

**Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan *Artificial Aging* terhadap
Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061**

SKRIPSI

**Oleh:
Syahrul Anam Aldiansyah
183030043**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan *Artificial Aging* terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061



Nama : Syahrul Anam Aldiansyah

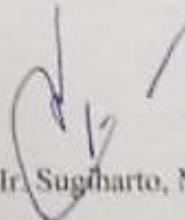
NPM : 183030043

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Muki Satya Permana, MT.

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Sugiharto, MT.

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Syahrul Anam Aldiansyah

NPM : 183030043

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Non eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan *Artificial Aging* terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061

beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 3 Oktober 2022

Yang menyatakan,



Syahrul Anam Aldiansyah

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Syahrul Anam Aldiansyah

Nomor Pokok Mahasiswa: 183030043

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu,
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil *plagiarism*.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 3 Oktober 2022

Penulis,



Syahrul Anam Aldiansyah

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan *Artificial Aging* terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061”. Meskipun, Penulis menyadari bahwa dalam penyusunannya masih jauh dari sempurna.

Laporan skripsi ini disusun bertujuan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan. Selama proses penyusunan, Penulis tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta serta keluarga yang selalu memberikan do'a dan dukungan kepada Penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan skripsi ini,
2. Bapak Dr. Ir. Muki Satya Permana, MT. selaku Pembimbing Utama,
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, MT. selaku Pembimbing Pendamping,
4. Bapak Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA. selaku Dosen Wali,
5. Semua Staff Tata Usaha Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan,
6. Ibu Emmy, Bapak Ading, Bapak Lidi, Bapak Ja'i, dan Genta Rizky Permana yang telah memfasilitasi Penulis selama proses pengujian,
7. Hamdan, M.Bagja, Aldyansyach, Ramdan, Haris, Mi'raj, Fandi, Sandri, Nuralim, Fachrul, Melky, Fauzi, Alfi dan Reggy sebagai sahabat yang selalu memberikan dukungan kepada Penulis serta rekan-rekan Teknik Mesin 2018.

Dalam penulisan laporan skripsi ini tentu masih terdapat kekurangan baik dari segi cara penulisan maupun isi laporan. Maka dari itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun supaya Penulis dapat menyempurnakan laporan skripsi ini maupun laporan penelitian selanjutnya. Akhir kata Penulis berharap semoga dengan tersusunnya laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, 3 Oktober 2022

Syahrul Anam Aldiansyah

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Rumusan Masalah	2
3. Tujuan.....	2
4. Batasan Masalah.....	2
5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. Tinjauan Karya Ilmiah Sebelumnya.....	4
2. Aluminium dan Paduan Aluminium	4
3. Paduan Aluminium 6061	6
4. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	7
5. Pengerasan Presipitasi (<i>Precipitation Hardening</i>).....	7
6. Sifat Mampu Las Paduan Aluminium.....	10
7. Pengelasan Paduan Aluminium.....	10
8. Pengelasan TIG (<i>Tungsten Inert Gas</i>).....	11
9. Kuat Arus Pengelasan TIG.....	12
10. Polaritas Listrik.....	13
11. Logam Pengisi (<i>Filler Metal</i>)	14

