah menjadi grafik *Stress-Strain* yang menggambarkan sifat material secara umum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Grafik $P - \Delta L$
(ASME IX, 2023)

Dari Gambar 2.8 terlihat bahwa hingga titik A, perpanjangan spesimen sebanding dengan peningkatan beban, di mana hukum Hooke berlaku. Titik C menandai batas hukum tersebut, dan titik A juga dikenal sebagai batas proporsional. Di atas titik A, titik B merupakan batas elastis; jika beban dihilangkan, spesimen kembali ke panjang semula tanpa pertambahan panjang permanen. Area di bawah titik B adalah daerah elastis, sedangkan di atasnya adalah daerah plastis. Titik C, atau titik yield, menunjukkan di mana logam mengalami pertambahan panjang tanpa peningkatan beban yang signifikan. Dalam praktiknya, ketiga titik A, B, dan

C sering diwakili oleh titik C saja, yang bervariasi untuk setiap logam. Pada material ulet seperti besi murni, titik C terlihat jelas, tetapi umumnya tidak selalu tampak. Sifat mekanis (*mechanical properties*) setelah pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan dengan persamaan (2.1), persamaan (2.2), dan persamaan (2.3) berikut:

1. Tegangan Tarik Luluh / Yield (σ_y)

$$\sigma_y = P_y / A_0 \quad (2.1)$$

Keterangan :

σ_y : tegangan yield (kN/mm²)

P_y : beban yield (kN)

2. Tegangan Tarik Maksimum / Ultimate (σ_u)

$$\sigma_u = P_u / A_0 \quad (2.2)$$

Keterangan :

σ_u : tegangan ultimate (kN/mm²)

P_u : beban ultimate (kN)

3. Regangan (ϵ)

$$\epsilon = (A\ell / \ell_0) \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

ϵ : regangan (%)

$A\ell$: pertambahan panjang (mm)

ℓ_0 : Panjang awal spesimen (mm)

2.7.5 Pengujian Laju Korosi

Laju korosi adalah degradasi atau penurunan kualitas dari suatu material akibat terjadinya reaksi kimia antara material dengan lingkungan serta waktu. Dimana biasanya akan mengurangi massa dari material tersebut. Berdasarkan ASTM G31-72 berkurangnya massa jenis tersebut dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau *Weight Gain Loss* (WGL). Laju korosi dinyatakan dalam mmpy (*mili meter per year*).

Adapun cara agar material dapat dihitung laju korosinya adalah dengan menimbang material sebelum dan sesudah perendaman pada larutan NaCl dalam waktu tertentu. Data yang diperlukan untuk menghitung laju korosi adalah luas

material, waktu perendaman, massa jenis material. Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada persamaan (2.4).

$$\text{Corrosion rate} = \frac{K \times W}{A \times t \times p} \quad (2.4)$$

Keterangan :

Corrosion rate : Laju korosi (mmpy)

K : Konstanta ($8,76 \times 10^4$)

W : Kehilangan Berat (gram)

A : Luas Material (mm^2)

t : Waktu Perendaman (jam)

P : Massa Jenis Material (gram/mm^3)

Hubungan antara laju korosi dan ketahanan korosi secara umum bersifat berbanding terbalik, di mana semakin rendah laju korosi yang terukur, maka semakin baik ketahanan korosi suatu material. Hal ini karena laju korosi merepresentasikan kecepatan kehilangan material akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan, sedangkan ketahanan korosi menunjukkan kemampuan material untuk menahan reaksi tersebut dalam jangka waktu tertentu. Menurut Fontana dan Greene, (2018), material yang memiliki ketahanan korosi tinggi cenderung membentuk lapisan pasif atau produk korosi yang stabil dan melekat kuat, sehingga dapat menghambat difusi ion agresif dan menurunkan laju korosi secara signifikan. Oleh karena itu, nilai laju korosi sering digunakan sebagai parameter dalam evaluasi ketahanan korosi material, sebagaimana juga direkomendasikan dalam standar pengujian korosi perendaman seperti ASTM G31-72, di mana laju korosi yang kecil menunjukkan performa ketahanan korosi yang lebih baik dalam lingkungan uji tertentu. Pada Tabel 2.6 berikut dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya.

Tabel 2. 6 Hubungan Laju Korosi dengan Ketahanan Korosi

Ketahanan korosi relatif	Laju Korosi				
	Mpy	mm/y	$\mu\text{m/y}$	mm/hr	pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1
Baik	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Cukup	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	20 – 50
Kurang	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Buruk	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200

Sumber : Fontana dan Greene, (2018)

2.8 Penelitian Terdahulu

Untuk membantu pengambilan kesimpulan dan sumber referensi, maka dibutuhkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang tertulis pada Tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Metode	Hasil
1.	Analisis Pengaruh Active Flux TiO ₂ , SiO ₂ , dan Kuat Arus pada Pengelasan A-TIG pada Aluminium 5052 terhadap Kedalaman Penetrasi, Struktur Mikro, Nilai Kekerasan, dan Kekuatan Tarik. (Ilmihadiyat, 2025)	- Material: Aluminium 5052 - Metode las: A-TIG - Elektroda/Kawat: ER5356 - Variasi: Jenis flux (SiO₂, TiO₂) dan arus (180 A, 190 A). - Pengujian: Uji makro (kedalaman penetrasi), struktur mikro, kekerasan, dan tarik.	- Kesimpulan: Flux TiO₂ dengan arus 190 A menghasilkan penetrasi terdalam (4,94 mm) dan nilai kekerasan dan nilai tarik lebih rendah. Sedangkan flux SiO₂ menghasilkan penetrasi rendah (3,517 mm) dan nilai kekerasan dan nilai tarik lebih tinggi. - Saran: A-TIG dengan flux TiO₂ direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas las aluminium 5052 di industri.
2.	Analisis Pengaruh Active Flux ZnO dan SiO ₂ dan Kuat Arus pada Pengelasan A-TIG Aluminium 5083 terhadap Kedalaman Penetrasi, Nilai Kekerasan dan Metallography (Bahri, 2022)	- Material: Aluminium 5083 - Metode las: A-TIG sambungan <i>square butt joint</i>, variasi active flux ZnO dan SiO₂, variasi arus 100 A, 130 A, dan 160 A - Pengujian: Uji makro (kedalaman penetrasi), uji mikro, dan uji kekerasan.	- Kesimpulan: Active flux ZnO dengan arus 100 A menghasilkan penetrasi paling dangkal (3,1 mm). Pada daerah HAZ dan weld metal terjadi peningkatan partikel Mg₂Si seiring peningkatan arus las. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada ZnO 100 A (71,85 HVN) karena efek Mg meningkat, sedangkan terendah pada SiO₂ 160 A (53,26 HVN) karena heat input tinggi. - Saran: Hasil penelitian dapat dijadikan acuan dalam penerapan pengelasan A-TIG Aluminium 5083, khususnya pada industri perkapalan untuk memperoleh penetrasi dan sifat mekanik yang optimal
3.	Analisis Teknis dan Ekonomis Korosi Perbandingan ASTM A36 dan Aluminium 5083 untuk Pelat Kapal (Ridho, 2023)	- Material: Baja ASTM A36 (tebal 8 mm) dan Aluminium 5083 (tebal 12 mm). Nilai arus 120 A. - Metode Uji: Weight loss (ASTM G31-72). - Variasi Waktu Perendaman: 168, 336, 504, 576, 720 jam.	Kesimpulan : Rata-rata laju korosi ASTM A36 = 0,4594 mmpy sedangkan Aluminium 5083 = 0,00009 mmpy. Umur pakai baja A36 $\pm$ 3,4 tahun sedangkan aluminium $\pm$ 26 tahun. Biaya reparasi per pelat A36 = Rp10.150.000 sedangkan aluminium = Rp30.490.500. Aluminium 5083 jauh lebih tahan korosi dan berumur

		Parameter: Kehilangan massa, laju korosi (mmpy), estimasi umur pakai, biaya reparasi. • Pengujian: Laju korosi, estimasi umur pelat, analisis teknis & ekonomis.	panjang, namun biaya awal dan perawatan lebih mahal dibanding baja ASTM A36. • Saran: Pengujian lanjutan disarankan menggunakan perlindungan anti-korosi (zinc anode) dan kontrol suhu agar lebih merepresentasikan kondisi lapangan.
4.	Karakteristik Proses Pengelasan TIG pada Aluminium 5052 dan Aluminium 6061 terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro untuk Aplikasi Rangka Pelindung (Roll Cage) pada Mobil Balap Rally (Rupajati & Anggoro, 2020)	• Material: Aluminium 5052 dan Aluminium 6061. Nilai arus 120A. • Proses: TIG welding. • Pengujian: Uji makro, uji mikro, uji tarik (ASTM E8), uji kekerasan vickers.	• Kesimpulan :Ditemukan cacat incomplete penetration dan retakan pada weld metal. Kombinasi Aluminium 5052 dan Aluminium 6061 menghasilkan kekuatan tarik tertinggi 71,5 N/mm² serta nilai kekerasan tertinggi di HAZ sebesar 67,8 HV. • Saran: Perlu optimasi parameter pengelasan (arus dan kecepatan) untuk mengurangi cacat dan meningkatkan kualitas sambungan.
5.	Studi Pengaruh TiO ₂ -SiO ₂ Sebagai Active Flux Terhadap Penetrasi Pengelasan A-TIG Pada Material Aluminium Seri 5083-H116 (Nugroho, 2023)	• Material: Aluminium 5083-H116 Elektroda: Tungsten EWP (pure tungsten). Nilai arus 140A. • Gas pelindung: Argon UHP • Active flux: campuran TiO₂-SiO₂ variasi (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% SiO₂) berat total 30 g • Proses las: A-TIG • Pengujian: Visual hasil las, fotografi makro, pengukuran penetrasi & DWR (Depth to Width Ratio)	• Kesimpulan: Semakin tinggi kandungan SiO₂ maka penetrasi semakin dalam namun defect meningkat (spatter, porosity, underfill sesuai AWS D1.2). Penetrasi tertinggi pada 100% SiO₂ (D = 3.86 mm, DWR = 0.413). • Saran: Memilih komposisi optimal 80% TiO₂-20% SiO₂ untuk hasil las tanpa cacat; perlu penelitian lanjutan pada sifat mekanik dan parameter arus AC / kecepatan las.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

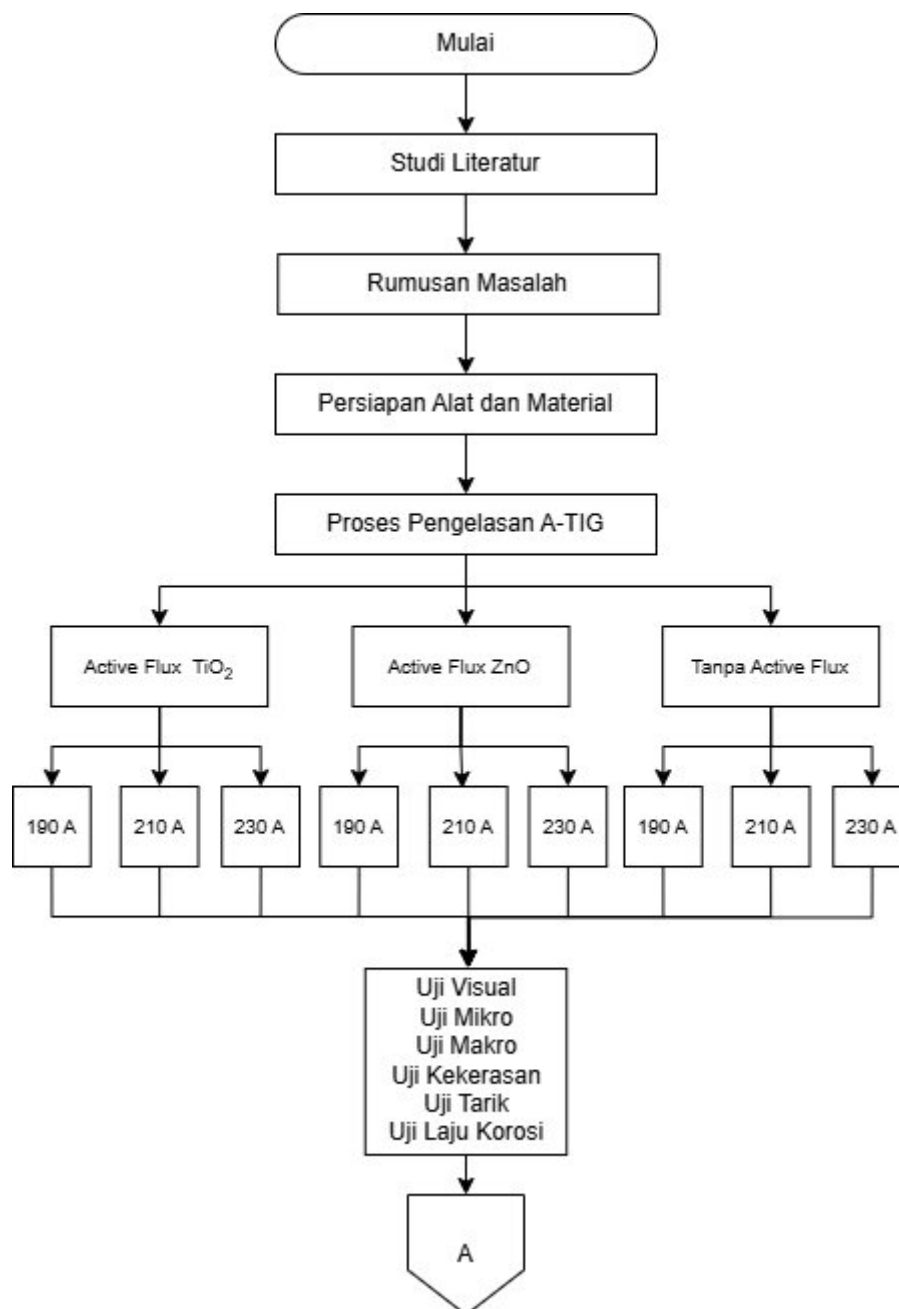
This page is intentionally left blank

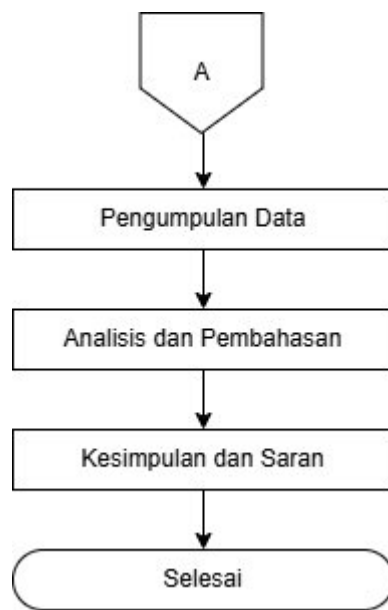
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan berdasarkan *flowchart* atau diagram alir seperti pada Gambar 3.1 dibawah ini :





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada studi literatur akan dilakukan pencarian dan pembelajaran referensi yang bersumber dari jurnal, standard, dan lain sebagainya yang membahas tentang pengelasan A-TIG Aluminium. Jurnal tentang analisis pengelasan A-TIG material Aluminium dengan *active flux* ZnO dan TiO₂ serta mengenai parameter pengelasannya. *Handbook* studi literatur dan standard yang digunakan yaitu berupa *DT NDT Handbook PPNS*, *ASME II part A*, *ASME SEC IX*, *ASTM E92*, *ASTM G31-72*.

3.3 Rumusan Masalah

Setelah mendapatkan studi literatur, ada beberapa poin yang bisa dijadikan sebagai dasar penelitian, sehingga muncul ide dan gagasan, selanjutnya dilakukan penyusunan rumusan masalah dan penetapan tujuan. Dari perumusan masalah tersebut dijadikan latar belakang untuk diangkat menjadi judul karya tulis dan akan dilakukan analisis.

3.4 Persiapan Alat dan Material

Persiapan alat dan material dilakukan untuk mempermudah penulis dalam proses penelitian, adapun alat dan bahan yang akan dibutuhkan dalam mengerjakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

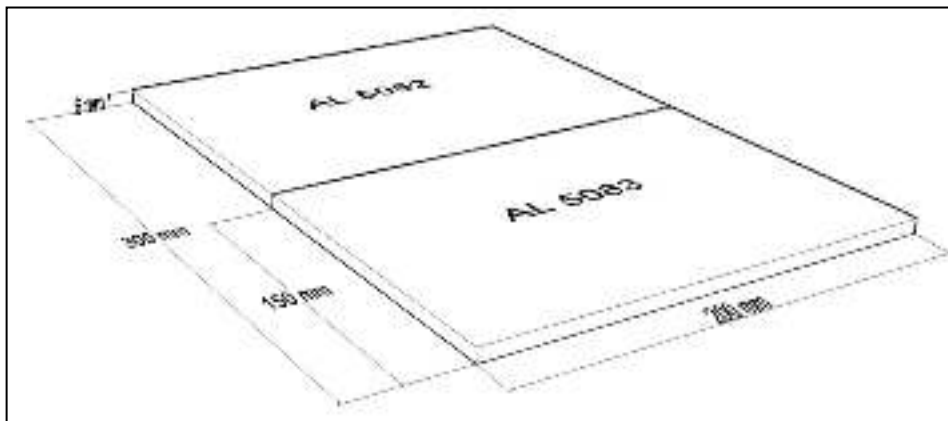
3.4.1 Persiapan Alat

Persiapan peralatan yang digunakan untuk mendukung dalam proses pengerjaan ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Las TIG
2. Peralatan pengelasan A-TIG
3. Peralatan ukur:
 - a. Mistar besi
 - b. *Welding gauge*
 - c. *Ampere meter*
4. Peralatan bantu:
 - a. Gerinda
 - b. Palu chipping
 - c. Selotip kertas
5. Alat Pelindung Diri (APD):
 - a. Helm/Kap las
 - b. Sarung tangan
 - c. *Wearpack*
 - d. Sepatu *safety*

3.4.2 Persiapan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah plat Aluminium seri 5052 dan seri 5083 sambungan *butt square joint* dengan dimensi 200 mm x 300 mm x 6 mm, seperti pada Gambar 3.2 di bawah ini :



Gambar 3. 2 Detail Dimensi Spesimen

3.4.3 Active Flux TiO₂

Oxide powder TiO₂ untuk pembuatan *activated flux* dapat dicampur dengan *acetone* sebagai pelarut. Dalam pencampuran digunakan perbandingan 1:2. Dalam penelitian ini 4 gram TiO₂ dicampur dengan *acetone* sebanyak 8 ml. Campuran ini digunakan untuk pengolesan 1 layer saja, karena batasan layer dianggap sama.

3.4.4 Active flux ZnO

Oxide powder ZnO untuk pembuatan *activated flux* dapat dicampur dengan *acetone* sebagai pelarut. Dalam pencampuran digunakan perbandingan 1:2. Dalam penelitian ini 4 gram ZnO dicampur dengan *acetone* sebanyak 8 ml. Campuran ini digunakan untuk pengolesan 1 layer saja, karena batasan layer dianggap sama.

3.5 Pengelasan A-TIG

Parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada prosedur pengelasan dari berbagai jurnal, proses pengelasan dilakukan di bengkel las Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Untuk mendukung kejelasan analisis dan mempermudah interpretasi hasil pengujian, setiap spesimen pada penelitian ini diberi kode berdasarkan kombinasi jenis *flux* yang digunakan dan variasi arus pengelasan. Proses pengelasan dilakukan pada material *dissimilar* Aluminium 5052 dan Aluminium 5083 dengan pengelasan A-TIG. Pengkodean spesimen disusun sebagai berikut:

- B : Spesimen dengan *flux Titanium Dioksida* (TiO₂)
- C : *flux* Spesimen dengan *flux Zinc Oksida* (ZnO)
- D : Spesimen tanpa *flux*
- 1, 2, 3 : Variasi arus pengelasan (190 A, 210 A, 230 A secara berurutan)

Terdapat 9 spesimen dengan 2 macam *active flux* yaitu TiO₂ dan ZnO menggunakan 3 variasi arus las yaitu 190 A, 210 A, dan 230 A. Berikut ini merupakan data yang digunakan pada proses pengelasan:

- Material : Aluminium 5052 dan Aluminium 5083
- Dimensi : 200 mm x 300 mm x 6 mm
- Elektroda : *Pure Tungsten* dengan diameter 2,6"
- Gas Pelindung : *Argon Ultra High Purity* 99,99%

- Desain Sambungan : *Butt Square Joint*
- Proses Las : A-TIG
- Polaritas : AC
- Posisi Pengelasan : Flat
- Flow Rate : 13 L/Min

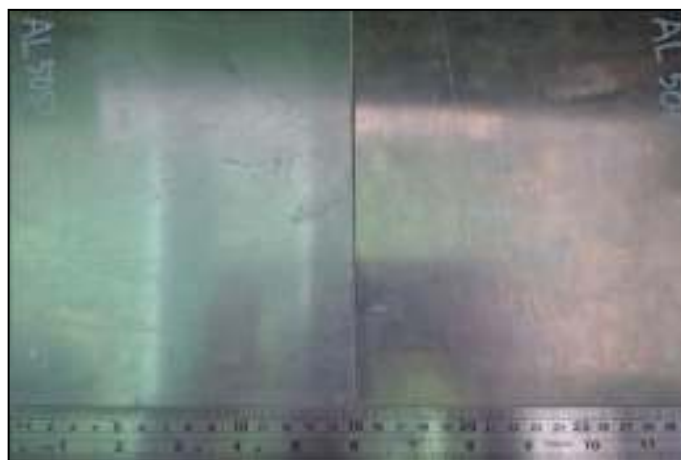
Setelah dilakukan proses pengelasan, diperoleh data parameter pengelasan seperti yang tertera pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan

<i>Marking Material</i>	<i>Active Flux</i>	<i>Ampere (I)</i>	<i>Volt (V)</i>	<i>Travel Speed (mm/min)</i>	<i>Heat Input (kJ/mm)</i>
B1	TiO ₂	190	16	165,28	1,10
B2	TiO ₂	210	16	176,99	1,14
B3	TiO ₂	230	16	188,67	1,17
C1	ZnO	190	16	162,60	1,12
C2	ZnO	210	16	173,91	1,16
C3	ZnO	230	16	185,18	1,19
D1	No Flux	190	16	169,49	1,07
D2	No Flux	210	16	185,18	1,08
D3	No Flux	230	16	198,01	1,11

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses pengelasan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan mesin las yang digunakan untuk pengelasan TIG yaitu menggunakan mesin las AC, hal ini perlu dipersiapkan karena polaritas pada mesin TIG sangat mempengaruhi proses pengelasan.
2. Mempersiapkan spesimen yang digunakan dalam penelitian berjumlah 9 *joint* pengelasan dengan tipe sambungan *square butt joint*. Pada Gambar 3.3 adalah melakukannya *fit up* material.