12.	Pengujian Tarik.....	15
13.	Pengujian Kekerasan	17
14.	Pengujian Metalografi	18
BAB III METODE PENELITIAN.....		20
1.	Tahapan Penelitian	20
2.	Rancangan Percobaan	22
3.	Metode Pengukuran/Pengujian	22
4.	Alat dan Bahan yang digunakan.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
1.	Hasil Pengujian Komposisi Kimia	32
2.	Pengelasan TIG Aluminium 6061	32
3.	Hasil Pemotongan Spesimen Uji Tarik	33
4.	Hasil Pengujian Tarik.....	34
5.	Hasil Pengujian Kekerasan (<i>Vickers Hardness Test</i>).....	37
6.	Pengujian Metalografi	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		42
1.	Kesimpulan.....	42
2.	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN		46
1.	Data Hasil Pengujian/Pengukuran.....	46
2.	Hasil Pengolahan Data	50
3.	Foto-Foto Kegiatan	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Fase Pengerasan Presipitasi Paduan Komposisi C ₀ [14]	8
Gambar 2. Diagram Proses <i>Precipitation Hardening</i> [14]	9
Gambar 3. Pengelasan TIG (<i>Tungsten Inert Gas</i>) [19]	12
Gambar 4. Pengaruh Polaritas Arus Listrik Terhadap Pengelasan TIG [2]	14
Gambar 5. Kurva Tegangan-regangan [2].....	16
Gambar 6. Metode Pengujian Kekerasan [14]	17
Gambar 7. Struktur Mikro Daerah Las Paduan Aluminium [2].....	19
Gambar 8. Diagram Alir Tahapan Penelitian	20
Gambar 9. Sambungan Las <i>Single V-groove</i> [28].....	23
Gambar 10. Spesimen Uji Tarik Berdasarkan Standar ASTM E8 [29]	24
Gambar 11. Skematis Proses Uji Kekerasan <i>Vickers</i> [30]	24
Gambar 12. Mesin Uji Komposisi Kimia.....	25
Gambar 13. Mesin Las TIG.....	26
Gambar 14. Tabung Gas Argon (<i>High Purity</i>).....	26
Gambar 15. Mesin <i>Laser Cutting</i>	27
Gambar 16. Tungku Pembakaran (<i>Furnace</i>).....	27
Gambar 17. Mesin Uji Tarik	28
Gambar 18. Mesin Uji Kekerasan	29
Gambar 19. Mesin Uji Metalografi	30
Gambar 20. Paduan Aluminium 6061	30
Gambar 21. Media Pendingin Air	31
Gambar 22. Hasil Pengelasan TIG	33
Gambar 23. Hasil <i>Laser Cutting</i> Spesimen Uji Tarik	33
Gambar 24. Spesimen Uji Tarik Setelah Pengujian	34
Gambar 25. Grafik <i>Maximum Force</i> dan <i>Displacement</i> Logam Induk.....	35
Gambar 26. Grafik <i>Maximum Force</i> dan <i>Displacement</i> Setelah Dilas	35
Gambar 27. Grafik <i>Maximum Force</i> dan <i>Displacement</i> Setelah Dilas dan <i>Artificial Aging</i>	35
Gambar 28. Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Uji Tarik.....	36
Gambar 29. Grafik Perbandingan Regangan Hasil Uji Tarik	37
Gambar 30. Grafik Perbandingan Hasil Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	38

Gambar 31. Struktur Mikro Paduan Aluminium 6061	39
Gambar 32. Struktur Mikro Pada Logam Induk (<i>Base Metal</i>).....	39
Gambar 33. Struktur Mikro Pada Daerah Pengaruh Panas (HAZ)	40
Gambar 34. Struktur Mikro Pada Daerah <i>Fusion Line</i>	40
Gambar 35. Struktur Mikro Pada Daerah <i>Weld Metal</i>	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Kimia Paduan Aluminium 6061 [11].....	6
Tabel 2. Pembersihan Permukaan Las Paduan Aluminium [2]	11
Tabel 3. Besar Arus Pada Pengelasan dengan Elektroda <i>Wolfram</i> [2]	13
Tabel 4. Besar Arus untuk Diameter Logam Pengisi [2]	14
Tabel 5. Kesesuaian Logam Pengisi dan Logam Induk [2]	15
Tabel 6. Rancangan Percobaan	22
Tabel 7. Hasil Pengujian Komposisi Kimia	32
Tabel 8. Parameter Pengelasan.....	32

ABSTRAK

Proses pengelasan TIG paduan Aluminium 6061 dengan kuat arus 60 – 80 Ampere dan logam pengisi ER4043 menghasilkan penurunan kekuatan tarik dan tingkat kekerasan dari logam induk sebesar 30 % - 40 %. Penelitian ini dilakukan sebagai solusi untuk meningkatkan sifat mekanik hasil pengelasan melalui proses *artificial aging*. Proses tersebut dimulai dari proses *solution treatment* pada temperatur 550°C selama 1 jam, kemudian proses *quenching* pada media air, dan selanjutnya proses *artificial aging* pada temperatur 185°C selama 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paduan Aluminium yang dilas dan dilakukan *artificial aging* mengalami peningkatan nilai kekuatan tarik sebesar 28 % dan tingkat kekerasan sebesar 30 % - 50 % dibandingkan paduan Aluminium yang dilas tanpa proses *artificial aging*. Namun demikian, *elongation* menurun sebesar 58 %.

Kata kunci: Pengelasan TIG, paduan Aluminium 6061, sifat mekanik, *artificial aging*

ABSTRACT

The TIG welding process of Aluminium alloy 6061 using electrical current of 60 – 80 Ampere and filler metal ER4043 decreases the tensile strength and hardness of the base metal by 30% - 40%. This work was conducted to improve the mechanical properties of the welding results with an artificial aging process. The process started from the solution treatment process at 550°C for 1 hour, then the quenching process in water media, and then the artificial aging process at 185°C for 3 hours. The result showed that Aluminium alloys welded and artificially aged increased the tensile strength about 28% and a hardness level of 30% - 50% compared to Aluminium alloys that were welded without artificial aging. However, the elongation value decreased by 58%.

Keywords: TIG welding, Aluminium alloy 6061, mechanical properties, artificial aging

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Aluminium merupakan logam ringan dengan massa jenis sebesar $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan titik cair sebesar 660°C . Logam ini memiliki koefisien konduktivitas termal lebih besar dibandingkan dengan konduktivitas termal baja, tahan terhadap korosi, dan penghantar listrik yang cukup baik [1]. Namun Aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las yang kurang baik, salah satunya karena logam ini mudah teroksidasi sehingga terbentuk lapisan oksida Aluminium Al_2O_3 . Oleh karena itu, diperlukan jenis las busur gas mulia yang dapat melindungi busur dan logam cair terhadap atmosfer selama pengelasan. Las busur gas mulia tersebut adalah las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan gas mulia yang digunakan dapat berupa gas argon (Ar), gas helium (He), gas karbondioksida (CO_2) atau campuran gas tersebut.

Kualitas sambungan las yang baik disebabkan oleh penentuan parameter pengelasan yang tepat salah satunya menentukan arus listrik dan jenis logam pengisi. Namun pada hasil sambungan las paduan Aluminium terjadi pelunakan pada daerah las karena panas yang timbul dari proses pengelasan [2]. Paduan Aluminium tersebut merupakan paduan Aluminium jenis Al Mg Si atau seri 6xxx yang umum digunakan untuk struktur komponen pesawat, pembuatan konstruksi kapal, railing jembatan, frame sepeda, panel instrumen, dan komponen otomotif yang di mana proses pengelasan diperlukan untuk penyambungan setiap komponen. Maka diperlukan metode yang tepat untuk meningkatkan sifat mekanik terutama pada daerah hasil pengelasan.

Paduan Aluminium seri 6xxx mengandung magnesium (Mg) dan silikon (Si) sebagai unsur paduan utamanya. Paduan Aluminium ini juga mampu diperlakukan pemanasan karena pembentukan magnesium silicide (Mg_2Si) sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Dengan begitu metode untuk memperbaiki sifat mekanik pada hasil pengelasan Aluminium adalah proses perlakuan panas salah satunya yaitu *artificial aging*. Proses ini akan meningkatkan kekuatan paduan Aluminium terutama di daerah sambungan lasan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Azwinur dkk, pengaruh kuat arus terhadap sifat mekanik Aluminium 6061 pada pengelasan GTAW dapat mempengaruhi nilai tegangan dan regangan tarik material [3]. Semakin tinggi kuat arus yang digunakan akan meningkatkan kekuatan tariknya, namun menurunkan nilai regangan Aluminium tersebut. Sedangkan menurut penelitian Yunita Sari, tentang analisis produksi hasil kombinasi proses pengelasan dan perlakuan panas Aluminium 6061, menunjukkan bahwa proses *artificial aging* pada hasil pengelasan Aluminium secara umum meningkatkan sifat mekanik [4].

Berdasarkan uraian tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh kuat arus, logam pengisi, dan proses perlakuan panas terhadap sifat mekanik serta struktur mikro hasil pengelasan paduan Aluminium 6061. Proses las yang digunakan adalah las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan proses perlakuan panasnya yaitu *artificial aging*.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat di latar belakang, maka rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kuat arus dan jenis logam pengisi pengelasan TIG, serta proses *artificial aging* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro paduan Aluminium 6061.

3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengelasan dan mengamati pengaruh kuat arus dan jenis logam pengisi pengelasan TIG, serta proses *artificial aging* terhadap sifat mekanik paduan Aluminium 6061.