Gambar 3. 3 *Fit Up* Material

3. Mempersiapkan *active flux* TiO_2 , dengan cara mencampurkan bubuk TiO_2 sebanyak 4 gram dengan *acetone* sebanyak 8 ml. Dimana perbandingan ini adalah 1:2. Takaran *active flux* TiO_2 akan ditunjukkan seperti pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Takaran Active Flux TiO_2

4. Mempersiapkan *active flux* ZnO , dengan cara mencampurkan 4 gram bubuk ZnO dengan *acetone* sebanyak 8 ml. Dimana perbandingan ini adalah 1:2. Takaran *active flux* ZnO akan ditunjukkan seperti pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Takaran *Active Flux* ZnO

5. Mengoleskan *active flux* yang sudah dipersiapkan dengan menggunakan kuas, benda kerja diberi selotip kertas sebagai pembatas lebar daerah yang akan diolesi *active flux* yaitu 10 mm. Proses pengolesan *active flux* ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.

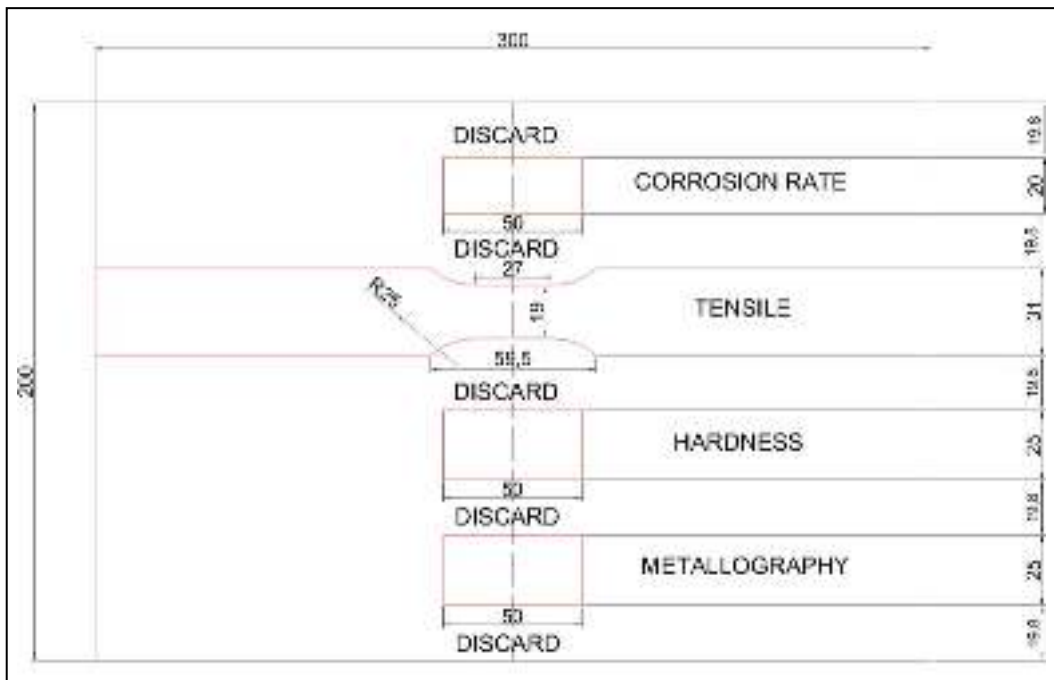


Gambar 3. 6 Pengolesan Active Flux

6. Pengelasan A-TIG, Setelah semua selesai dilakukan selanjutnya adalah melakukan pengelasan pada material uji yang telah disiapkan sesuai dengan parameter arus las yang sudah ditentukan dalam batasan masalah yaitu pada 190 A, 210 A, dan 230 A.

3.6 Pengujian

Setelah semua proses pengelasan selesai maka hal yang akan dilakukan adalah pengujian. Pengujian ini dibutuhkan agar bisa memastikan kualitas las yang dihasilkan bisa sesuai dengan ketentuan dan juga standar. Pengujian dilakukan untuk mengetahui *mechanical properties* pada hasil pengelasan sesuai dengan variasi yang digunakan. Jenis - jenis pengujian yang dilakukan antara lain: Uji Visual, Uji Makro, Uji Mikro, Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Laju Korosi. Adapun *cutting plan* yang akan digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.7 sebagai berikut



Gambar 3. 7 Cutting Plan

3.6.1 Uji Visual

Uji visual adalah hal yang pertama kali dilakukan pada saat melakukan pengujian NDT, dengan tujuan untuk menginspeksi secara langsung benda yang akan diuji apakah benda tersebut terdapat kerusakan atau tidak. Baru setelah itu dilakukan pengujian ke tahap - tahap lain. Langkah kerja uji visual:

1. Bersihkan permukaan benda uji atau lokasi yang akan diuji menggunakan sikat baja.
2. Amati ada tidaknya cacat las pada permukaan benda uji atau lokasi yang akan diuji, gunakan senter untuk penerangan tambahan.
3. Lakukan verifikasi nol pada alat ukur seperti penggaris, *caliper* dan *welding gauge* sebelum digunakan .
4. Identifikasi dan lakukan pengukuran terhadap cacat las yang ditemukan.
5. Evaluasi cacat yang ditemukan.
6. Bersihkan semua peralatan setelah digunakan.

3.6.2 Uji Makro

Uji makro dilakukan pada sambungan las untuk memperlihatkan hasil las serta daerah sekitarnya. Jadi dari hasil uji makro dapat memperlihatkan: *Heat Affected*

Zone (HAZ), cacat las, kedalaman penetrasi, jumlah layer las. Langkah-Langkah *macro test* :

1. Lakukan pemotongan spesimen.
2. Lakukan penggerinda dan pemolesan.
3. Spesimen digosok pada polisher dengan kertas gosok mulai dari *grade* 120, 320, 400, 600, 1000, dan 2000 sampai permukaannya mengkilap.
4. Lakukan pengetsaan menggunakan 15ml HCL, 10ml HF, 85 ml air sampai terlihat struktur makro.
5. Lakukan pengamatan dan pemotretan dengan foto makro.
6. Lakukan analisis dan interpretasi foto makro menggunakan kamera lensa makro. Alat untuk melihat pengamatan makro pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3. 8 Kamera Lensa Makro

3.6.3 Uji Mikro

Uji mikro dilakukan untuk melihat terjadinya perubahan struktur mikro pada proses eksperimen yang telah diterimanya. Yang dimaksud dengan pemeriksaan mikro ialah pemeriksaan bahan logam dimana bentuk kristal logam tergolong halus sehingga diperlukan angka pembesaran lensa mikroskop adalah 200x pembesaran.

Alat - alat dan bahan yang digunakan :

1. Spesimen yang akan digunakan
2. Kertas gosok (*grade* : 120, 240, 400, 600, 800, 1000, dan 2000)
3. Kain wool
4. *Autosol*
5. Larutan etsa (15ml HCL, 10ml HF, 85 ml air)
6. Kain bersih
7. Polishing machine

8. Cawan kimia
9. Pipet
10. Mikroskop
11. Dryer

Langkah-langkah yang dilakukan pengujian mikro sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen
2. *Polishing*
 - a. Mengambil kertas gosok paling kasar (*grade* 120) yang telah dibentuk sesuai piringan *hand grinding* dan pasang pada mesin *polishing*.
 - b. Menyalakan mesin *polishing*, buka katub air sehingga air mengalir pada kertas gosok. Dan tempelkan spesimen pada material sampai halus permukaan.
 - c. Mengangkat spesimen dan amati permukaan yang digosok tadi. Pastikan gosokan pada material sesuai orientasi putaran mesin *polishing*. Saat goresan sudah searah, matikan mesin, tutup katup air dan ganti kertas gosok dengan *grade* yang lebih halus (240, 400, 600, 800, 1000, dan 2000) dan gosok lagi seperti langkah sebelumnya.
 - d. Ketika sudah sampai *grade* 2000, spesimen di *polishing* dengan kain bludru dan diberikan *autosol* untuk membersihkan kotoran dan mencerahkan spesimen.
 - e. Proses *polisher* selesai jika bekas goresan telah hilang dan seperti cermin.
 - f. Untuk membersihkan sisa – sisa *autosol*, spesimen dicuci dengan air dan alkohol, lalu dikeringkan dengan dryer.
3. Etsa
 - a. Menyiapkan alat - alat yang diperlukan seperti pipet, cawan kimia dan hand dryer yang telah dibersihkan terlebih dahulu. Mengambil larutan campuran 15ml HCl, 10ml HF, 85 ml air dengan pipet dan tuangkan ke cawan kimia.

- b. Masukkan spesimen ke dalam cawan kimia tersebut selama beberapa detik dan ambil kembali kemudian menyiramnya dengan air., kemudian setelahnya mengeringkan spesimen tersebut dengan dryer.
4. Pengamatan Spesimen
- a. Meletakkan spesimen dibawah lensa mikroskop dengan posisi permukaan yang rata.
 - b. Mengatur perbesaran lensa kemudian menyalakan lampu dan mengatur fokusnya untuk pengamatan struktur mikro.
 - c. Mengambil foto struktur mikro yang tampak dilakukan pada daerah *weld metal*, *HAZ* dan *base metal*.
 - d. Dan analisis struktur yang ada di daerah *weld metal*, *HAZ* dan *base metal*.
Alat mikroskop optik untuk pengujian struktur mikro pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3. 9 Alat Mikroskop Optik

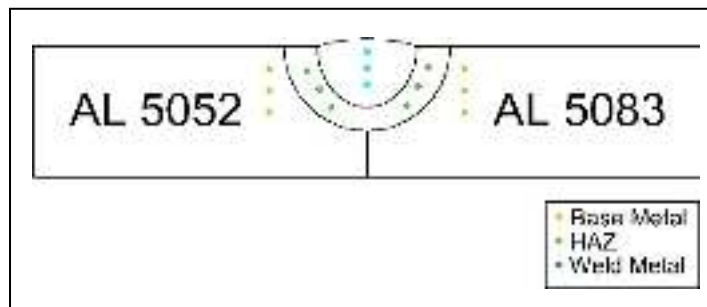
3.6.4 Uji Kekerasan

Uji kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan dari suatu material batas antara *HAZ*, *Weld metal*, dan *Base Metal* dari masing-masing spesimen. Adapun peralatan dan bahan yang dibutuhkan pada uji kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Mesin uji kekerasan
2. Indentor piramid intan
3. *Polishing machine*
4. Kertas gosok (*grade* : 120, 240, 400, 600, 800, dan 1000)
5. Spesimen uji kekerasan

Langkah kerja metode *hardness vickers* adalah sebagai berikut :

- a. Permukaan spesimen yang akan diamati dan diuji dihaluskan terlebih dahulu menggunakan kertas gosok yang dipasang mesin *polishing* dengan *grade* mulai dari 120, 240, 400, 600, dan 1000.
- b. Setelah proses *polishing* selesai material dikeringkan menggunakan *tissue*.
- c. Kemudian spesimen dicelupkan kedalam cairan etsa (15ml HCl, 10ml HF, 85 ml air). Untuk mengetahui dan membedakan daerah *weld metal*, *base metal*, dan *HAZ*.
- d. Setelah itu menentukan titik di pengujian di area *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* kemudian diberi tanda menggunakan pensil. Pengambilan titik *hardness* ditunjukkan pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3. 10 Pengambilan Titik *Hardness Test*

- e. Tentukan beban indenter yang akan digunakan berdasarkan jenis dan diameter indenter. Atur *handle hardness test machine* pada posisi *vickers*.
- f. Letakan piramid intan pada tempat indentasinya.
- g. Letakan indenter piramid intan pada tempatnya di *hardness test machine* dengan menggunakan obeng.
- h. Letakan pen beban sesuai dengan beban indentasinya yang telah ditentukan sesuai dengan jenis dan diameter indenter.
- i. Letakan spesimen dibawah indenter, atur spesimen agar indenter tepat mengenai titik penetrasi yang telah ditentukan.
- j. Geser *handle* beban pada posisi siap untuk penetrasi.
- k. Putar *hand wheel* sehingga permukaan spesimen tepat menyentuh ujung indenter.
- l. Setelah 15 detik tarik *handle* beban dan kunci pada tempatnya.

- m. Nyalakan lampu dan atur posisi spesimen serta fokus lensa sehingga bekas indentasi tampak pada layar.
- n. Ukur diameter indentasi dan catat nilainya.
- o. Dilakukan prosedur “j” sampai “o” untuk masing-masing titik yang telah ditentukan. Alat pengujian *hardness vickers* pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3. 11 Alat Pengujian *Hardness Vickers*

3.6.5 Pengujian Kuat Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengevaluasi keuletan suatu material. Dengan menarik bahan tersebut, kita dapat segera mengamati bagaimana reaksi material terhadap gaya tarik dan sejauh mana panjangnya bertambah. Proses pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban aksial secara terus-menerus pada spesimen hingga material tersebut patah. Berikut merupakan alat dan bahan yang diperlukan, yaitu : mesin uji tarik, spesimen, kertas milimeter blok. Langkah- langkah untuk melakukan uji tarik sebagai berikut :

- a. Persiapkan spesimen.
- b. Pembuatan *gauge length* dengan penitik.
- c. Pengukuran dimensi spesimen.
- d. Letakkan spesimen pada mesin uji tarik.
- e. Nyalakan mesin uji tarik untuk memulai pengujian dan tunggu sampai spesimen uji patah. Alat pengujian tarik pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3. 12 Alat Pengujian Tarik

3.6.6 Pengujian Laju Korosi

Perhitungan laju korosi pada penelitian ini dilakukan setelah melakukan proses pengelasan. Berdasarkan ASTM G31-72, laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan metode Weight Gain Loss (WGL). Berikut langkah-langkah yang harus dilakukan :

1. Melakukan pemotongan material yang telah dilakukan pengelasan.
2. Menimbang berat material yang telah dipotong serta mencari luas dari material tersebut. Alat penimbangan spesimen laju korosi pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3. 13 Alat penimbangan spesimen laju korosi

3. Melakukan pencampuran NaCl 3,5% yang terbuat dari 35 gram garam yang dicampur dengan 1 liter aquades sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan.
4. Rendam material yang telah dilakukan penimbangan berat selama 14 hari (336 jam).

5. Setelah 14 hari direndam, ambil material lalu bersihkan material menggunakan air.
6. Keringkan material yang telah dibersihkan, kemudian timbang berat material tersebut.
7. Dari langkah tersebut akan mendapatkan data yang diperlukan untuk menghitung laju korosi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Melakukan proses pengelasan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian pada material. Memperoleh hasil dari pengujian berupa data yang selanjutnya yaitu menganalisis dan membuat pembahasan. Hasil pengujian meliputi uji visual, uji mikro, uji makro, uji kekerasan, uji kuat tarik, dan uji laju korosi.

4.1.1 Hasil Uji Visual

Uji Visual merupakan tahap awal dalam proses inspeksi pengelasan yang bertujuan untuk mengidentifikasi secara langsung adanya cacat permukaan pada sambungan las. Dalam penelitian ini, uji visual hanya berfungsi sebagai pendukung serta memberikan informasi adanya cacat permukaan yang disebabkan dari proses pengelasan A-TIG dengan mengacu terhadap standar ASME IX QW 194, di mana pada *test coupon* dinyatakan tidak retak (*no crack*), memiliki penetrasi sambungan penuh (*complete joint penetration*), dan terpenuhinya fusi (*complete fusion*). Namun untuk fokus utama pada penelitian ini adalah untuk mengamati kedalaman penetrasi, maka aspek *complete joint penetration* dan *complete fusion* tidak menjadi parameter utama dalam evaluasi.

Pemeriksaan ini dilakukan pada bagian *face* dan *root* tanpa alat bantu khusus, cukup dengan pengamatan mata telanjang untuk memastikan dimensi dan kebersihan permukaan las sesuai dengan standar. Pada penelitian ini uji *visual* dilakukan dengan 9 spesimen *joint*, berikut hasil uji visual pada *face* dan *root* yang tertera Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



(B1)



(B2)



(B3)



(C1)



(C2)



(C3)



(D1)



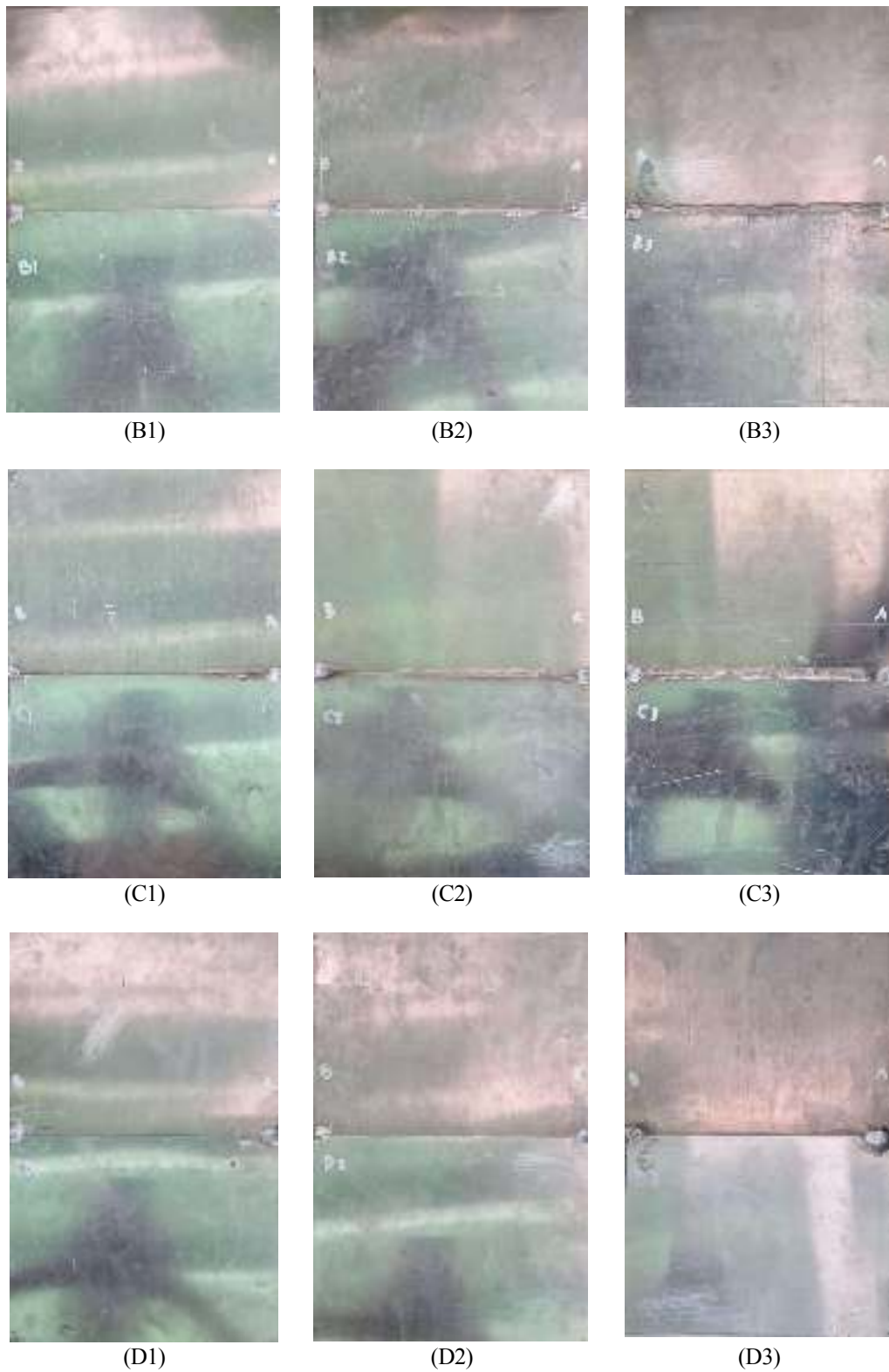
(D2)



(D3)

Gambar 4. 1 Hasil Uji Visual Pada *Face*

(B1) TiO₂ - 190 A, (B2) TiO₂ - 210 A, (B3) TiO₂ - 230 A, (C1) ZnO - 190 A, (C2) ZnO - 210 A, (C3) ZnO - 230 A, (D1) *No Flux* - 190 A, (D2) *No Flux* - 210 A, dan (D3) *No Flux* - 230 A



Gambar 4. 2 Hasil Uji Visual Pada *Root*
 (B1)TiO₂ - 190 A, (B2) TiO₂ - 210 A, (B3) TiO₂ - 230 A, (C1) ZnO - 190 A, (C2) ZnO - 210 A,
 (C3) ZnO - 230 A, (D1) *No Flux* - 190 A, (D2) *No Flux* - 210 A, dan (D3) *No Flux* - 230 A

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada seluruh spesimen, diperoleh bahwa permukaan las pada bagian *face* memiliki bentuk *bead* yang relatif seragam, serta tidak ditemukan retak permukaan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa parameter pengelasan yang digunakan mampu menghasilkan kestabilan busur listrik selama proses A-TIG sehingga logam pengisi dapat terdistribusi secara merata pada permukaan sambungan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa proses persiapan material, pembersihan permukaan, serta perlindungan gas argon selama proses pengelasan telah berjalan dengan baik sehingga oksidasi permukaan dapat diminimalkan.