4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material yang digunakan paduan Aluminium 6061,
- b. Proses pengelasan menggunakan las TIG (*Tungsten Inert Gas*),
- c. Kuat arus yang dipakai adalah 60 – 80 Ampere,
- d. Logam pengisi (*filler metal*) yang dipakai adalah ER 4043,
- e. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon *High Purity*,

- f. Proses *solution heat treatment* pada temperatur 550°C dengan waktu penahanan selama 1 jam,
- g. Proses *quenching* pada media pendingin air,
- h. Proses *precipitation heat treatment* pada temperatur 185°C dengan waktu penahanan selama 3 jam,
- i. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, kekerasan, dan metalografi.

5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini terdiri atas Bab I yaitu Pendahuluan menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II yaitu Studi Literatur membahas mengenai teori-teori yang berhubungan dengan judul skripsi. Teori yang diperoleh dari berbagai sumber, diantaranya; buku literatur, jurnal, tugas akhir, dan sebagainya. Bab III yaitu Metode Penelitian berisi penjabaran mengenai tahapan dan metode yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini. Bab IV yaitu Hasil dan Pembahasan membahas cara penyelesaian masalah yang ada pada tugas akhir ini. Lebih lanjut dilakukan analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil penelitian yang telah dilakukan. Bab V yaitu Kesimpulan dan Saran berisikan kesimpulan hasil analisis, pengolahan, dan pembahasan data yang dilakukan serta saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II STUDI LITERATUR

1. Tinjauan Karya Ilmiah Sebelumnya

Referensi penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini telah sesuai dengan masalah yang ingin diselesaikan yaitu pengaruh kuat arus, logam pengisi, dan *artificial aging* terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pada hasil sambungan las TIG Aluminium 6061. Menurut Amelia Rahmatika dkk, pengaruh variasi kuat arus terhadap sifat mekanik hasil pengelasan GTAW pada Aluminium 1050 dengan *filler* ER 4043 menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 81,8 MPa pada kuat arus 125 A dan nilai kekerasan tertinggi di daerah lasan sebesar 69 HV pada kuat arus 175 A [5].

Menurut Rizky Perdana Putra dkk, pengaruh variasi arus listrik dan temperatur terhadap kekuatan tarik dan *impact* Aluminium 5083 pengelasan GMAW menghasilkan kekuatan tarik, regangan, dan kekuatan *impact* tertinggi masing-masing sebesar 193,28 N/mm², 0,86%, dan 0,17 J/mm² pada arus 130 A serta temperatur 20°C pada uji *impact* [6].

Menurut Jaelani Sidik dkk, pengaruh variasi temperatur perlakuan panas *aging* terhadap sifat mekanik Aluminium 6061 menghasilkan peningkatan yang optimal pada temperatur 175°C dengan nilai uji tarik sebesar 231,66 MPa, nilai kekerasan sebesar 31,66 HRB dan harga *impact* 0,0290 Kg.m/mm². Namun terjadi penurunan sifat mekanik pada temperatur 200°C dan 225°C karena telah mencapai kondisi *over aging* [7].

2. Aluminium dan Paduan Aluminium

a. Definisi

Aluminium dan paduan Aluminium merupakan jenis logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan konduktivitas termal yang cukup baik [8]. Aluminium murni mempunyai massa jenis 2,7 g/cm³ lebih ringan 1/3 dari massa jenis baja dan memiliki titik cair sebesar 660°C. Konduktivitas termal Aluminium lebih besar dari konduktivitas termal baja, maka pada pengelasan Aluminium masukan panas harus lebih tinggi dan terkonsentrasi dibandingkan pengelasan baja. Aluminium murni juga memiliki kekuatan luluh dan kekuatan tarik rendah masing-masing sebesar 34,5 N/mm² dan 90 N/mm² [3]. Selain itu, Aluminium mudah teroksidasi sehingga membentuk lapisan oksida Aluminium Al₂O₃ (Alumina) di permukaan ketika berinteraksi dengan atmosfer [9]. Lapisan ini membuat Aluminium tahan terhadap korosi. Oleh karena itu,

penggunaan Aluminium dan paduannya telah secara luas dipakai dalam bidang kelistrikan, industri, konstruksi, transportasi, dan lainnya [10].

b. Klasifikasi Aluminium dan Paduannya

Paduan Aluminium dapat diklasifikasikan berdasarkan pembuatan, berdasarkan perlakuan panas, dan berdasarkan unsur-unsur paduan. Dengan klasifikasi ini paduan Aluminium dapat dibagi dalam tujuh jenis, yaitu: jenis Al murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si, dan Al-Zn. Adapun sifat umum dari jenis paduan Aluminium tersebut, diantaranya yaitu [2]:

1) Jenis Al murni (seri 1000)

Aluminium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9% yang memiliki sifat tahan terhadap korosi, konduktivitas listrik dan termal juga tinggi, serta mampu las yang baik. Sedangkan kekurangan Aluminium jenis ini adalah kekuatannya yang rendah.

2) Jenis paduan Al-Cu (seri 2000)

Paduan Aluminium jenis ini dapat diperlakukan pemanasan untuk menyamai sifat dari baja karbon rendah. Sedangkan sifat tahan terhadap korosinya rendah dibandingkan jenis paduan yang lain, serta sifat mampu las yang kurang baik.

3) Jenis paduan Al-Mn (seri 3000)

Paduan Aluminium jenis ini tidak dapat diperlakukan pemanasan. Sifat yang dimiliki jenis ini sama dengan jenis Al murni dalam hal tahan terhadap korosi dan sifat mampu lasnya. Sedangkan kekuatan paduan Al-Mn lebih unggul dari pada jenis Al murni. Meningkatkan kekuatannya dapat dilakukan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya.

4) Jenis paduan Al-Si (seri 4000)

Paduan Aluminium jenis ini tidak dapat diperlakukan pemanasan. Dalam keadaan cair paduan ini memiliki sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Oleh karena sifatnya tersebut, paduan jenis ini sering digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan Aluminium baik paduan cor maupun paduan tempa.

5) Jenis paduan Al-Mg (seri 5000)

Paduan Aluminium jenis ini tidak dapat diperlakukan pemanasan. Sifat yang dimiliki jenis ini daya tahan korosi yang baik, terutama korosi oleh air laut, dan sifat mampu lasnya baik. Paduan Al-Mg banyak digunakan untuk konstruksi umum, tangki penyimpanan gas alam cair, dan oksigen cair.

6) Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan Aluminium jenis ini dapat diperlakukan pemanasan dan memiliki sifat mampu las serta daya tahan korosi yang cukup baik. Namun sifat kurang baiknya terjadi pelunakan pada daerah las akibat dari panas pengelasan yang timbul.

7) Jenis paduan Al-Zn (seri 7000)

Paduan Aluminium jenis ini dapat diperlakukan pemanasan dan biasanya ditambahkan paduan Mg, Cu, dan Cr. Paduan Al-Zn memiliki kekuatan tarik lebih dari 50 kg/mm², sehingga paduan ini disebut juga ultra duralumin. Sedangkan sifat mampu las dan daya tahan korosinya kurang baik.

3. Paduan Aluminium 6061

Aluminium 6061 merupakan salah satu paduan Aluminium seri 6000 yang memadukan unsur magnesium (Mg) dan silikon (Si) sebagai unsur utama paduannya. Paduan Aluminium ini banyak digunakan di bidang industri pesawat, konstruksi, dan otomotif karena termasuk logam ringan dan memiliki sifat tahan terhadap korosi yang baik, mudah dibentuk, serta mampu las yang baik. Adapun komposisi kimia paduan Aluminium 6061 pada Tabel 1 adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Kimia Paduan Aluminium 6061 [11]

Paduan Aluminium	Komposisi (%)								
	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ti	other
6061	0,8 - 1,2	0,4 - 0,8	0,15 - 0,40	0,0 - 0,15	0,0 - 0,7	0,0 - 0,25	0,04 - 0,35	0,0 - 0,15	0,0 - 0,15

Selain itu Aluminium 6061 memiliki sifat mekanik yang cukup baik. Namun lebih rendah dibandingkan dengan Aluminium seri 2000 dan 7000. Oleh sebab itu, diperlukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) untuk meningkatkan sifat mekanik Aluminium 6061.

4. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Heat treatment merupakan suatu proses pemanasan logam atau paduan secara terkontrol untuk memperoleh sifat fisik dan sifat mekanik yang diinginkan [12]. Pada dasarnya proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan yaitu *heating*, *holding*, dan *cooling*.