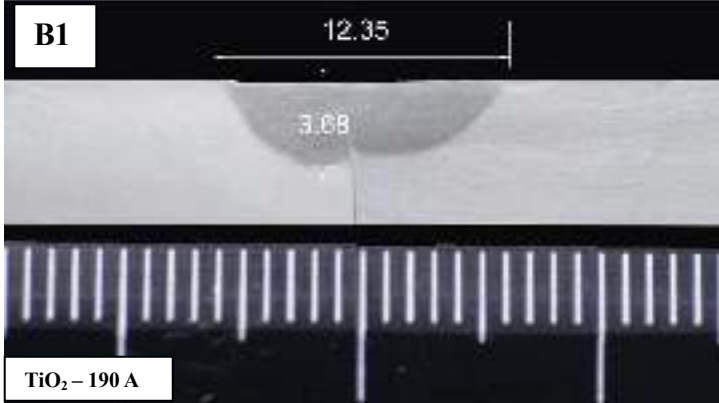
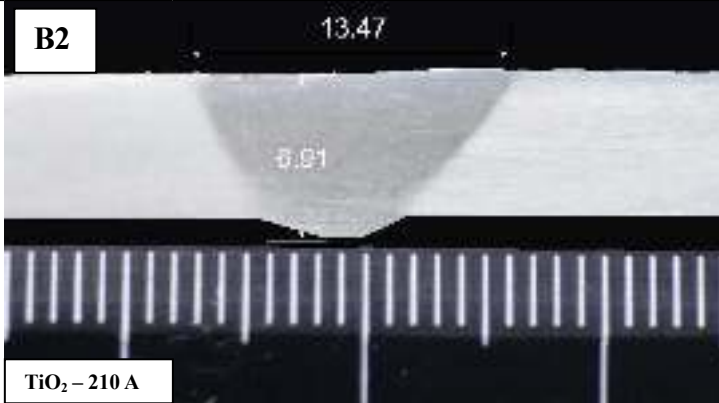
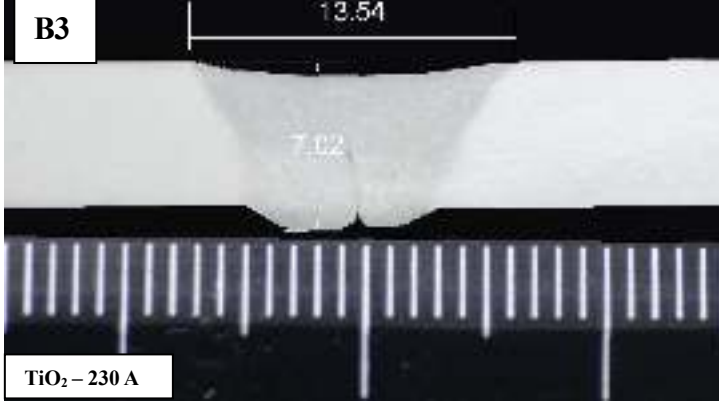
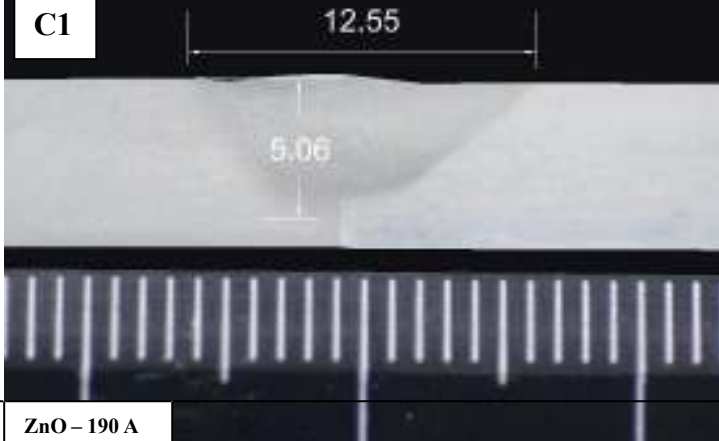
Pada bagian *root* terlihat adanya perbedaan yang cukup jelas antar variasi perlakuan. Spesimen yang menggunakan *active flux*, baik TiO_2 maupun ZnO , menunjukkan indikasi penetrasi yang lebih jelas dibandingkan spesimen tanpa *active flux*. Selain itu, peningkatan arus dari 190 A sampai ke 230 A menyebabkan daerah *root* semakin terlihat mengalami penetrasi. Sebaliknya, spesimen tanpa *active flux* masih memperlihatkan penetrasi yang relatif dangkal sehingga sebagian besar logam cair belum mampu mencapai akar sambungan secara optimal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penggunaan *active flux* berperan dalam meningkatkan kemampuan penetrasi selama proses pengelasan A-TIG.

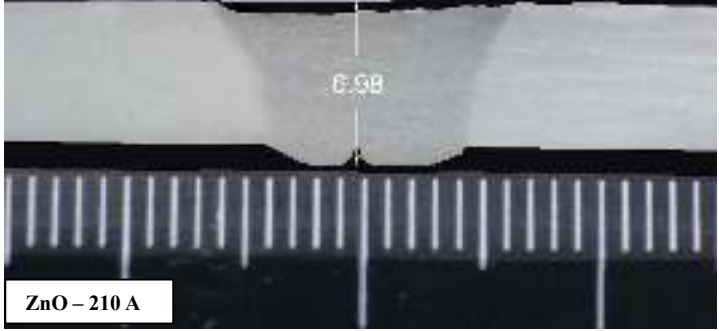
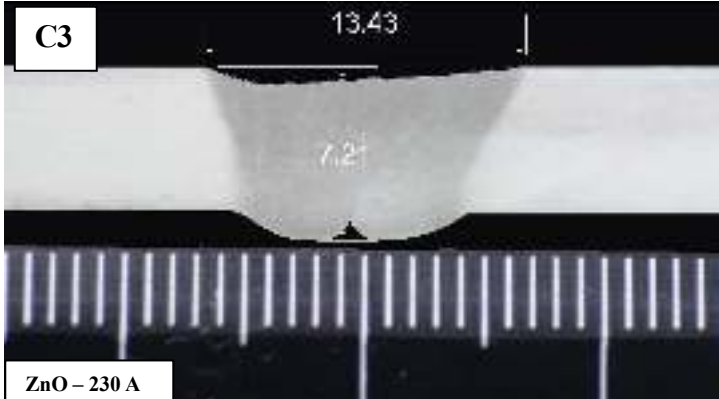
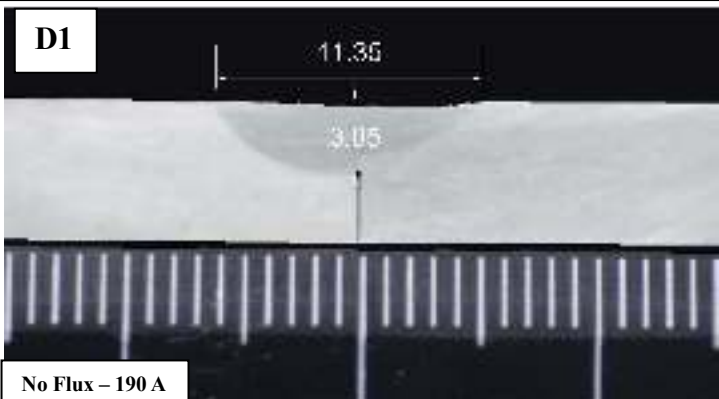
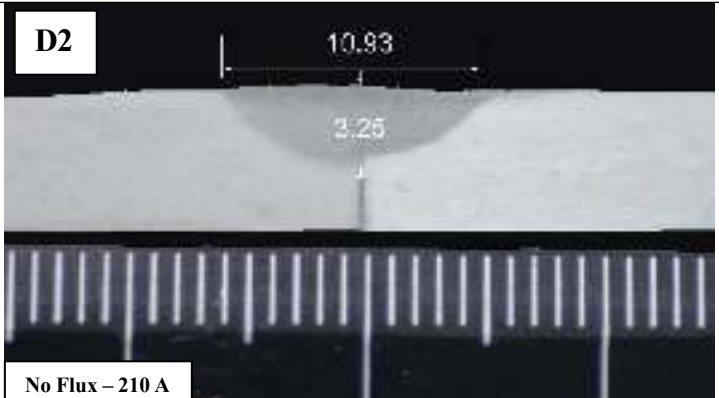
Secara keseluruhan, hasil uji visual menunjukkan bahwa seluruh spesimen memiliki kualitas permukaan yang baik sehingga seluruh sambungan las dapat dilanjutkan ke tahapan pengujian berikutnya, yaitu pengujian makro, struktur mikro, kekerasan, kuat tarik, dan laju korosi.

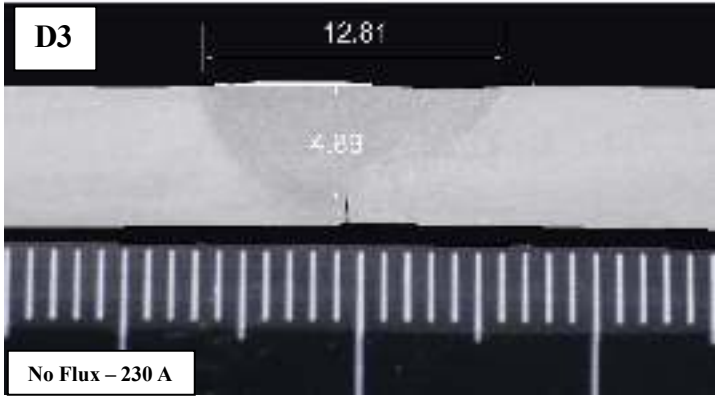
4.1.2 Hasil Uji Makro

Pengujian makro bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus las dan jenis *active flux* menggunakan pengelasan A-TIG terhadap kedalaman penetrasi. Pengujian ini menggunakan kamera dengan lensa makro, kemudian diukur melalui software *Autocad*, dan dianalisis kedalaman penetrasinya. Berikut hasil foto makro pada setiap spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

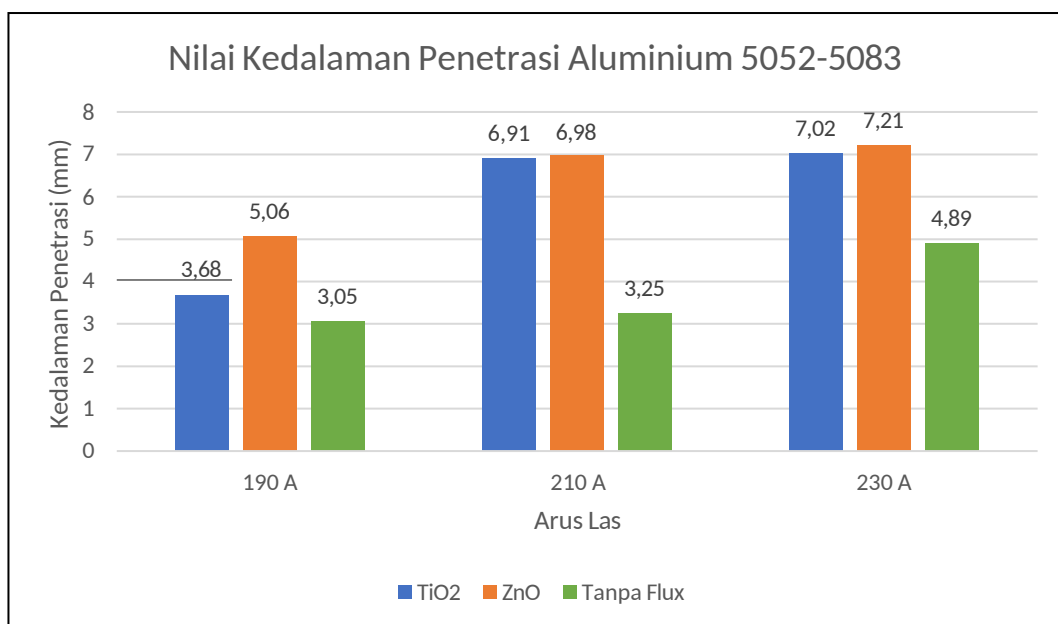
Tabel 4. 1 Hasil Foto Makro

 B1 12.35 3.68 TiO₂ – 190 A	Marking Material B1 Lebar Penetrasi = 12.35 mm Kedalaman Penetrasi = 3.68 mm
 B2 13.47 6.91 TiO₂ – 210 A	Marking Material B2 Lebar Penetrasi = 13.47 mm Kedalaman Penetrasi = 6.91 mm
 B3 13.54 7.02 TiO₂ – 230 A	Marking Material B2 Lebar Penetrasi = 13.54 mm Kedalaman Penetrasi = 7,02 mm
 C1 12.55 5.06 ZnO – 190 A	Marking Material C1 Lebar Penetrasi = 12.55 mm Kedalaman Penetrasi = 5.06 mm

C2  ZnO - 210 A	Marking Material C2 Lebar Penetrasi = 12.56 mm Kedalaman Penetrasi = 6.98 mm
C3  ZnO - 230 A	Marking Material C3 Lebar Penetrasi = 12.43 mm Kedalaman Penetrasi = 7.21 mm
D1  No Flux - 190 A	Marking Material D1 Lebar Penetrasi = 11.35 mm Kedalaman Penetrasi = 3.05 mm
D2  No Flux - 210 A	Marking Material D2 Lebar Penetrasi = 10.93 mm Kedalaman Penetrasi = 3.25 mm

	Marking Material D3
	Lebar Penetrasi = 12.81 mm
	Kedalaman Penetrasi = 4.89 mm

Berdasarkan hasil uji makro yang ditampilkan di atas, dapat dianalisis bahwa semakin bertambahnya nilai arus las maka kedalaman penetrasi juga ikut bertambah, namun dalam penggunaan jenis *active flux* TiO_2 dan ZnO penambahan kedalaman penetrasi semakin besar. Mengenai grafik lebih detail pada kedalaman penetrasi yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Kedalaman Penetrasi Aluminium 5052-5083

Berdasarkan hasil pengujian makro, diperoleh nilai lebar dan kedalaman penetrasi yang berbeda pada setiap variasi perlakuan. Pada spesimen dengan *active flux* TiO_2 , nilai lebar penetrasi berturut-turut sebesar 12,35 mm, 13,47 mm, dan 13,54 mm, sedangkan pada kedalaman penetrasinya sebesar 3,68 mm, 6,91 mm, dan 7,02 mm untuk arus 190 A, 210 A, dan 230 A.

Pada spesimen dengan *active flux* ZnO, lebar penetrasi yang diperoleh masing-masing sebesar 12,55 mm, 12,56 mm, dan 13,43 mm, sedangkan kedalaman penetrasi berturut-turut sebesar 5,06 mm, 6,98 mm, dan 7,21 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh spesimen dengan *active flux* ZnO menghasilkan penetrasi yang relatif tinggi pada setiap variasi arus pengelasan.

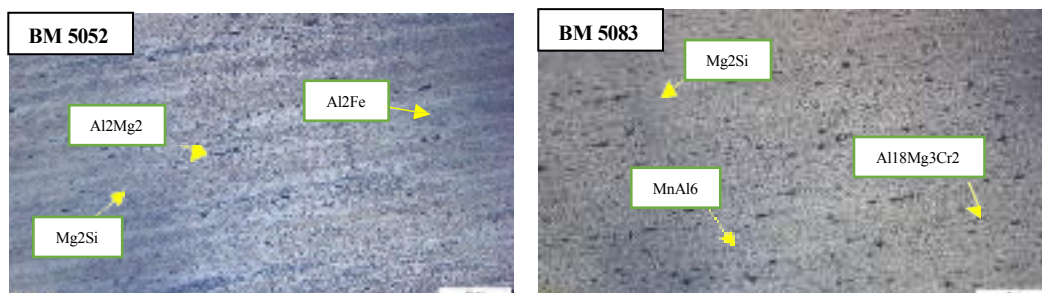
Sementara itu, spesimen tanpa penggunaan *active flux* memiliki lebar penetrasi sebesar 11,35 mm, 10,93 mm, dan 12,81 mm, dengan kedalaman penetrasi masing-masing yaitu sebesar 3,05 mm, 3,25 mm, dan 4,89 mm pada arus 190 A, 210 A, dan 230 A. Dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan *active flux*, spesimen tanpa *flux* menghasilkan nilai kedalaman penetrasi yang lebih rendah pada seluruh variasi arus.

4.1.3 Hasil Uji Struktur Mikro

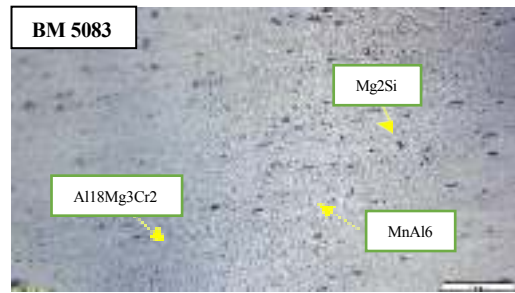
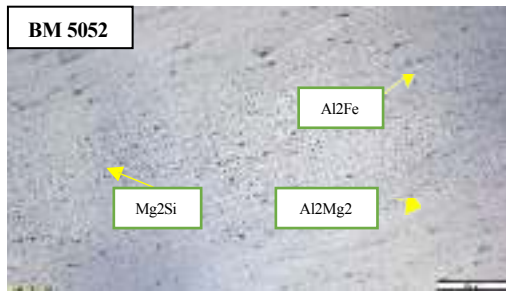
Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk melihat mikrostruktur yang terbentuk pada material Aluminium 5052 dengan 5083 yang telah dilakukan pengelasan A-TIG menggunakan tiga variasi arus las, yaitu 190 A, 210 A, 230 A, serta jenis *active flux* TiO₂ dan ZnO. Hal ini dapat merubah pada mikrostruktur material tersebut. Struktur mikro yang diamati adalah pada daerah *base metal*, *weld metal*, dan *HAZ*. Pada pengujian mikro ini dilakukan menggunakan perbesaran 200x untuk melihat secara detail perubahan mikrostruktur yang terjadi.

4.1.3.1 Struktur Mikro *Base Metal*

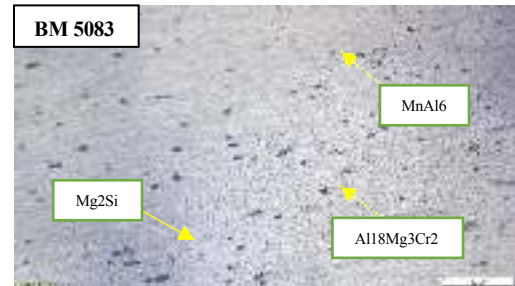
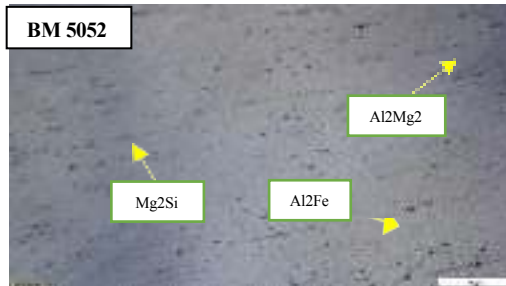
Berdasarkan ASM handbook *metallography*, material Aluminium 5052 memiliki struktur dasar konsisten diseluruh variasi perlakuan panas. Berdasarkan penjelasan unsur-unsur tersebut, maka hasil pengujian yang telah dilakukan dapat ditunjukkan Gambar 4.4 Berikut.