- a. *Heating* adalah proses pemanasan pada temperatur dan periode waktu tertentu. Proses ini bertujuan untuk logam atau paduan mengalami perubahan struktur dari atom-atom secara merata.
- b. *Holding* adalah proses penahanan *heating* pada temperatur tertentu. Proses ini bertujuan untuk membentuk struktur yang teratur dan menyeluruh sebelum proses pendinginan.
- c. *Cooling* adalah proses pendinginan dengan variasi kecepatan tertentu. Proses ini bertujuan untuk membentuk struktur atom-atom agar tidak mengalami difusi dan mendapatkan sifat fisik ataupun sifat mekanik yang diinginkan.

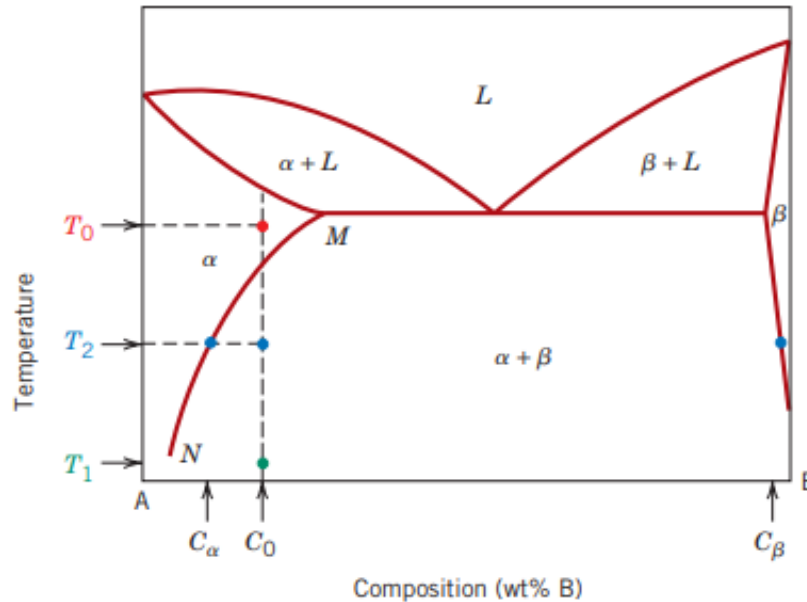
Paduan Aluminium dilakukan pemanasan dan penahanan sampai terjadi fase tunggal dan diteruskan dengan proses pendinginan cepat sehingga tidak berubah ke fase lain. Jika paduan Aluminium dibiarkan pada periode waktu tertentu akan terjadi proses penuaan (*aging*) atau penuaan alami (*natural aging*). Namun jika dipanaskan kembali setelah pendinginan cepat di bawah temperatur *solvus* (*solvus line*), kemudian ditahan pada periode waktu tertentu dan setelahnya dilakukan pendinginan pada temperatur kamar maka disebut penuaan buatan (*artificial aging*) [13].

5. Pengerasan Presipitasi (*Precipitation Hardening*)

Pengerasan presipitasi (*precipitation hardening*) merupakan proses pengerasan paduan logam yang menyebabkan penyebaran partikel-partikel halus secara merata. Adapun syarat dari proses pengerasan presipitasi yaitu logam yang digunakan adalah logam paduan, daerah fase tunggal dan daerah dua fase, serta batas kelarutan padat harus berkurang seiring dengan turunnya temperatur [14].

Proses pengerasan presipitasi biasanya digunakan untuk paduan Aluminium dan logam non ferro lainnya untuk penggunaan komersial. Melalui proses ini sifat mekanik paduan Aluminium dapat ditingkatkan dengan pembentukan partikel-partikel kecil yang tersebar secara seragam. Sifat mekanik yang diinginkan dapat dicapai dengan perlakuan panas yang sesuai.

Karena pengerasan presipitasi disebabkan oleh pembentukan partikel fase baru, sehingga diagram fase memudahkan untuk menjelaskan proses perlakuan panas. Gambar 1 menunjukkan diagram fase pengerasan presipitasi paduan komposisi C_0 .