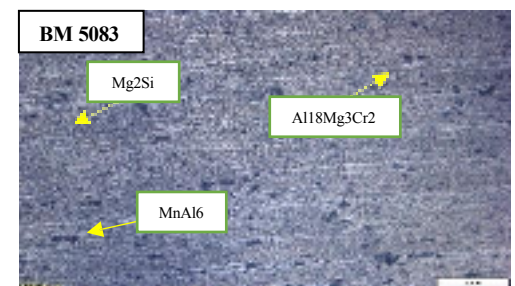
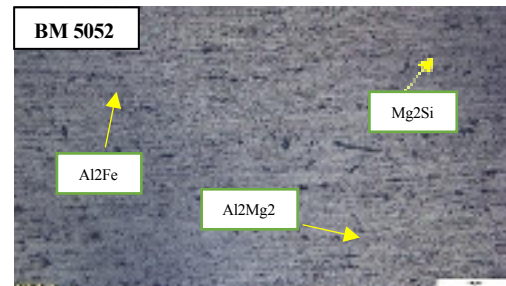
Spesimen B1 (TiO₂ – 190 A)



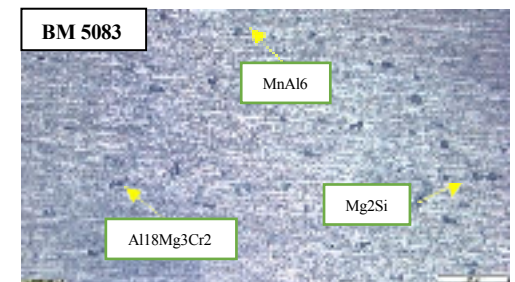
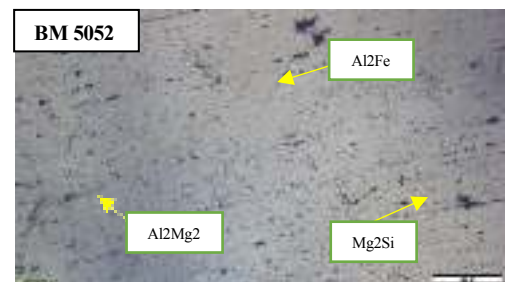
Spesimen B2 (TiO_2 – 210 A)



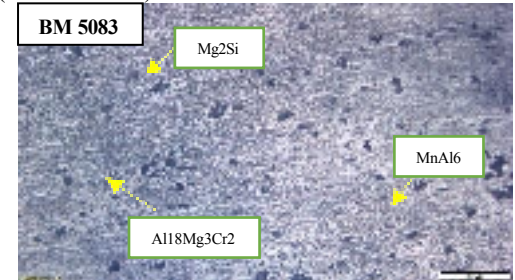
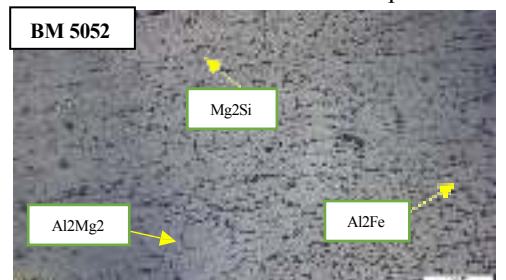
Spesimen B3 (TiO_2 – 230 A)



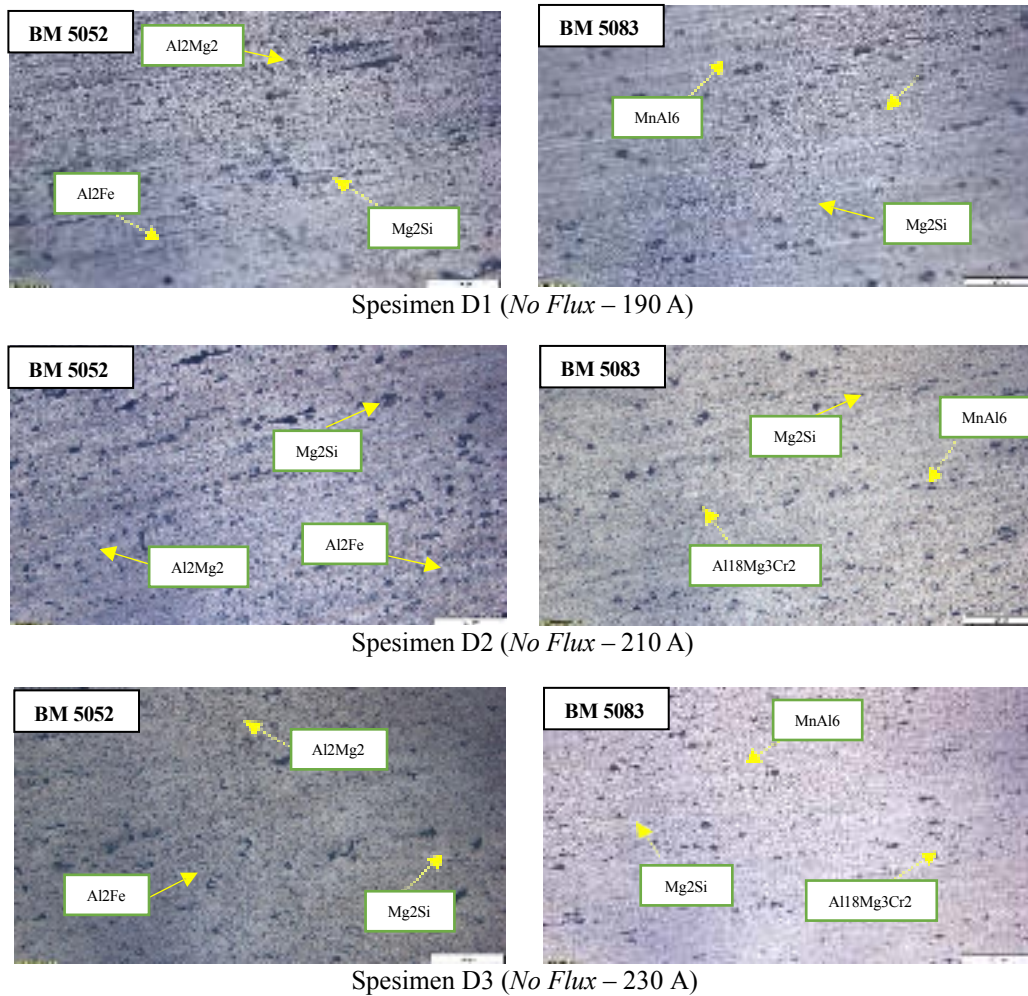
Spesimen C1 (ZnO – 190 A)



Spesimen C2 (ZnO – 210 A)



Spesimen C3 (ZnO – 230 A)



Gambar 4. 4 Hasil Struktur Mikro *Base Metal*

Gambar 4.4 merupakan hasil pengamatan mikrostruktur pada *base metal* pada paduan Aluminium seri 5052 dan 5083, teridentifikasi mikrostruktur Aluminium 5052 dan Aluminium 5083 masih mempertahankan karakteristik awal material sebelum proses pengelasan. Pada seluruh spesimen (B1 sampai D3), fasa-fasa yang teridentifikasi pada Aluminium 5052 terdiri atas Al₂Mg₂, Al₂Fe, dan Mg₂Si. Fasa Al₂Mg₂ tampak tersebar pada matriks Aluminium, sedangkan partikel Al₂Fe dan Mg₂Si terlihat sebagai partikel intermetalik yang tersebar di dalam butiran material. Pada sisi *base metal* Aluminium 5083, struktur mikro menunjukkan keberadaan fasa Al₁₈Mg₃Cr₂, MnAl₆, dan Mg₂Si. Fasa Al₁₈Mg₃Cr₂ tampak sebagai partikel hasil paduan magnesium dan kromium yang tersebar pada matriks Aluminium. Selain itu, fasa MnAl₆ juga terlihat pada beberapa daerah sebagai partikel intermetalik yang mengandung mangan, sedangkan Mg₂Si tersebar merata di

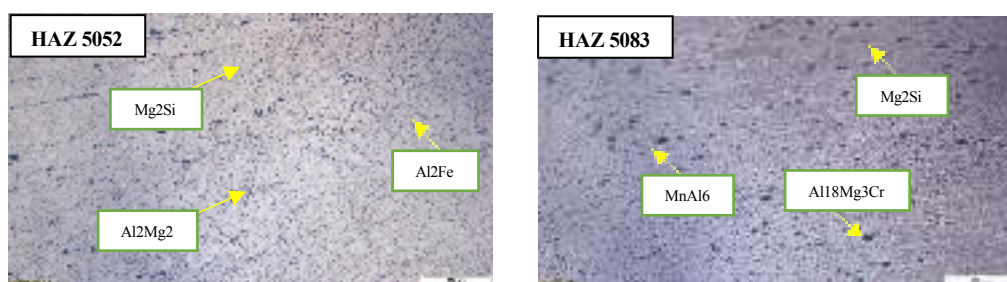
dalam struktur

mikro. Keberadaan fasa-fasa tersebut tampak konsisten pada seluruh variasi spesimen tanpa menunjukkan perubahan morfologi yang signifikan. Seperti yang dijelaskan oleh Bahri (2022), yang menyatakan bahwa struktur mikro base metal Aluminium 5083 didominasi oleh fase α -Al dengan penyebaran partikel intermetalik $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, MnAl_6 , dan Mg_2Si yang masih homogen sebelum proses pengelasan.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan struktur mikro pada daerah *base metal* menunjukkan bahwa kedua logam dasar masih memiliki distribusi fasa intermetalik yang sesuai dengan karakteristik awal masing-masing material. Tidak terlihat adanya perubahan bentuk maupun ukuran butir karena daerah ini tidak mengalami pengaruh panas secara langsung selama proses pengelasan.

4.1.3.2 Struktur Mikro HAZ

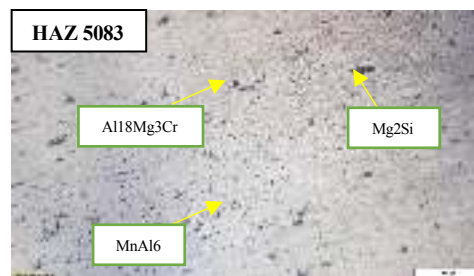
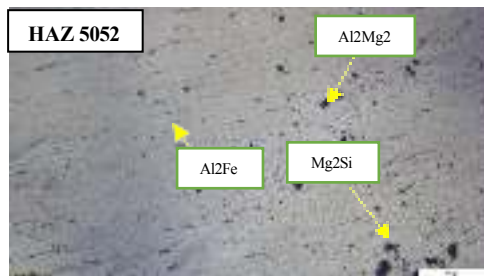
Dari hasil foto mikro daerah HAZ dapat dianalisis bahwa bentuk butir Mg_2Si berubah bentuk gumpalan hitam menjadi bentuk memanjang, akibat dari area HAZ memperoleh pengaruh panas dari proses pengelasan. Peristiwa ini biasa disebut *recrystallitation* yang akan mempengaruhi tingkat kekerasannya. Perubahan bentuk dari $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$ menjadi bentuk yang lebih halus. Dan pada Mg_2Si semakin tersebar merata pada keseluruhan bagian struktur mikro pada HAZ, Al pada *base metal* berbentuk memanjang disini tidak ada perubahan bentuk. Gambar 4.5 di bawah ini merupakan hasil uji mikro pada daerah HAZ.



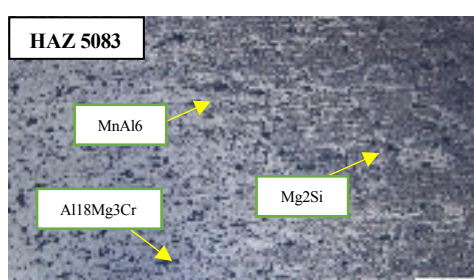
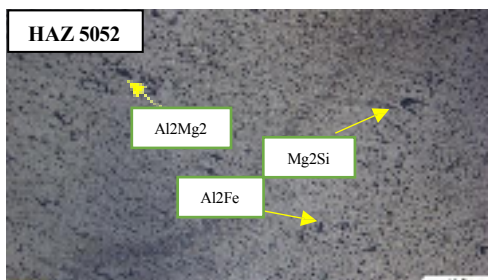
Spesimen B1 (TiO_2 – 190 A)



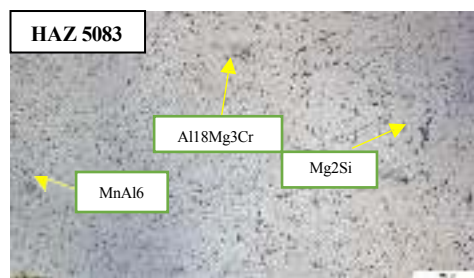
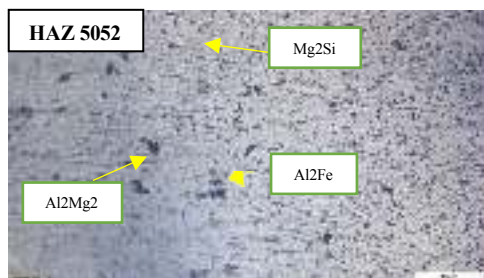
Spesimen B2 (TiO_2 – 210 A)



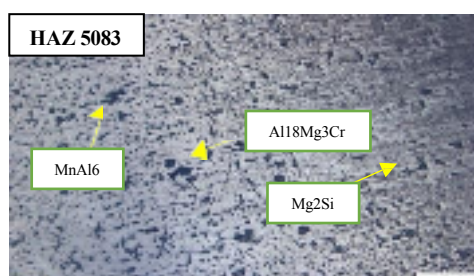
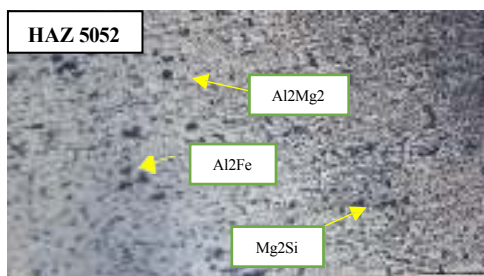
Spesimen B3 (TiO_2 – 230 A)



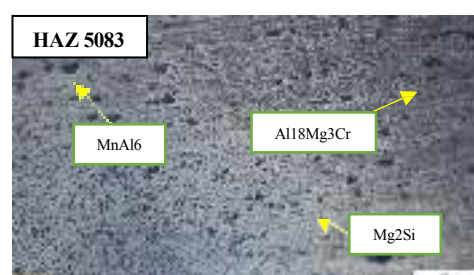
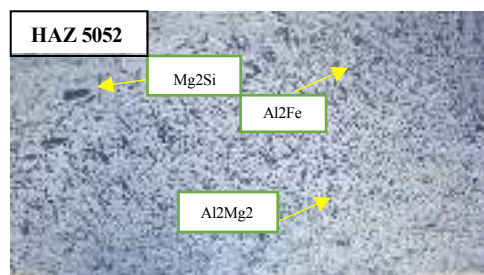
Spesimen C1 (ZnO – 190 A)



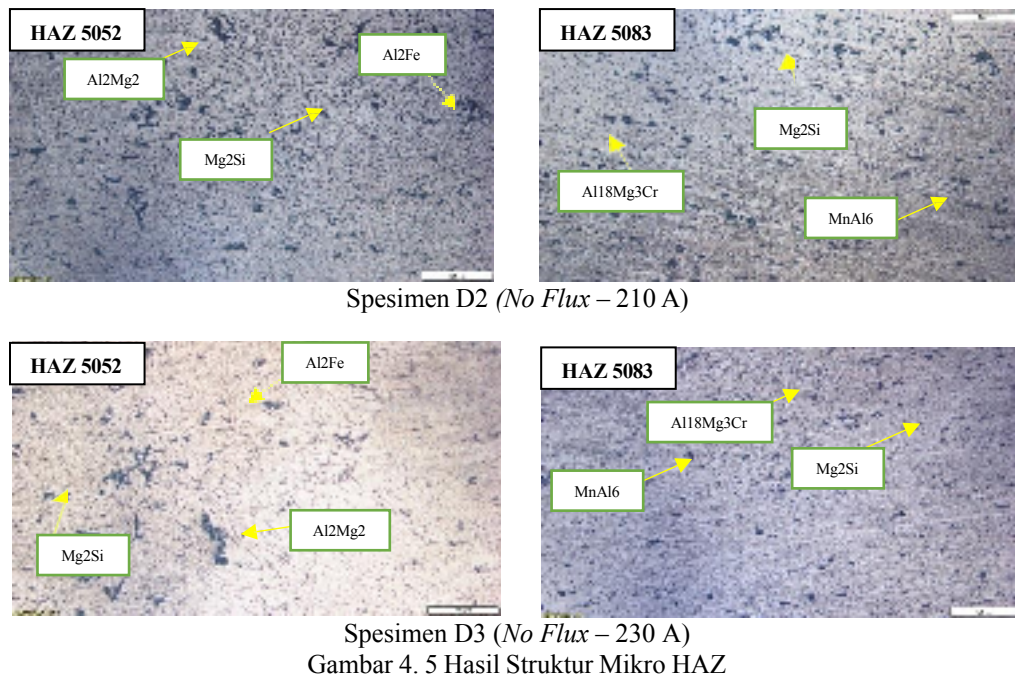
Spesimen C2 (ZnO – 210 A)



Spesimen C3 (ZnO – 230 A)



Spesimen D1 (*No Flux* – 190 A)



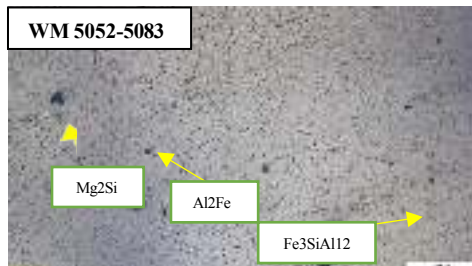
Gambar 4.5 menunjukkan mikrostruktur pada daerah HAZ (Heat Affected Zone) antara *base metal* dan *weld metal* dari paduan Al 5052 dan Al 5083. Daerah HAZ merupakan zona kritis yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat eksposur panas selama proses pengelasan, meskipun tidak sampai mencair. Perubahan ini umumnya disebabkan oleh pelarutan sebagian fasa, pertumbuhan butir, dan pengendapan ulang presipitat.

Fasa Mg_2Si yang pada daerah *base metal* tampak berbentuk menggumpal, pada daerah HAZ terlihat mengalami perubahan morfologi menjadi lebih memanjang dan penyebarannya lebih merata. Selain itu, partikel Al_2Fe masih tampak tersebar di dalam matriks Aluminium, sedangkan fasa Al_2Mg_2 tetap dapat diamati pada sisi Aluminium 5052. Pada sisi Aluminium 5083, fasa $Al_{18}Mg_3Cr_2$ dan $MnAl_6$ masih terlihat dengan distribusi yang mengikuti arah struktur mikro pada daerah HAZ.

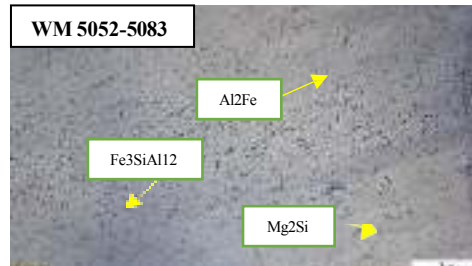
Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa batas antara daerah *base metal* dan *weld metal* mulai terlihat lebih jelas pada daerah HAZ. Perubahan bentuk butir dan distribusi fasa pada daerah ini tampak seragam pada seluruh variasi spesimen, baik yang menggunakan *active flux* TiO_2 , ZnO , maupun tanpa *active flux*.

4.1.3.3 Struktur Mikro *Weld Metal*

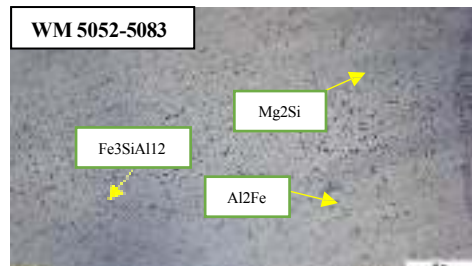
Pada daerah *weld metal* merupakan daerah yang harus di analisa lebih dalam, karena daerah ini terpengaruh langsung dengan proses A-TIG, dimana menggunakan variasi kuat arus las dan *active flux*. Struktur mikro pada daerah *weld metal* dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



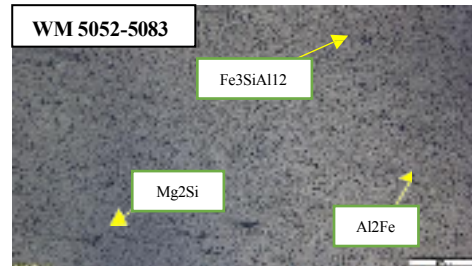
Spesimen B1 (TiO_2 – 190 A)



Spesimen B2 (TiO_2 – 210 A)



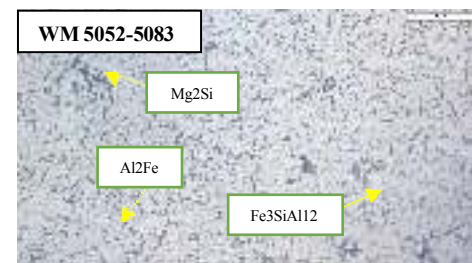
Spesimen B3 (TiO_2 – 230 A)



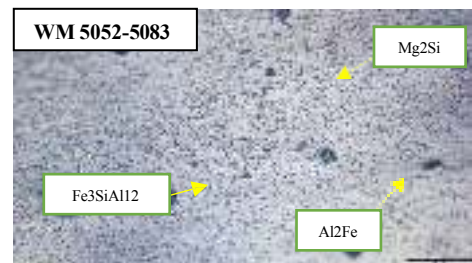
Spesimen C1 (ZnO – 190 A)



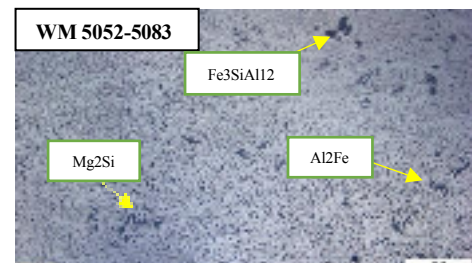
Spesimen C2 (ZnO – 210 A)



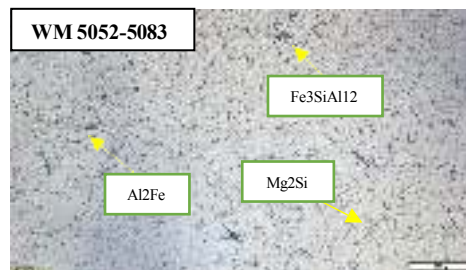
Spesimen C3 (ZnO – 230 A)



Spesimen D1 (*No Flux* – 190 A)



Spesimen D2 (*No Flux* – 210 A)



Spesimen D3 (*No Flux* – 230 A)

Gambar 4. 6 Hasil Struktur Mikro *Weld Metal*

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa struktur mikro pada daerah *weld metal* didominasi oleh struktur *dendritik* dan *equiaxed* yang tersebar secara acak, yang merupakan karakteristik umum dari logam hasil pengelasan. Selain morfologi butir tersebut, pada daerah *weld metal* juga teridentifikasi beberapa fasa intermetalik, yaitu Al_2Fe , $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$, dan Mg_2Si . Fasa $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$ terlihat berada di sekitar batas butir hasil pembekuan, sedangkan Mg_2Si terdistribusi pada beberapa bagian logam las sebagai partikel presipitat. Ketiga fasa tersebut dapat diamati pada seluruh variasi spesimen hasil pengelasan A-TIG. Pengamatan struktur mikro juga menunjukkan bahwa daerah *weld metal* merupakan hasil pencampuran logam dasar Aluminium 5052 dan Aluminium 5083 selama proses pencairan dan pembekuan. Pada seluruh spesimen, distribusi fasa Al_2Fe , $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$, dan Mg_2Si tampak menyebar di antara struktur *dendritik* dan *equiaxed* yang terbentuk selama proses solidifikasi logam las. Pada struktur *dendritik* terdapat pada Al_2Fe , Sedangkan *equiaxed* termasuk dalam $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$, dan Mg_2Si .

Seperti yang dijelaskan oleh Nugroho (2023), bahwa butir *dendritik* terbentuk akibat proses pembekuan yang berlangsung secara terarah mengikuti temperatur yang tinggi dari logam las menuju logam induk, sehingga menghasilkan struktur bercabang yang memanjang. Sementara itu, butir *equiaxed* memiliki bentuk yang relatif sama ke segala arah dan biasanya terbentuk pada daerah dengan laju pendinginan yang lebih tinggi serta temperatur yang rendah, sehingga memberikan struktur yang seragam.

4.1.4 Hasil Uji Kekerasan

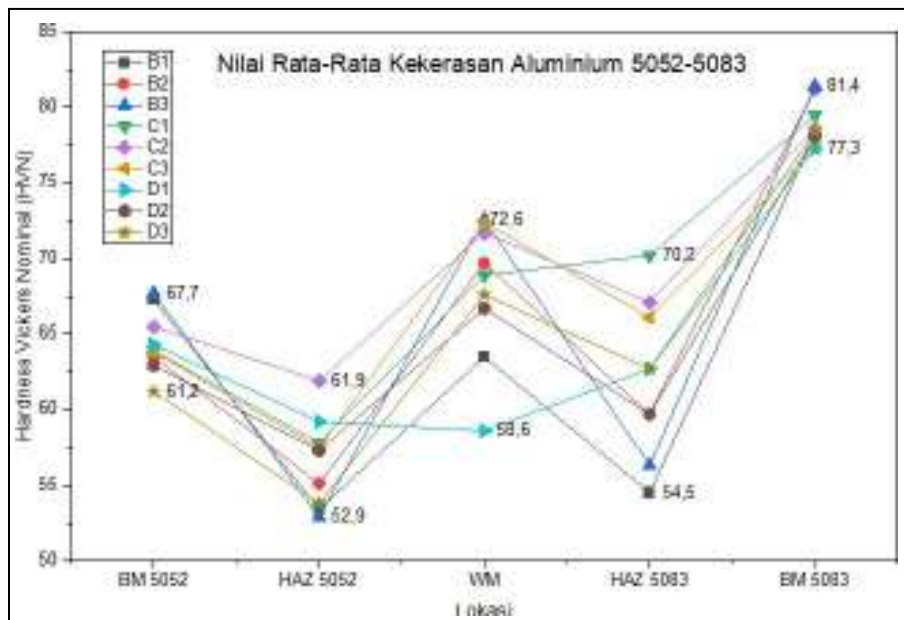
Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai kekerasan pada bagian setiap spesimen yang sudah dilas dengan menggunakan variasi proses las yang berbeda. Terdapat sembilan spesimen dengan tiga variasi arus las dan menggunakan *active flux* yang berbeda. Pengujian ini menggunakan mesin *hardness* metode *vickers* yang dilakukan di laboratorium uji bahan . Setiap pengujian diambil 3 titik pada setiap spesimen didaerah *Base Metal*, *Heat Affected Zone* dan *Weld Metal*. Data hasil uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Data Hasil Uji Kekerasan

Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
B1	BM AL 5052	69,2	68,7	64,1	67,3
	HAZ AL 5052	56,7	50,2	53,5	53,4
	WM	64,2	61,4	64,8	63,5
	HAZ AL 5083	55,6	53,1	54,7	54,5
	BM AL 5083	77,4	77,7	79,5	78,2
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
B2	BM AL 5052	62,4	61,2	67,0	63,5
	HAZ AL 5052	59,9	53,9	51,6	55,1
	WM	72,7	66,4	70,2	69,7
	HAZ AL 5083	60,9	61,2	57,1	59,7
	BM AL 5083	85,0	76,6	82,0	81,2
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
B3	BM AL 5052	69,9	68,7	64,7	67,7
	HAZ AL 5052	55,2	51,8	51,9	52,9
	WM	73,2	70,1	74,6	72,6
	HAZ AL 5083	56,1	58,1	55,2	56,3
	BM AL 5083	84,7	79,5	80,0	81,4
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
C1	BM AL 5052	63,6	66,0	62,3	63,9
	HAZ AL 5052	61,8	57,0	54,7	57,8
	WM	72,6	66,5	67,8	68,9
	HAZ AL 5083	68,1	75,2	67,4	70,2
	BM AL 5083	77,8	82,9	77,7	79,5

Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
C2	BM AL 5052	67,4	63,2	65,9	65,5
	HAZ AL 5052	60,9	60,9	63,8	61,9
	WM	72,6	73,6	68,8	71,7
	HAZ AL 5083	61,5	73,4	66,3	67,1
	BM AL 5083	78,2	76,5	81,0	78,6
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
C3	BM AL 5052	62,4	64,2	64,9	63,8
	HAZ AL 5052	60,3	56,5	55,6	57,5
	WM	72,4	75,7	69,1	72,4
	HAZ AL 5083	67,2	66,8	64,3	66,1
	BM AL 5083	75,7	79,0	75,1	77,3
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
D1	BM AL 5052	67,5	63,8	61,6	64,3
	HAZ AL 5052	60,4	61,3	56,0	59,2
	WM	61,5	55,4	58,8	58,6
	HAZ AL 5083	68,1	56,7	63,4	62,7
	BM AL 5083	78,8	78,0	75,1	77,3
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
D2	BM AL 5052	61,5	60,6	66,5	62,9
	HAZ AL 5052	53,7	59,0	59,1	57,3
	WM	71,0	64,7	64,4	66,7
	HAZ AL 5083	64,2	55,8	59,2	59,7
	BM AL 5083	82,5	74,8	77,9	78,1
Marking Material	Lokasi	Hardness Vickers Nominal			Rata-Rata (HVN)
		Atas	Tengah	Bawah	
D3	BM AL 5052	61,2	60,8	61,5	61,2
	HAZ AL 5052	59,3	48,2	53,9	53,8
	WM	68,5	68,6	65,9	67,6
	HAZ AL 5083	60,8	61,6	65,5	62,7
	BM AL 5083	80,0	76,8	78,4	78,4

Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh nilai rata-rata daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Gambar 4.7 merupakan grafik nilai *hardness* pada Aluminium 5052-5083.



Gambar 4. 7 Grafik Nilai Kekerasan Aluminium 5052-5083

Pada Gambar 4.7 merupakan hasil uji kekerasan dan menunjukkan bahwa distribusi nilai kekerasan berbeda pada setiap daerah pengujian dan setiap variasi perlakuan. Pada *base metal* Aluminium 5052, nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan *active flux* TiO_2 dengan arus pengelasan 230 A, yaitu sebesar 67,7 HVN. Sementara itu, nilai kekerasan terendah diperoleh pada spesimen tanpa *active flux* dengan arus 230 A, yaitu sebesar 61,2 HVN. Pada *Base Metal* Aluminium 5083, nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada penggunaan *active flux* TiO_2 dengan arus pengelasan 230 A, yaitu sebesar 81,4 HVN. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada spesimen tanpa *active flux* dengan arus 190 A, yaitu sebesar 77,3 HVN.

Pada daerah HAZ Aluminium 5052, hasil pengujian menunjukkan adanya variasi nilai kekerasan pada setiap perlakuan. Berdasarkan grafik hasil pengujian, nilai kekerasan tertinggi berada pada spesimen yang menggunakan *active flux* ZnO , sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen yang menggunakan *active flux* TiO_2 . Nilai kekerasan pada daerah ini berada di antara nilai kekerasan *base metal* Aluminium 5052 dan *weld metal*. Pada daerah HAZ Aluminium 5083, nilai

kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan *active flux* ZnO pada arus pengelasan 190 A, yaitu sebesar 70,2 HVN. Sementara itu, nilai kekerasan terendah diperoleh pada spesimen dengan *active flux* TiO₂ pada arus yang sama, yaitu sebesar 54,5 HVN.

Hasil pengujian pada daerah *weld metal* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen B3 yang menggunakan *active flux* TiO₂ dengan arus pengelasan 190 A, yaitu sebesar 72,6 HVN. Nilai tersebut diikuti oleh spesimen C3 yang menggunakan *active flux* ZnO pada arus yang sama dengan nilai kekerasan sebesar 72,40 HVN. Sementara itu, nilai kekerasan terendah diperoleh pada spesimen D1 tanpa penggunaan *active flux*, yaitu sebesar 58,6 HVN.

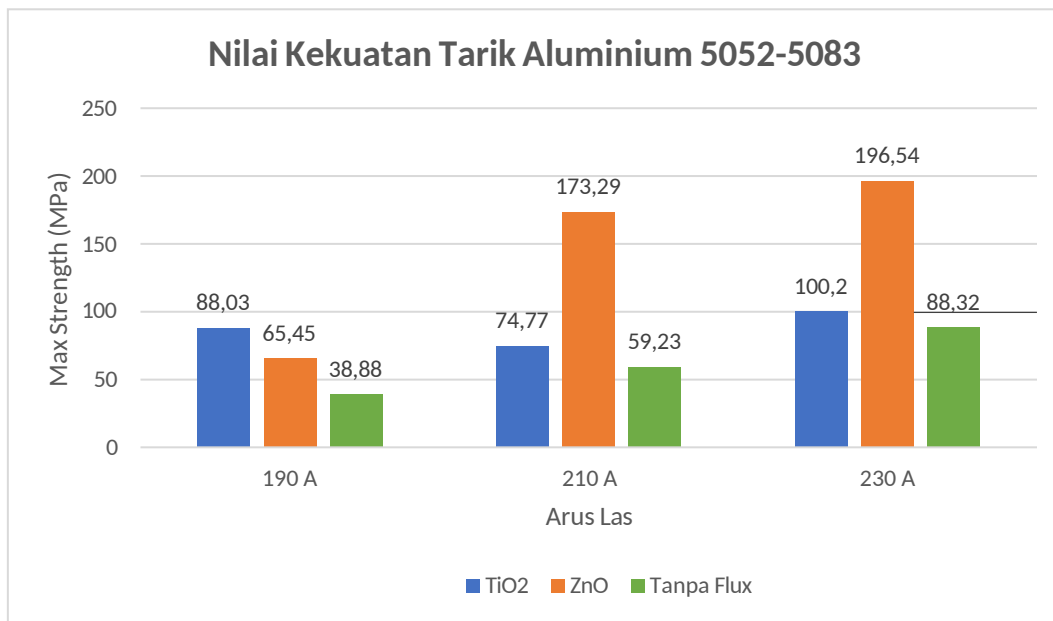
4.1.5 Hasil Uji Kekuatan Tarik

Uji tarik merupakan pengujian untuk mengetahui kekuatan hasil sambungan pengelasan. Pada material Aluminium 5052 dengan Aluminium 5083 pengelasan A-TIG menggunakan variasi kuat arus (190 A, 210 A, dan 230 A) serta *active flux* (TiO₂ dan ZnO). Hasil uji tarik pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Kekuatan Tarik

<i>Tensile Test</i>					
No	Marking Material	Elongation (%)	Yield Strength (MPa)	Max Strength (MPa)	Fracture
1.	B1	5,45	85,62	88,03	WM
2.	B2	3,76	69,65	74,77	WM
3.	B3	3,37	90,34	100,20	WM
4.	C1	2,33	57,82	65,45	WM
5.	C2	27,99	108,43	173,29	WM
6.	C3	16,6	109,84	196,54	WM
7.	D1	10,44	35,16	38,88	WM
8.	D2	5,98	50,79	59,23	WM
9.	D3	11,83	62,29	88,32	WM

Berdasarkan hasil uji kekuatan tarik pada Tabel 4.3, maka dapat disajikan gambar grafik yang tertera pada Gambar 4.8 untuk menampilkan perbandingan rata-rata kekuatan tarik dari setiap variasi berdasarkan variasi arus las dan jenis *active flux*.



Gambar 4. 8 Grafik Nilai Kekuatan Tarik Aluminium 5052-5083

Hasil uji tarik diperoleh bahwa peningkatan arus las dan perbedaan *active flux* yang digunakan memiliki pengaruh beragam terhadap kekuatan sambungan. seluruh spesimen mengalami patah pada daerah *Weld Metal* (WM). Dari penggunaan *active flux* TiO₂ nilai kuat tarik nya bervariasi, *active flux* ZnO nilai kuat tariknya signifikan, serta tanpa penggunaan *active flux* nilai kuat tariknya stabil.

Nilai kekuatan tarik (*maximum strength*) tertinggi diperoleh pada spesimen C3 yang menggunakan *active flux* ZnO dengan arus pengelasan 230 A, yaitu sebesar 196,54 MPa. Sementara itu, nilai kekuatan tarik (*maximum strength*) terendah diperoleh pada spesimen D1 tanpa penggunaan *active flux* dengan arus pengelasan 190 A, yaitu sebesar 38,88 MPa.

4.1.6 Hasil Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi penelitian ini menggunakan metode *weight gain loss*. Pada pengujian ini, material direndam pada larutan serta dilakukan penimbangan sebelum dan setelahnya yang bertujuan untuk mengetahui kehilangan massa yang terjadi akibat proses perendaman selama 336 jam (14 hari). Perhitungan laju korosi menggunakan metode *weight gain loss* sesuai persamaan (2.4). Dimana nilai laju

korosi akan didapatkan setelah melakukan perhitungan sebagai berikut dan dicantumkan pada Tabel 4.4 data hasil laju korosi berikut.

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{A \times t \times p}$$

Diketahui:

$$K : 8,76 \times 10^4$$

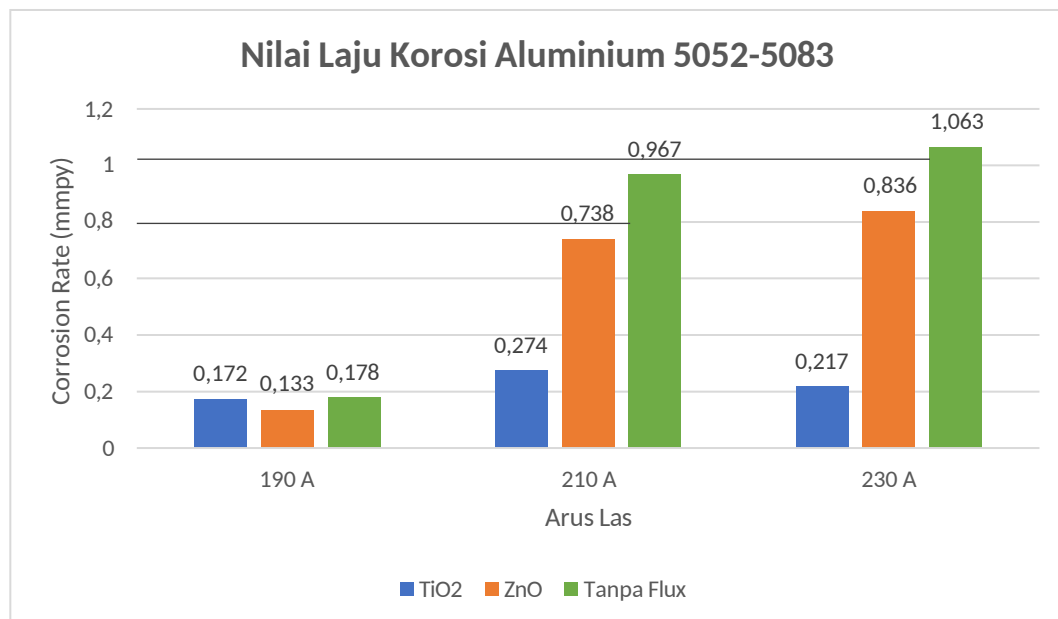
$$t : 336 \text{ jam}$$

$$p : 0,00267 \text{ gram/mm}^3$$

Tabel 4. 4 Data Hasil Laju Korosi

<i>Marking Material</i>	<i>Luas Material A (mm²)</i>	<i>Massa Awal (gram)</i>	<i>Massa Akhir (gram)</i>	<i>Kehilangan Massa W (gram)</i>	<i>Corrosion Rate (mmpy)</i>
B1	3.182	17,6593	17,6537	0,0056	0,172
B2	3.026	16,9898	16,9813	0,0085	0,274
B3	3.006	16,3491	16,3424	0,0067	0,217
C1	2.923	15,7637	15,7597	0,0040	0,133
C2	2.856	15,2366	15,2150	0,0216	0,738
C3	2.929	15,9245	15,8994	0,0251	0,836
D1	2.796	14,6752	14,6701	0,0051	0,178
D2	2.845	15,2371	15,2090	0,0281	0,967
D3	2.873	15,9206	15,8893	0,0313	1,063

Dari pengujian laju korosi yang telah dilakukan didapatkan nilai laju korosi pada Gambar 4.9 berikut ini.



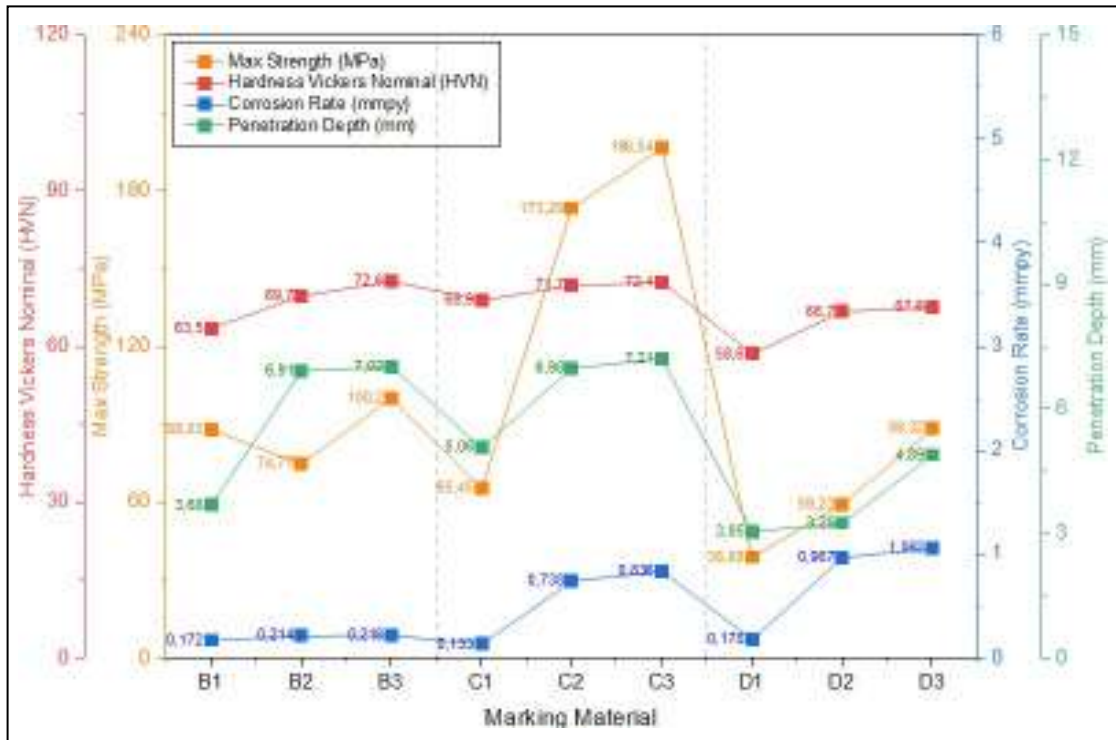
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Laju Korosi Aluminium 5052-5083

Hasil pengujian nilai corrosion rate seluruh spesimen berada pada rentang 0,133–1,063 mmpy. Perbedaan nilai laju korosi terlihat pada setiap variasi arus pengelasan dan penggunaan *active flux*. Nilai corrosion rate tertinggi diperoleh pada spesimen D3 tanpa penggunaan *active flux* dengan arus pengelasan 230 A, yaitu sebesar 1,063 mmpy. Sementara itu, nilai *corrosion rate* terendah diperoleh pada spesimen B1 yang menggunakan *active flux* ZnO dengan arus pengelasan 190 A, yaitu sebesar 0,133 mmpy. Penggunaan *active flux* ZnO menghasilkan distribusi las yang merata sehingga laju korosi menjadi lebih rendah daripada *active flux* TiO₂ dan tanpa *flux*. Dalam peningkatan arus setiap penggunaan *active flux* terutama pada 210 A dan 230 A mengalami peningkatan *heat input* yang menyebabkan semakin cepat kehilangan massa material.

Semakin rendah nilai laju korosi, maka semakin baik ketahanan korosi material karena kehilangan massa akibat reaksi elektrokimia berlangsung lebih lambat. Berdasarkan klasifikasi ketahanan korosi menurut Fontana dan Greene (2018), spesimen dengan nilai laju korosi 0,133-0,214 mmpy termasuk kategori cukup, nilai 0,738-0,967 mmpy termasuk kategori kurang, sedangkan nilai 1,063 mmpy termasuk kategori buruk. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan arus las yang lebih tinggi dapat menyebabkan material cepat mengalami korosi, serta *active flux* ZnO mampu memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan TiO₂ maupun pengelasan tanpa *flux*.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, variasi kuat arus dan penggunaan *active flux* memberikan pengaruh yang saling berkaitan terhadap karakteristik sambungan las *dissimilar* Aluminium 5052–5083. Besarnya arus menentukan *heat input* yang diterima material, sedangkan *active flux* TiO₂ dan ZnO memengaruhi karakteristik busur las melalui mekanisme *arc constriction* dan perubahan aliran marangoni. Kedua parameter tersebut memengaruhi proses pencairan logam, pembentukan struktur mikro, kedalaman penetrasi, sifat mekanik, hingga ketahanan korosi sambungan las. Pada Gambar 4.10 merupakan grafik korelasi nilai pengujian dari kedalaman penetrasi, kekuatan tarik, kekerasan, dan laju korosi yaitu sebagai berikut.



Gambar 4. 10 Grafik Korelasi Nilai Pengujian

Dari Gambar 4.10, hasil uji makro menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan dari 190 A menjadi 230 A meningkatkan kedalaman penetrasi pada seluruh variasi spesimen. Nilai penetrasi tertinggi diperoleh pada spesimen C3 yang menggunakan *active flux* ZnO dengan arus 230 A, yaitu sebesar 7,21 mm, sedangkan penetrasi terendah diperoleh pada spesimen D1 tanpa *active flux* dengan arus 190 A, yaitu 3,05 mm. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan

active flux mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi panas selama proses A-TIG. Lapisan TiO₂ maupun ZnO meningkatkan densitas arus pada pusat busur sehingga panas lebih terfokus pada daerah sambungan. Selain itu, *active flux* membalik arah aliran marangoni dari arah luar menuju pusat kolam las sehingga logam cair mengalir ke dasar sambungan dan menghasilkan penetrasi yang lebih dalam. Hasil ini sejalan dengan penelitian Bahri (2022), Ridho (2023), dan Ilmihadiyat (2025) yang menyatakan bahwa *active flux* meningkatkan kedalaman penetrasi dibandingkan pengelasan TIG konvensional.

Perubahan struktur mikro berpengaruh terhadap distribusi nilai kekerasan. Pada daerah *weld metal*, nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen B3 yang menggunakan *active flux* TiO₂, yaitu sebesar 72,6 HVN, sedangkan nilai terendah terdapat pada spesimen D1 tanpa *active flux* sebesar 58,6 HVN. Nilai kekerasan yang lebih tinggi pada spesimen dengan *active flux* menunjukkan bahwa distribusi presipitat menjadi lebih merata sehingga mampu menghambat pergerakan dislokasi. Sebaliknya, pada spesimen tanpa *active flux*, distribusi panas yang kurang optimal menyebabkan nilai kekerasan mengalami penurunan.

Kedalaman penetrasi dan homogenitas struktur mikro juga memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik sambungan las. Nilai *maximum strength* tertinggi diperoleh pada spesimen C3 yang menggunakan *active flux* ZnO dengan arus 230 A, yaitu sebesar 196,54 MPa, sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen D1 tanpa *active flux* dengan arus 190 A, yaitu sebesar 38,88 MPa. Seluruh spesimen mengalami patah pada daerah *weld metal*, yang menunjukkan bahwa daerah tersebut masih menjadi bagian paling kritis dari sambungan hasil pengelasan. Kekuatan tarik yang tinggi pada spesimen C3 berkaitan erat dengan penetrasi penuh sebesar 7,21 mm serta struktur mikro yang lebih homogen sehingga luas ikatan metalurgi menjadi lebih besar dan distribusi tegangan selama pembebanan lebih merata. Sebaliknya, penetrasi yang dangkal pada spesimen D1 menyebabkan luas penampang efektif lebih kecil sehingga konsentrasi tegangan meningkat dan spesimen lebih cepat mengalami kegagalan. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan penetrasi merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik sambungan las.

Perbedaan karakteristik antara *active flux* TiO₂ dan ZnO juga terlihat dari hasil penelitian. *Active flux* TiO₂ menghasilkan nilai kekerasan *weld metal* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan ZnO, sedangkan ZnO menghasilkan penetrasi dan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa TiO₂ lebih efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap deformasi lokal melalui pembentukan struktur mikro, sedangkan ZnO lebih efektif meningkatkan kualitas ikatan metalurgi akibat distribusi panas yang lebih merata dan penetrasi yang lebih dalam. Oleh karena itu, pemilihan jenis *active flux* dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi apakah lebih mengutamakan kekerasan permukaan atau kekuatan sambungan.

Hubungan antara struktur mikro dan ketahanan korosi juga terlihat jelas pada penelitian ini. Nilai laju korosi terendah diperoleh pada spesimen C1 yang menggunakan *active flux* ZnO dengan arus 190 A, yaitu sebesar 0,133 mmpy, sedangkan laju korosi tertinggi diperoleh pada spesimen D3 tanpa *active flux* dengan arus 230 A, yaitu sebesar 1,063 mmpy. Rendahnya laju korosi disebabkan oleh penetrasi yang lebih baik sehingga jumlah cacat internal, porositas, maupun incomplete fusion menjadi lebih sedikit. Sebaliknya, pada spesimen tanpa *active flux*, penetrasi yang relatif dangkal dan distribusi panas yang kurang optimal menyebabkan memperbesar kemungkinan terbentuknya daerah anoda dan katoda lokal yang mempercepat reaksi korosi.

Dari seluruh hasil pengujian, *active flux* ZnO direkomendasikan sebagai *flux* terbaik pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083. *Active flux* ZnO menghasilkan penetrasi terdalam, struktur mikro yang baik, kekuatan tarik yang tinggi, serta laju korosi yang rendah. Meskipun nilai kekerasannya sedikit lebih rendah dibandingkan TiO₂, secara keseluruhan ZnO memberikan kombinasi sifat mekanik dan ketahanan korosi yang paling optimal sehingga *active flux* ini lebih direkomendasikan untuk aplikasi pada pembuatan konstruksi kapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kedalaman penetrasi pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* ZnO dan TiO₂ menunjukkan peningkatan arus las signifikan menghasilkan nilai hampir setara. Arus las 230 A, penetrasi terdalam ZnO sebesar 7,21 mm sedangkan TiO₂ sebesar 7,02 mm, tanpa *flux* menghasilkan kedalaman penetrasi terkecil yaitu 4,89 mm di arus las yang sama. Peningkatan penetrasi berkorelasi dengan *arc constriction* dan distribusi panas akibat pengaruh unsur oksida pada *flux*.
2. Struktur mikro pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* ZnO dan TiO₂ menunjukkan bahwa daerah base metal Aluminium 5052 didominasi oleh fasa Al₂Mg₂, Al₂Fe, dan Mg₂Si, sedangkan Aluminium 5083 terdiri atas fasa Al₁₈Mg₃Cr₂, MnAl₆, dan Mg₂Si. Pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) terjadi perubahan ukuran butir akibat siklus termal pengelasan, sedangkan pada daerah *weld metal* terbentuk struktur hasil solidifikasi berupa butir *dendritik* dan *equiaxed* yang disertai fasa Fe₃SiAl₁₂, Al₂Fe, dan Mg₂Si. Penggunaan *active flux* menghasilkan struktur logam las yang lebih homogen dibandingkan spesimen tanpa *active flux*.
3. Nilai kekerasan pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* ZnO dan TiO₂ menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan tanpa *flux* karena mampu menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen dan distribusi presipitat yang lebih merata. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* diperoleh pada spesimen B3 (*active flux* TiO₂ dengan arus 230 A) sebesar 72,6 HVN, sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen D1 (tanpa *active flux* dengan arus 190 A) sebesar 58,6 HVN. Hasil ini

menunjukkan bahwa *active flux* TiO₂ lebih efektif dalam meningkatkan kekerasan sambungan las melalui pembentukan struktur mikro yang lebih halus dan stabil selama proses solidifikasi.

4. Kekuatan tarik pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* ZnO dan TiO₂ membuktikan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen C3 (*active flux* ZnO dengan arus 230 A) sebesar 196,54 MPa, sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen D1 (tanpa *active flux* dengan arus 190 A) sebesar 38,88 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *active flux* ZnO lebih efektif meningkatkan kekuatan tarik karena menghasilkan penetrasi terdalam (7,21 mm) dan sambungan yang lebih homogen dibandingkan TiO₂ maupun tanpa *active flux*.
5. Laju korosi pada pengelasan *dissimilar* A-TIG Aluminium 5052 dengan 5083 menggunakan variasi kuat arus dan *active flux* ZnO dan TiO₂ membuktikan bahwa penggunaan *active flux* mampu menurunkan laju korosi dibandingkan pengelasan tanpa *flux* karena menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen, mengurangi cacat pengelasan, serta memperkecil terbentuknya sel galvanik mikro pada daerah las. Nilai laju korosi terendah diperoleh pada spesimen B1 (*active flux* ZnO dengan arus 190 A) sebesar 0,133 mmpy, sedangkan nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada spesimen D3 (tanpa *active flux* dengan arus 230 A) sebesar 1,063 mmpy. Hasil ini menunjukkan bahwa *active flux* ZnO memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan TiO₂ maupun tanpa *active flux*.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian ini terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai berikut:

1. Bisa menggunakan jenis *active flux* yang lain agar dapat mengetahui pengaruh hasil dari pengaplikasian jenis *active flux* tersebut.
2. Bisa menggunakan jenis material yang lain agar dapat mengetahui pengaruh hasil dari pengaplikasian jenis material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part B Nonferrous Material Specifications*.
- Bahariawan, A. F. (2021). *ANALISIS HUBUNGAN VARIASI PREHEAT DENGAN METODE SINGLE DAN DOUBLE SIDE ARC WELDING PADA MATERIAL ALUMINIUM 5052 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Bahri, G. B. Q. (2022). *ANALISIS PENGARUH ACTIVE FLUX ZnO DAN SiO DAN KUAT ARUS PADA PENGELASAN A-TIG ALUMINIUM 5083 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, NILAI KEKERASAN DAN METALLOGRAPHY*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Firmansyah, F. (2021). *PENGARUH ACTIVE FLUX (TiO₂ DAN SiO₂) DAN KUAT ARUS PADA PENGELASAN A-TIG DISSIMILAR MATERIAL TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, STUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN, DAN FERRITEE CONTENT*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Fontana, M. G., & Greene, N. D. (2018). *Corrosion engineering*. McGraw-hill.
- Ilmihadiyat, F. (2025). *ANALISIS PENGARUH ACTIVE FLUX TiO₂, SiO₂, DAN KUAT ARUS PADA PENGELASAN A-TIG PADA ALUMINIUM 5052 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK.pdf*.
- Jawwad, M. I. Al. (2022). *ANALISIS PENGARUH ACTIVE FLUX (MgCl₂DAN TiO) DAN KUAT ARUS PADA PENGELASAN A-TIG ALUMINIUM 5083 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN METALOGRAFI*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Kim, M., Perez-Andrade, L., Brewer, L. N., & Kubacki, G. W. (2024). Effect of Microstructure on Corrosion Behavior of Cold Sprayed Aluminum Alloy 5083. *Corrosion and Materials Degradation*, 5(1), 27–51. <https://doi.org/10.3390/cmd5010002>
- Munir, M. M., Wahyudi, M. T., Kurniyanto, H. B., & Anggara, D. (2019). *MODUL PRAKTIK DT NDT*.

- Murugan, S. S. (2020). Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application. *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering (IJMSME)*, 6(2), 28–38. <http://doi.org/10.20431/2454-9711.0602003>
- Nugroho, W. Y. (2023). STUDI PENGARUH TiO₂-SiO₂ SEBAGAI ACTIVE FLUX TERHADAP PENETRASI PENGELASAN A-TIG PADA MATERIAL ALUMINIUM SERI 5083-H116. *Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi Dan Otomotif*, 1(2), 84–94.
- Nuridin, A. (2017). *Pengaruh Cleaning Pada Pengelasan Aluminium Clad 6061 Dengan Proses Gas Tungsten Arc Welding (Gtaw)*. 11(3), 209–222.
- Purnama, R., Wa'adulloh, M., Hamid, A., & Sutrisno. (2024). ANALISIS KOMPARATIF LAJU KOROSI PADA MATERIAL ALUMINIUM 5083 DAN 5052 DENGAN MENGGUNAKAN MEDIA AIR LAUT SEBAGAI APLIKASI BAHAN LAMBUNG KAPAL. *SKRIPSI*.
- Ramadani, D. T. (2023). *ANALISIS ACTIVE FLUX MgO DAN CaF₂ DAN KUAT ARUS PADA PENGELASAN A-TIG ALUMINIUM 6061 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, NILAI KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN LAJU KOROSI*. Politeknik perkapalan Negeri Surabaya.
- Ridho, A. F., & Rokhim, N. I. (2023). Analisis Teknis Dan Ekonomis Korosi Perbandingan Astm a36 Dan Aluminium 5083 Untuk Pelat Kapal. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 4(3), 303–311.
- Rizki, A. M. (2018). *Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rohmat, I. K., Ramadhan, M. I., & Anggara, D. (2022). Pengaruh Jenis Activated Flux Dan Variasi Kuat Arus Pada Pengelasan a-Tig Dissimilar Material Terhadap Kedalaman Penetrasi, Kekerasan, Struktur Mikro Dan Laju Korosi. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 8(2), 131–138.
- Rupajati, P., & Anggoro, I. B. (2020). *KARAKTERISTIK PROSES PENGELASAN TIG PADA ALUMINIUM 5052 DAN ALUMINIUM 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK APLIKASI RANGKA PELINDUNG (ROLL CAGE) PADA MOBIL BALAP RALLY*.

- Setiawan, A. (2016). *Penelitian Stainless Steel 304 Terhadap Pengaruh Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Untuk Variasi Arus 50 A, 100 A dan 160 A Dengan Uji Komposisi Kimia, Uji Struktur Mikro, Uji Kekerasan Dan Uji Impact*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Tajul Arifin, M. H. (2024). ANALISIS ACTIVE FLUX COMPONENT DAN TIG WELDING METHOD dengan MATERIAL STAINLESS STEEL 304 TERHADAP KEDALAMAN PENETRASI, KEKUATAN TARIK, DAN NILAI KEKERASAN. *INOVTEK Polbeng*, 14(02), 208–215. <https://doi.org/10.35314/evrgd644>
- Tarmizi, T., Sianturi, K. D., & Irfan, I. (2020). Effect of Current on Mechanical Properties and Microstructure of Aluminum 6061 with Gas Tungsten Arc Welding Process. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 17(3), 107–113. <https://doi.org/10.14710/kapal.v17i3.30054>
- Vidyarthi, R. S., & Dwivedi, D. K. (2016). Activating flux tungsten inert gas welding for enhanced weld penetration. *Journal of Manufacturing Processes*, 22, 211–228.
- Wirylukito, S., & Wijaya, J. P. (2020). Result analysis of friction stir welding of aluminum 5083-H112 using taper threaded cylinder pin with variation in rotational and translational speed. *AIP Conference Proceedings*, 2262(1), 70003.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

LAMPIRAN

Lampiran A. *Mill Certificate* Aluminium 5052

MILL TEST / QUALITY CONTROL CERTIFICATE																	
Customer		Address		BOLU No. AL20752118		Product Type 5052		21-1120421									
Description of Product Actual Mill Chemical and Mechanical Property Test Report in Imperial/Nomenclature per mil																	
Item No	Unique Heat Number	Dimension	Alloy	Temper	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other (ELEM)	RE	Temp (°F)	RTS (kg/mm²)	Temp (°F)
1	871304F08	4.89mm x 1220mm x 2440mm	5052	H02	0.10	0.25	0.02	0.03	0.35	0.15	0.04	0.01	0.15	Remainder	18	34.5	1.0
Notes: Material complies with ASTM B209 / B209M - 20 Alloy 5052 H02																	

Lampiran B. *Mill Certificate* Aluminium 5083

MILL TEST / QUALITY CONTROL CERTIFICATE																	
Customer		Address		BOLU No. AL20752118		Product Type 5083		21-1120426									
Description of Product Actual Mill Chemical and Mechanical Property Test Report in Imperial/Nomenclature per mil																	
Item No	Unique Heat Number	Dimension	Alloy	Temper	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other (ELEM)	RE	Temp (°F)	RTS (kg/mm²)	Temp (°F)
1	871304F08	4.30mm x 1220mm x 2440mm	5083	H016	0.08	0.18	0.02	0.03	0.38	0.18	0.03	0.01	0.18	Remainder	18	26.8	1.0
Notes: Material complies with ASTM B209 / B209M - 20 Alloy 5083 H016																	

Lampiran C. COA TiO2



Certificate of Analysis

1.00808.1000 Titanium(IV) oxide for analysis EMSURE® Reag. Ph Eur
Batch K54618008

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (certified)	88.0 - 100.0	%	99.2	%
Assay (combustion, calculated on dried substance)	± 22.0	%	99.2	%
Identity	passes test		passes test	
Appearance of solution	passes test		passes test	
Substances soluble in water	≤ 0.5	%	≤ 0.1	%
Substances soluble in dilute hydrochloric acid	≤ 0.5	%	0.3	%
Acidity or alkalinity	passes test		passes test	
As (Arsenic)	≤ 0.001	%	≤ 0.0001	%
Ba (Barium)	≤ 0.0020	%	≤ 0.0018	%
Fe (Iron)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Pb (Lead)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Sb (Antimony)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Zn (Zinc)	≤ 0.025	%	≤ 0.030	%
Loss on drying (105 °C; 3 h)	≤ 0.5	%	≤ 0.1	%

Date of release (DD.MM.YYYY) 09.08.2022
 Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 31.05.2027

Dr. Christl Syvlin

Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Merck KGaA
 Corporation with General Partners
 Postfach 156030 250
 65263 Darmstadt, Germany

The life science business of Merck KGaA, Darmstadt, Germany operates as MerckSigma in the U.S. and Canada.

Page 1 of 1

65263 Darmstadt 100104000000000000 Date: 07.12.2017

Lampiran D. COA ZnO



Certificate of Analysis

1.08949.1000 Zinc oxide for analysis EMSURE® ACS, Reag. Ph. Eur
Batch K73331743

	Batch Values	
Assay (complanometric, ZnO calculated on ignited substance)	100.0	%
Assay (complanometric, ZnO)	99.9	%
Identity	passes test	
Color and color of solution	passes test	
Substances insoluble in diluted sulfuric acid	≤ 0.01	%
Fine dust	passes test	
Chloride (Cl)	≤ 0.001	%
Nitrate (NO ₃)	≤ 0.003	%
Sulfur compounds (as SO ₃)	≤ 0.01	%
Total nitrogen (N)	≤ 0.0005	%
As (Arsenic)	≤ 0.0001	%
Ca (Calcium)	≤ 0.001	%
Cd (Cadmium)	≤ 0.0005	%
Cu (Copper)	≤ 0.0005	%
Fe (Iron)	≤ 0.0005	%
K (Potassium)	≤ 0.01	%
Mg (Magnesium)	≤ 0.006	%
Mn (Manganese)	≤ 0.0005	%
Na (Sodium)	≤ 0.001	%
Pb (Lead)	≤ 0.002	%
Guidelines reducing potassium permanganate (as O ₂)	≤ 0.001	%
Loss on ignition (500 °C)	0.1	%

Date of release (DD.MM.YYYY) 08.01.2022
 Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 31.01.2027

Dr. Dörte Ryll
 Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Merck KGaA
 Cooperation with General Partners
 Eurl-Hofler Straße 25E
 66263 Darmstadt, Germany
 BRUNNEN 1311751/000/08031021 Doc: 3011101

The Merck names have been of Merck KGaA, Darmstadt,
 Germany registered at IP Rights Office in the U.S. and
 Canada.

Page 1 of 1

Lampiran E. COA NaCl



Certificate of Analysis

1.06404.0000 Sodium chloride for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur
Batch K56411204

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (Argentometric)	≥ 99.9	%	99.9	%
Assay (Argentometric, calculated on dried substance)	99.0 - 100.5	%	99.9	%
Identity	passes test		passes test	
Appearance of solution	passes test		passes test	
Acidity or alkalinity	passes test		passes test	
pH-value (5 % water)	5.0 - 6.0		5.8	
Insoluble matter	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Bromide (Br)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Chlorate and Nitrate (as NO ₃)	≤ 0.003	%	≤ 0.003	%
Hexacyanoferrate II	≤ 0.0001	%	≤ 0.0001	%
Ferrocyanides	passes test		passes test	
Iodide (I)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Iodide (I)	passes test		passes test	
Nitrite (NO ₂)	passes test		passes test	
Phosphate (PO ₄)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Sulfate (SO ₄)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Total nitrogen (N)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Heavy metals (as Pb)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Heavy metals (ACS)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
As (Arsenic)	≤ 0.00004	%	≤ 0.00004	%
Ba (Barium)	passes test		passes test	
Ba (Barium)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Ca (Calcium)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Cu (Copper)	≤ 0.0002	%	≤ 0.0002	%
Fe (Iron)	≤ 0.0001	%	≤ 0.0001	%
K (Potassium)	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Mg (Magnesium)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Calcium, Magnesium and Barium precipitate	≤ 0.005	%	≤ 0.005	%
Magnesium and alkaline-earth metals (as Ca)	≤ 0.0100	%	≤ 0.0100	%
Loss on drying (105 °C, 2 h)	≤ 0.5	%	≤ 0.1	%

Conforms to ACS/ISO/Reag. Ph. Eur.

Date of release (DD.MM.YYYY) 22.01.2025
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 31.01.2030

Julia Hoffmann
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Merk KGaA
Cooperation with General Partner's
Frankfurter Straße 290
64293 Darmstadt, Germany

The life science business of Merck KGaA, Darmstadt,
Germany operates as MilliporeSigma in the U.S. and
Canada.

Page 1 of 1

SALSA Version 1102022000110702 Date: 22.01.2025

Lampiran F. Proses Pengelasan



Gas Flowrate



Tang Ampere



Pengaplikasian Active Flux



Menghitung Travel Speed



Parameter Mesin Las



Pengelasan A-TIG

Lampiran G. Proses Pengujian



Pengujian Visual



Poles Spesimen



Pengujian Tarik



Spesimen Uji Tarik



Pengujian Kekerasan



Nilai Kekerasan Spesimen



Pengamatan Struktur Mikro



Pengamatan Makro Spesimen



Perendaman Larutan Korosi

Lampiran H. Perhitungan Laju Korosi

Diketahui:

$$K : 8,76 \times 10^4$$

$$t : 336$$

$$p : 0,00267$$

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{A \times t \times p}$$

1. Perhitungan pada material B1

$$A : 3.182 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0056 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0056}{3182 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,172 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

2. Perhitungan pada material B2

$$A : 3.026 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0085 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0085}{3026 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,274 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

3. Perhitungan pada material B3

$$A : 3.006 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0067 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0067}{3006 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,217 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

4. Perhitungan pada material C1

$$A : 2.923 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0040 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0040}{2923 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,133 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

5. Perhitungan pada material C2

$$A : 2.856 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0216 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0216}{2856 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,738 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

6. Perhitungan pada material C3

$$A : 2.929 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0251 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0251}{2929 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,836 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

7. Perhitungan pada material D1

$$A : 2.796 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0051 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0051}{2796 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,178 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

8. Perhitungan pada material D2

$$A : 2.845 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0281 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0281}{2845 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 0,967 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

9. Perhitungan pada material D3

$$A : 2.873 \text{ mm}^2$$

$$W : 0,0313 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}\text{Corrosion Rate} &= \frac{87600 \times 0,0313}{2873 \times 336 \times 0,00267} \\ &= 1,063 \text{ mmpy}\end{aligned}$$

Lampiran I. Hasil Uji Visual

Lampiran I. 1 Hasil Uji Visual *Weld Face* TiO₂ - 190 A

81

	Laboratorium UJ Bahan	No. Test	FSI 1221BPP05
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Run	40
	FORMULIR PRAKTIKUM	Tanggal	20/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Dikawatir	1 dan 7

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

Name : Mubandha Supri Maradisa
 Code Spec : RSMC 01
 Joint type : Square Butt Joint
 Length & thickness of plate : 200 mm x 3 mm x 6 mm

Test piece identification : B1
 Welding process : GTAW
 Welding position : 1G
 Date : 12/04/2016

WELD FACE

A B

MEASURE FROM THIS DATUM LINE

Excess weld metal = Linear misalignment = Toe blend = Weld width = 12,1 mm

Lampiran I. 2 Hasil Uji Visual *Weld Root* TiO₂ - 190 A

81

	Laboratorium UJ Bahan	No. Test	FSI 1221BPP05
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Run	40
	FORMULIR PRAKTIKUM	Tanggal	20/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Dikawatir	1 dan 7

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT

A B

MEASURE FROM THIS DATUM LINE

Excess weld metal = Toe blend = Weld width = - (No Root)
 The weld root is not visible

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Laboratorium Uji Bahan
Politeknik Pendidikan Negeri Surabaya

FORMULIR PRAKTIKUM
VISUAL INSPECTION

No. Dst. : F 01.1112.01.0000

No. Bar. : 1.00

Tanggal : 05/03/2019

Dikirim : 1 das 7

VISUAL REPORT
(PLATE)

Name : Maulana Bori Hoesen

Code/Spec. : K09K 02

Joint type : Square butt joint

Length & thickness of plate : 200 mm X 20 mm x 6 mm

Test piece identification : B3

Welding process : GTAW

Welding position : 1G

Date : 15/04/2019

WELD FACE

MEASURED FROM TRUE DATUM EDGE

A

B

Excess weld metal = -

Linear misalignment = -

Toe Bend = -

Weld width = 10,7 mm

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dab.	2011.02.130/PP08
	PoliTeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Rse	02
	FORGULIS PLATEKUM	Tanggal	07012018
	VISUAL INSPECTION	Revisi	2 dan 7

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT

MEASURE FROM THIS DATUM EDGE

75 mm

100 mm

50 mm

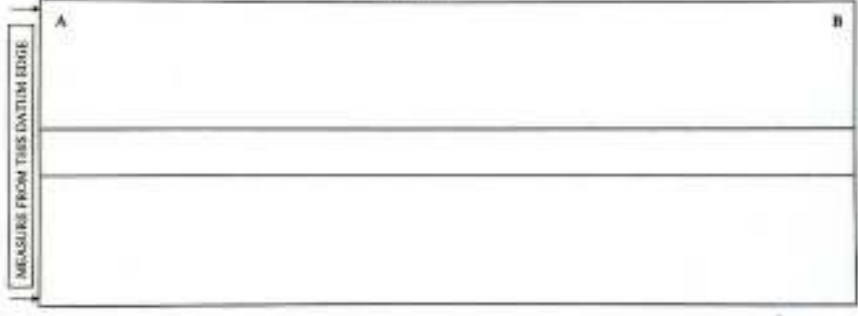
24 mm

Weld width = $\frac{1}{2} b \text{ max}$

Lampiran I. 5 Hasil Uji Visual *Weld Face* TiO₂ - 230 A

13

	Laboratorium Uji Bahan Politeknik Perkapalan Negeri Semarang FORMULIR PRAKTIKUM VISUAL INSPECTION	No. Dok. : FRI/2018-PPNS No. Rir : 02 Tanggal : 07/04/2018 Revisi : 1 dari 1
	VISUAL REPORT (PLATE)	
	Nama : <i>Prasanna Berli Maradon</i> Code Spec : <i>AME 02</i> Joint type : <i>Spot & Butt Joint</i> Length & thickness of plate : <i>120 mm x 250 mm x 6 mm</i>	Test piece identification : <i>85</i> Welding process : <i>GTRW</i> Welding position : <i>1G</i> Date : <i>15/04/2018</i>
	WELD FACE	



Excess weld metal = - Linear misalignment = - Toe blend = - Weld width = 15.4 mm

Lampiran I. 6 Hasil Uji Visual *Weld Root* TiO₂ - 230 A

14

	Laboratorium Uji Bahan Politeknik Perkapalan Negeri Semarang FORMULIR PRAKTIKUM VISUAL INSPECTION	No. Dok. : FRI/2018-PPNS No. Rir : 02 Tanggal : 07/04/2018 Revisi : 1 dari 1
	VISUAL REPORT (PLATE)	
	Nama : <i>Prasanna Berli Maradon</i> Code Spec : <i>AME 02</i> Joint type : <i>Spot & Butt Joint</i> Length & thickness of plate : <i>120 mm x 250 mm x 6 mm</i>	Test piece identification : <i>85</i> Welding process : <i>GTRW</i> Welding position : <i>1G</i> Date : <i>15/04/2018</i>
	WELD ROOT	



Excess weld metal = - Toe blend = - Weld width = 15.4 mm

Lampiran I. 7 Hasil Uji Visual *Weld Face* ZnO - 190 A

CV

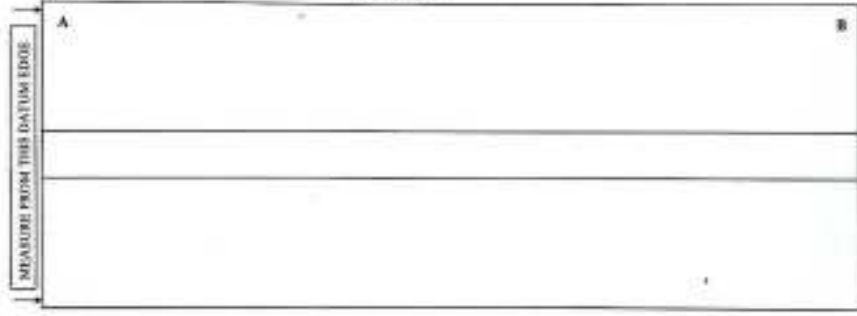
	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	18.112.138-PP05
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Ser.	00
	FORMULIR PRAKTIKUM	Tanggal	05/03/2019
	VISUAL INSPECTION	Rahman	1. dan 7

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

Name : Muhammad Rizki Nur Rizki
 Code/Spec : App E 05
 Joint type : Square Butt Joint
 Length & thickness of plate : 200 mm x 5 mm x 6 mm

Test piece identification : C1
 Welding process : GTAW
 Welding position : 1G
 Date : 12/04/2020

WELD FACE



Excess weld metal = Linear reinforcement = Toe blend = Weld width = 15,6 mm

Lampiran I. 8 Hasil Uji Visual *Weld Root* ZnO - 190 A

CV

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	18.112.138-PP06
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Ser.	00
	FORMULIR PRAKTIKUM	Tanggal	05/03/2019
	VISUAL INSPECTION	Rahman	1. dan 7

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT



Excess weld metal = Toe blend = Weld width = 7,3 mm

Lampiran I. 9 Hasil Uji Visual *Weld Face* ZnO - 210 A

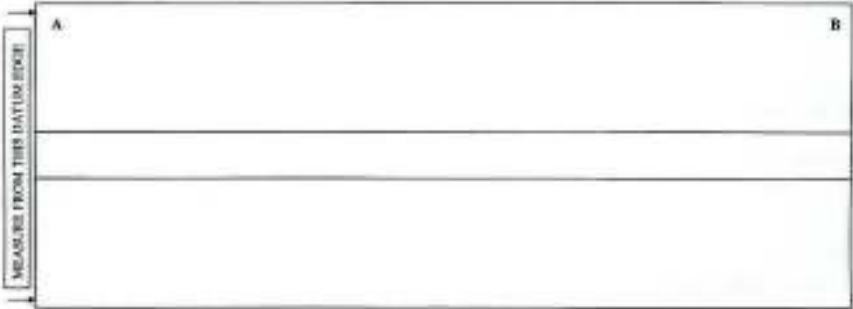
C1

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	FOR-GL-008-PPNS
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Rev.	01
	MODUL PRAKTIKUM	Tanggal	07/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Revisi	1 dari 1

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

Name : *Praditama, Dahr, Harindra* Test piece identification : *C1*
 Code Spec. : *APME 5* Welding process : *GTAW*
 Joint type : *Square Root Joint* Welding position : *YG*
 Length & thickness of plate : *200 mm x 300 mm x 6 mm* Date : *11/04/2019*

WELD FACE



Excess weld metal = - Linear misalignment = - Toe blend = - Weld width = 61 mm

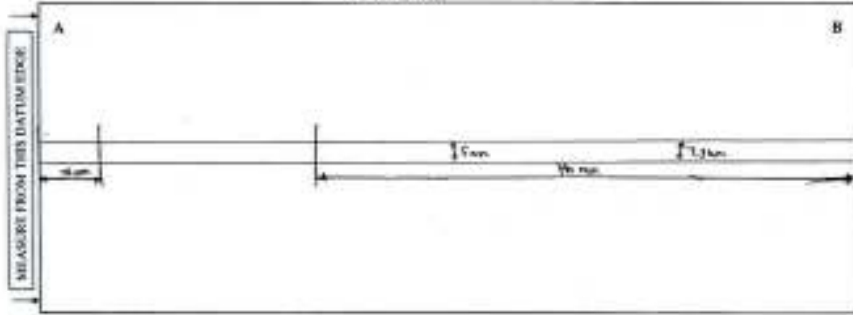
Lampiran I. 10 Hasil Uji Visual *Weld Root* ZnO - 210 A

C2

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	FOR-GL-008-PPNS
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Rev.	01
	MODUL PRAKTIKUM	Tanggal	07/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Revisi	1 dari 1

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT



Excess weld metal = - Toe blend = - Weld width = 60.95 Weld width = 60.95

Lampiran I. 11 Hasil Uji Visual *Weld Face* ZnO - 230 A

C3

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	FSI-12443B-01750
	Poltekstatik, Poltekstatik Negeri Samaraja	No. Rev.	02
	FORMULIR PRAKTIKUM	Revisi	02443B-01750
	VISUAL INSPECTION	Revisi	1 dan 2

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

Name : *Medhiana Supri Hartono* Test piece identification : *C3*
 Code/Spec : *ISO 5834* Welding process : *GTAW*
 Joint type : *Square Bevel Joint* Welding position : *1G*
 Length & thickness of plate : *200 mm x 300 mm x 6 mm* Date : *15 Desember 2022*

WELD FACE



Excess weld metal = - Underbeulment = - Toe blend = - Weld width = 76,1 mm

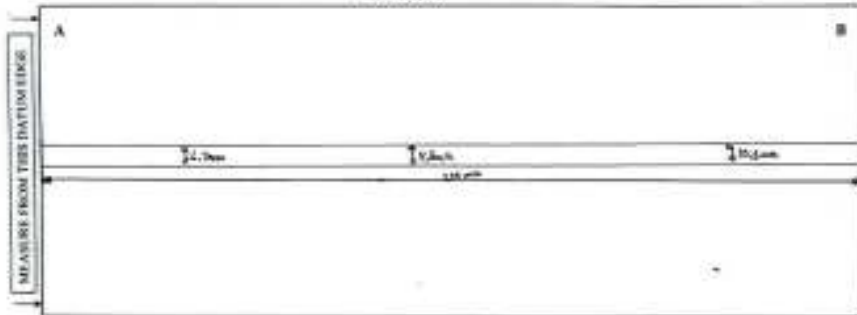
Lampiran I. 12 Hasil Uji Visual *Weld Root* ZnO - 230 A

C3

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	FSI-12443B-01750
	Poltekstatik, Poltekstatik Negeri Samaraja	No. Rev.	02
	FORMULIR PRAKTIKUM	Revisi	02443B-01750
	VISUAL INSPECTION	Revisi	1 dan 2

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT



Excess weld metal = - Toe blend = - Weld width = 76,1 mm Weld depth = 1,1 mm

Lampiran I. 13 Hasil Uji Visual *Weld Face No Flux*- 190 A

VA

	Labortorium Uji Bahan	No. Dib.	FAK 12.108.PPWS
	Pelatihah: Perkapalan Perkapal Keralanya	No. Rep.	81
	FORMULIR PRAKTIKUM	Tanggal	05/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Halaman	1 dari 1

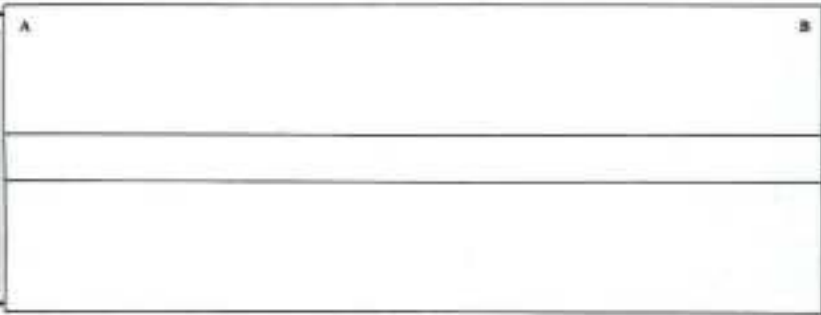
**VISUAL REPORT
(PLATE)**

Name : **Muhammad Rizki Nur Hafidza** Test piece identification : **D1**
 Code type : **APPC 12** Welding process : **GTAW**
 Joint type : **Square Butte Joint** Welding position : **1G**
 Length & thickness of plate : **300 mm x 300 mm x 6 mm** Date : **05/04/2019**

WELD FACE

A B

MEASURE FROM THIS DATUM EDGE



Excess weld metal = Linear misalignment = Toe blend = Weld width = 91 mm

Lampiran I. 14 Hasil Uji Visual *Weld Root No Flux*- 190 A

VA

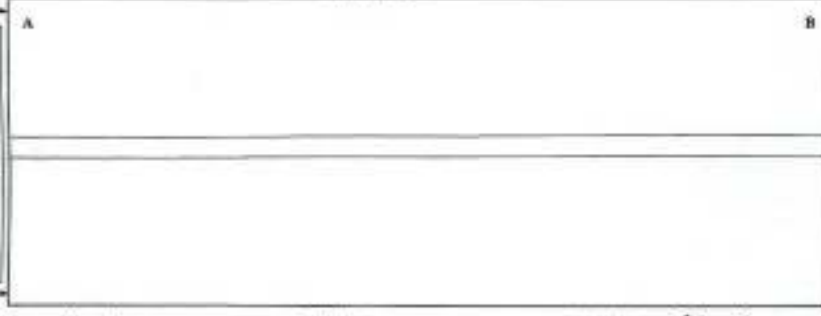
	Labortorium Uji Bahan	No. Dib.	FAK 12.108.PPWS
	Pelatihah: Perkapalan Perkapal Keralanya	No. Rep.	81
	FORMULIR PRAKTIKUM	Tanggal	05/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Halaman	2 dari 2

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT

A B

MEASURE FROM THIS DATUM EDGE



Excess weld metal = Toe blend = Weld width = 71 mm (not visible)
 The weld root is not visible

Lampiran I. 15 Hasil Uji Visual *Weld Face No Flux- 210 A*

01

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	FS-124180759
	Politeknik Pengapalan Negeri Surabaya	No. Ser.	02
	FORMULIR FRAKTUM	Tanggal	07/03/2016
	VERBAL INSPECTION	Revisi	1 dari 1

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

Name : Maulana, Satri Marzulan Test piece identification : D2
 Code/Spes : ALUM. 12 Welding process : GTAW
 Joint type : Square, Single, Joint Welding position : 1G
 Length & thickness of plate : 200 mm x 380 mm, 12 & 16 mm Date : 11/04/2016

WELD FACE

MEASURE FROM THIS DATUM EDGE

Excess weld metal = - Linear misalignment = - Toe blend = - Weld width = 14 mm

Lampiran I. 16 Hasil Uji Visual *Weld Root No Flux- 210 A*

01

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok.	FS-124180759
	Politeknik Pengapalan Negeri Surabaya	No. Ser.	02
	FORMULIR FRAKTUM	Tanggal	07/03/2016
	VERBAL INSPECTION	Revisi	1 dari 1

**VISUAL REPORT
(PLATE)**

WELD ROOT

MEASURE FROM THIS DATUM EDGE

Excess weld metal = - Toe blend = - Weld width = - (No Root)
 The weld root is not visible

	Laboratorium Uji Baku		No. Dat.	P-01-12-18-PPWS
	Pekerjaan Perkapalan Negeri Surabaya		No. Rir	00
	FORMULIR PRABTUUM		Tanggal	01-03-2019
	VISUAL INSPECTION		Revisi	1 dari 1

VISUAL REPORT (PLATE)

Name	: Mawidha Binti Nurul Han	Test piece identification	: D8
Code Spec.	: AINE 12	Welding process	: GTAW
Joint type	: Square Butte Joint	Welding position	: VS
Length & thickness of plate	: 250 mm x 500 mm x 6 mm	Date	: 01/03/2019

WELD FACE

MEASURE FROM THIS DATUM EDGE

A

B

Dress weld metal = -	Linear reinforcement = -	Toe blend = -	Weld width = 30,1 mm
----------------------	--------------------------	---------------	----------------------

	Laboratorium UJ Rahmawati	No. Job	1708.02.009.00700
	PoliTeknik Perkapalan Negeri Semarang	No. Rm	42
	FORGELLER FRANKELUM	Tanggal	07/05/2019
	VISUAL INSPECTION	Uraian	2.6a17

VISUAL REPORT (PLATE)

WELD ROOT

A
B

Excess weld metal = -

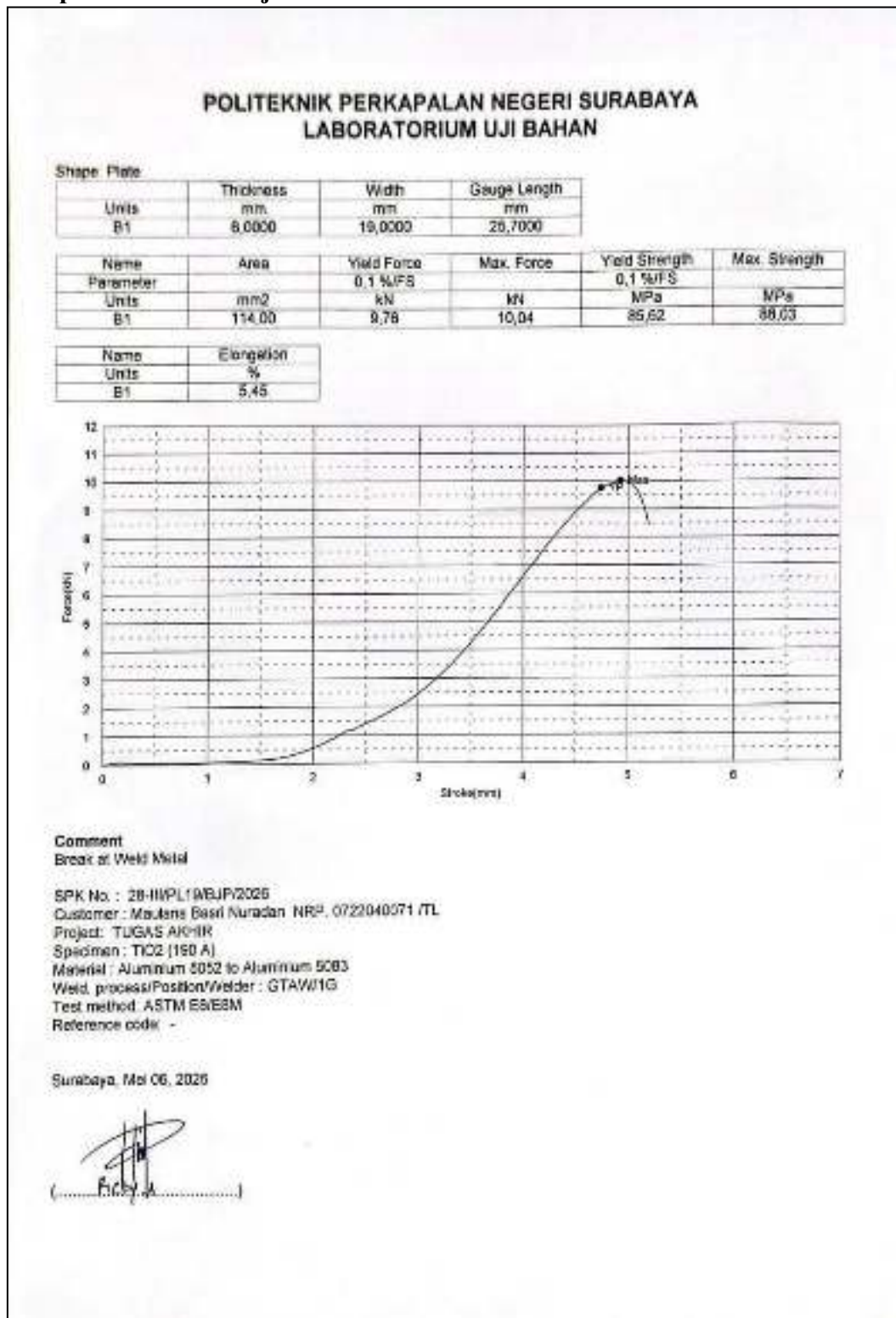
Too blend = -

Weld width = - (the Root)

The weld root is not visible

Lampiran J. Hasil Uji Tarik

Lampiran J. 1 Hasil Uji Tarik TiO₂ 190A



Lampiran J. 3 Hasil Uji Tarik TiO₂ 230A

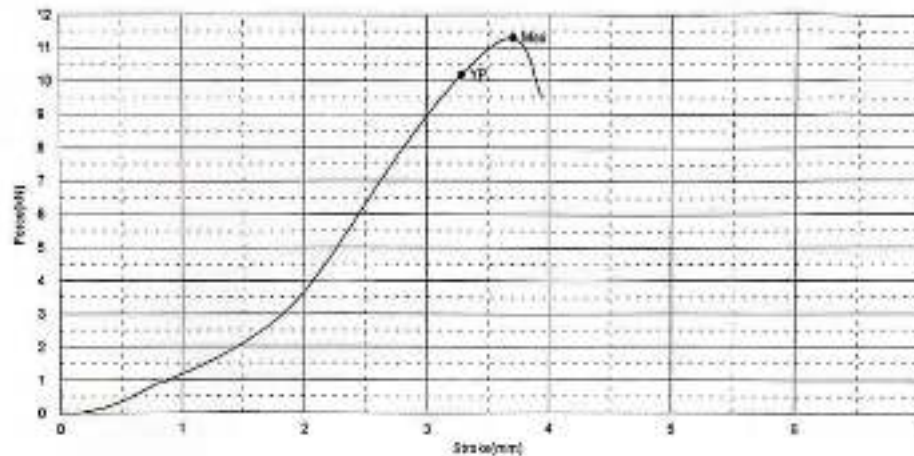
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
B3	6,0000	18,0000	28,7000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %FS		0,1 %FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
B3	112,00	10,18	11,30	90,84	100,20

Name	Elongation
Units	%
B3	3,37



Comment

Break at Weld Metal

SPK No. : 26-III/PL19/BJP/2026

Customer : Maulana Basri Nuradzan NRP. 0722040071 /TL

Project : TUGAS AKHIR

Specimen : TiO₂ (230 A)

Material : Aluminium 5052 to Aluminium 5083

Weld. process/Position/Welder : GTAW/G

Test method: ASTM E8/EBM

Reference code : -

Surabaya, Mei 05, 2026

(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

Lampiran J. 4 Hasil Uji Tarik ZnO 190A

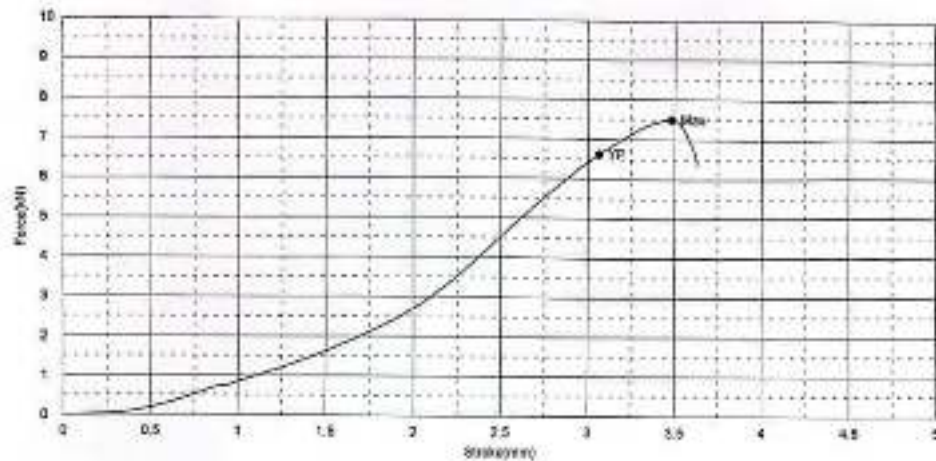
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Gauge Length
C1	mm	mm	mm
C1	6,0000	18,1000	25,7000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %FS		0,1 %FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
C1	114,60	8,83	7,50	57,82	65,45

Name	Elongation
Units	%
C1	2,33



Comment:

Break at Weld Metal

SPK No. : 28-III/PL19/B.P/2025

Customer : Maulana Besri Nursidan NRP. 0722040071 /TL

Project : TUGAS AKHIR

Specimen : ZnO (190 A)

Material : Aluminium 5052 to Aluminium 5083

Weld process/Position/Welder : GTAW/1G

Test method: ASTM E8/E8M

Reference code : -

Surabaya, Mei 05, 2025

Lampiran J. 5 Hasil Uji Tarik ZnO 210A

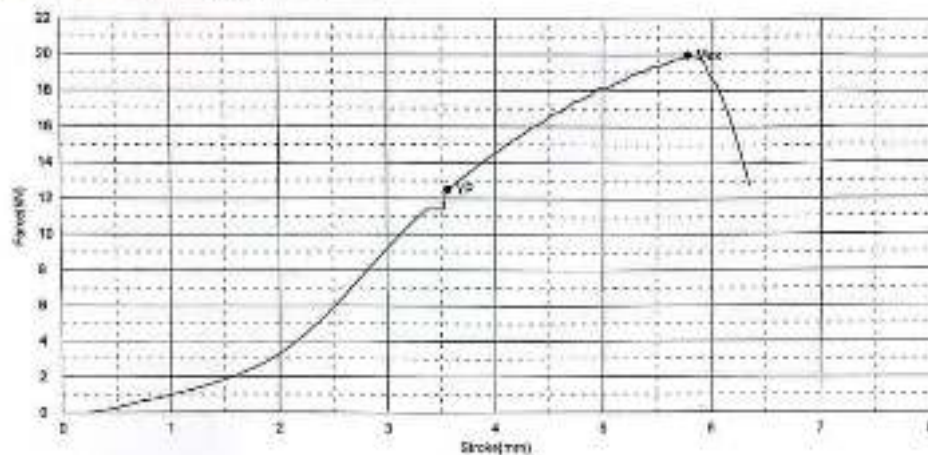
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
C2	6,0000	19,2000	26,8000

Name Parameter	Area	Yield Force 0,1 %FS	Max. Force	Yield Strength 0,1 %FS	Max. Strength
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
C2	115,20	12,49	19,96	108,43	173,29

Name	Elongation
Units	%
C2	27,99



Comment

Break at Weld Metal

SPK No. : 28-III/PL16/BJP/2025

Customer : Maulana Basri Nursten NRP. 0722040071 /TL

Project : TUGAS AKHIR

Specimen : ZnO (210 A)

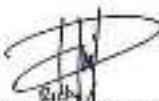
Material : Aluminium 5052 to Aluminium 5053

Weld. process/Position/Welder : GTAW/1G

Test method : ASTM E8/E8M

Reference code : -

Surabaya, Mei 05, 2025


(.....)

Lampiran J. 6 Hasil Uji Tarik ZnO 230A

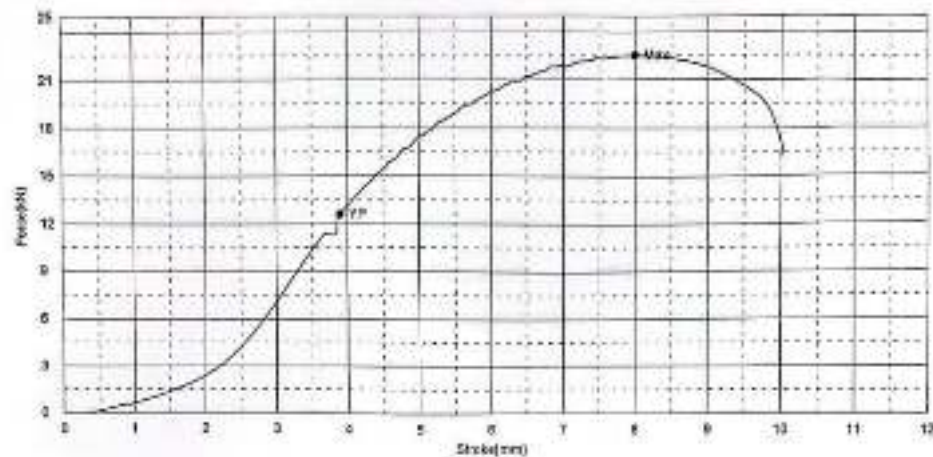
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
C3	5,0000	19,1000	25,9000

Name Parameter	Area	Yield Force 0,1 %FS	Max. Force	Yield Strength 0,1 %FS	Max. Strength
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
C3	114,60	12,59	22,52	109,84	196,54

Name	Elongation
Units	%
C3	16,50



Comment

Break at Weld Metal

SPK No. : 284/BUPL10/BUJ/2025
Customer : Maulana Basri Nuradhi NRP. 0722040071 /TL
Project : TUGAS AKHIR
Specimen : ZnO (230 A)
Material : Aluminium 5052 to Aluminium 5083
Weld. process/Position/Welder : GTAW/1G
Test method: ASTM E8/E8M
Reference code: -

Surabaya, Mei 06, 2025

(.....)

Lampiran J. 7 Hasil Uji Tarik No Flux 190A

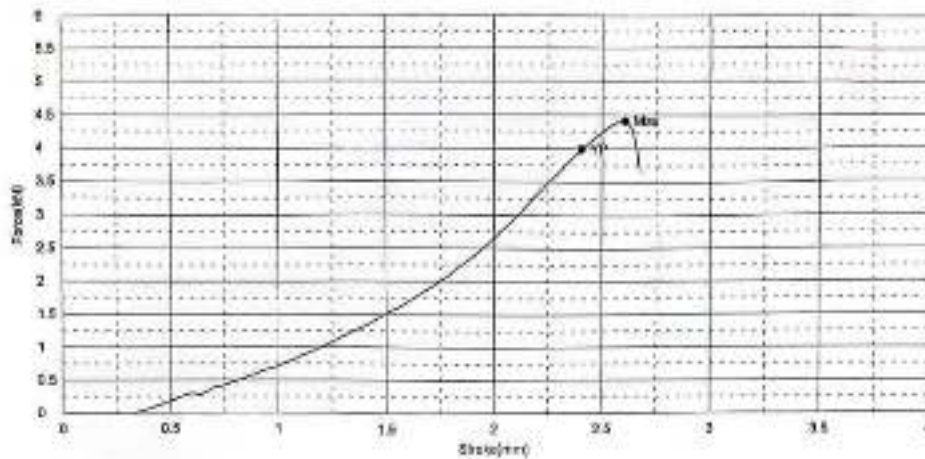
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
D1	6,0000	18,9000	24,9000

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %FS		0,1 %FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
D1	113,40	3,69	4,41	35,16	38,88

Name	Elongation
Units	%
D1	10,44



Comment:

Break at Weld Metal

SPK No. : 28-III/PL19/BJP/2026

Customer : Mardani Basri Nuradani NRP. 0722000071 /TL

Project : TUGAS AKHIR

Specimen : No Flux (190 A)

Material : Aluminium 5052 to Aluminium 5083

Weld. process/Position/Welder : GTAW/TIG

Test method: ASTM E8/E8M

Reference code: -

Surabaya, Mei 05, 2026


(.....)

Lampiran J. 8 Hasil Uji Tarik No Flux 210A

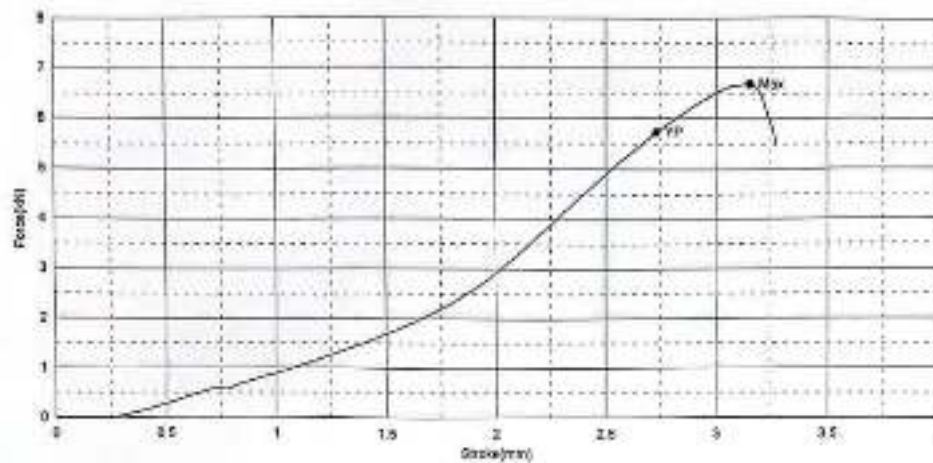
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Gauge Length
D2	mm	mm	mm
D2	6,000	18,800	25,100

Name	Area	Yield Force	Max. Force	Yield Strength	Max. Strength
Parameter		0,1 %FS		0,1 %FS	
Units	mm ²	kN	kN	MPa	MPa
D2	112,80	5,73	6,68	50,79	59,23

Name	Elongation
Units	%
D2	5,98



Comment

Break at Weld Metal

BPK No. : 28-III/PL19/BJP/2025

Customer : Maulana Basri Nuradon NRP. 0722040071 /TL

Project : TUGAS AKHIR

Specimen : No Flux (210 A)

Material : Aluminium 5052 to Aluminium 5053

Weld. process/Position/Welder : GTAW/1G

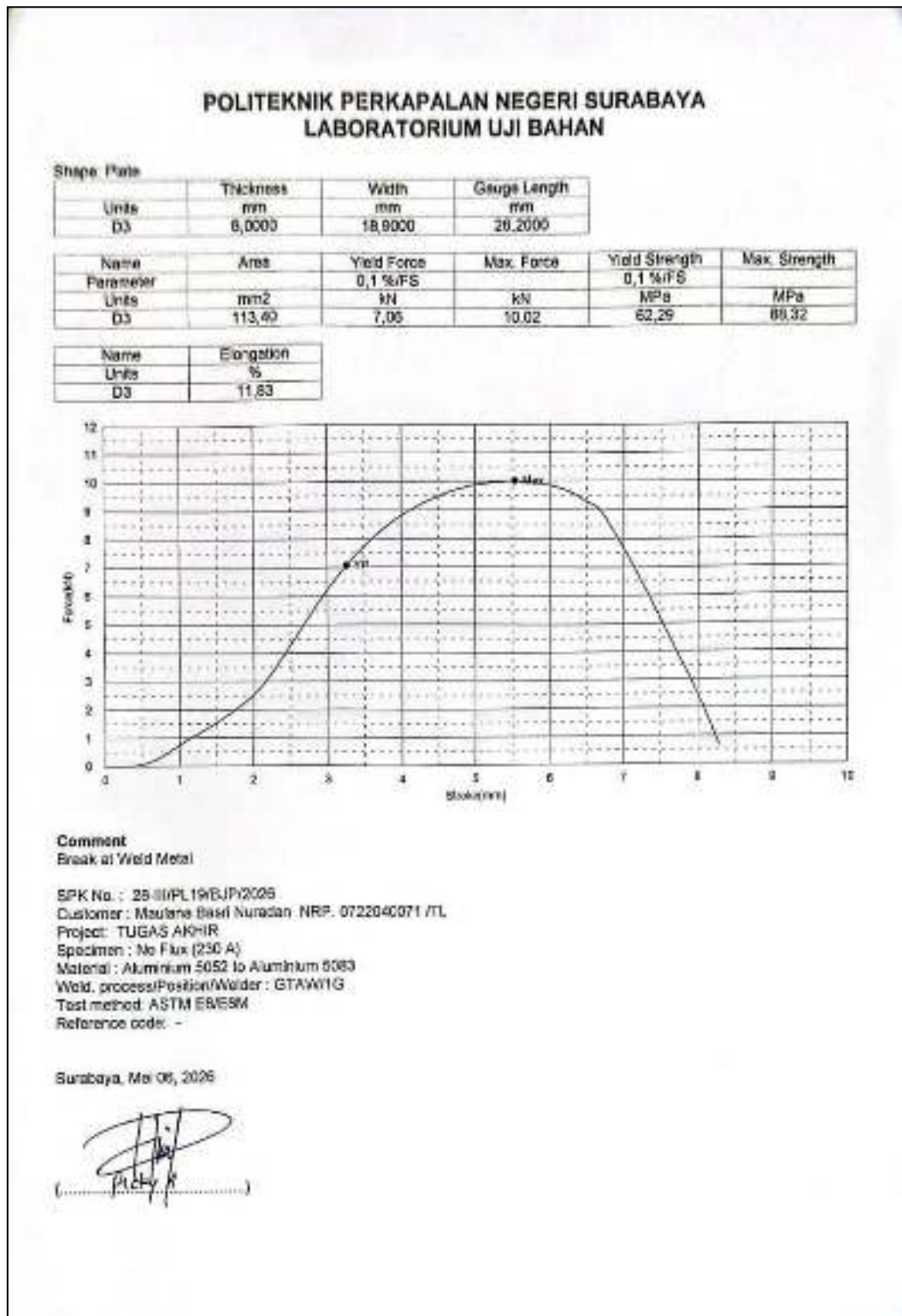
Test method: ASTM E8/E8M

Reference code: -

Surabaya, Mei 06, 2026

()

Lampiran J. 9 Hasil Uji Tarik No Flux 230A



Lampiran K. Hasil Uji Kekerasan *Weld Metal*



TiO₂ – 190 A



TiO₂ – 210 A



TiO₂ – 230 A



ZnO – 190 A



ZnO – 210 A



ZnO – 230 A



No Flux – 190 A



No Flux – 210 A



No Flux – 230 A

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

This page is intentionally left blank

BIODATA PENULIS



INFORMASI PRIBADI		
Nama	:	Maulana Basri Nuradan
Tempat, tanggal lahir	:	Surabaya, 3 Mei 2003
Jenis kelamin	:	Laki-laki
Kwarganegaraan	:	Indonesia
Agama	:	Islam
Alamat	:	Ds. Sidomukti 1 No 64 RT 09 RW 02, Kec. Sidoarjo, Kab. Sidoarjo, Jawa Timur (61212)
Email	:	maulanabasri@student.ppns.ac.id
RIWAYAT PENDIDIKAN		
Pendidikan Dasar	:	SDN Pucang 3 (2010 – 2016)
Pendidikan Menengah	:	SMPN 1 Buduran (2016 – 2019)
Pendidikan Menengah	:	SMKN 3 Buduran (2019 – 2022)
Pendidikan Tinggi	:	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (2022 – 2026)