Gambar 1. Diagram Fase Pengerasan Presipitasi Paduan Komposisi C_0 [14]

Proses *precipitation hardening* harus melalui beberapa tahapan mulai dari *solution heat treatment*, *quenching*, dan *precipitation heat treatment*.

a. *Solution Heat Treatment*

Pengerasan presipitasi dilakukan dengan dua proses perlakuan panas yang berbeda. Proses pertama adalah perlakuan panas larutan yang melarutkan semua atom terlarut untuk membentuk larutan padat fase tunggal. Pada langkah ini paduan logam dipanaskan hingga temperatur tertentu T_0 atau sampai membentuk fase tunggal (fase α) dan ditahan selama periode tertentu hingga dapat untuk melarutkan fase beta. Proses perlakuan panas ini bertujuan untuk menghomogenkan struktur paduan logam.

b. *Quenching*

Proses *quenching* atau pendinginan secara cepat dilakukan pada paduan logam yang telah dihomogenkan strukturnya, sehingga atom-atom di dalamnya tidak mengalami difusi. Pendinginan pada temperatur kamar ini akan membentuk struktur yang disebut larutan padat lemah jenuh.

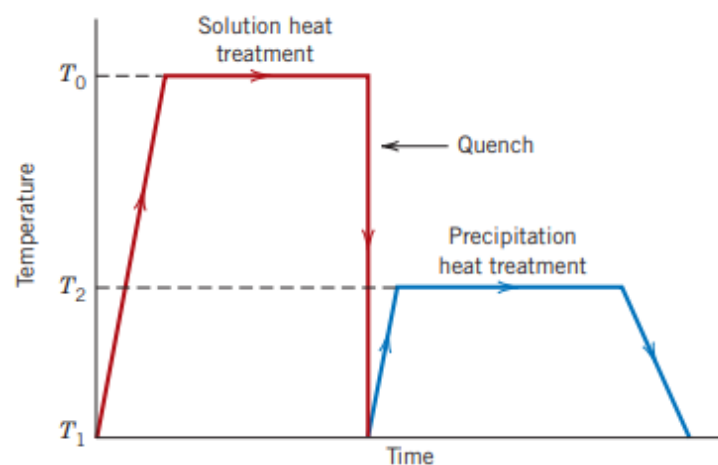
c. *Precipitation Heat Treatment*

Precipitation heat treatment adalah proses pemanasan kembali paduan sampai temperatur menengah T_2 setelah proses *quenching*. Pada perlakuan panas kedua ini atom-atom mulai terdifusi secara halus dan merata membentuk endapan fase kedua.

Proses ini disebut juga penuaan (*aging*), yang akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan paduan. Peningkatan tersebut bergantung pada temperatur pengendapan T_2 dan waktu penuaan. Penuaan itu sendiri terdapat dua jenis yaitu *natural aging* dan *artificial aging*.

- *Natural aging* (penuaan alami) adalah proses penguatan paduan yang tidak melalui pemanasan. Penguatan yang dihasilkan tidak terlalu besar karena dilakukan dalam temperatur kamar sehingga memerlukan waktu yang cukup lama.
- *Artificial aging* (penuaan buatan) adalah proses penguatan paduan melalui pemanasan [15]. Penguatan yang dihasilkan dapat dengan optimal apabila dilakukan pada temperatur sekitar 160°C - 190°C dan jangka waktu tertentu. Pada proses ini, endapan tersebar secara merata dan membentuk kelompok partikel.

Gambar 2 memperlihatkan diagram proses *precipitation hardening* yang melalui beberapa tahapan dimulai dari *solution heat treatment*, *quenching* dan *precipitation heat treatment*.



Gambar 2. Diagram Proses *Precipitation Hardening* [14]

6. Sifat Mampu Las Paduan Aluminium

Pengelasan paduan Aluminium memiliki sifat yang kurang baik dibandingkan dengan baja. Namun demikian hal ini dapat diatasi dengan teknik pengelasan menggunakan gas mulia atau gas pelindung selama pengelasan. Sifat-sifat yang kurang baik pada paduan Aluminium tersebut yaitu:

- a. Mempunyai panas jenis dan daya hantar panas yang tinggi sehingga sulit untuk mencairkan sebagian kecil paduan Aluminium,
- b. Mempunyai afinitas kimia terhadap oksigen sehingga mudah teroksidasi dan membentuk lapisan oksida Aluminium Al_2O_3 . Hal ini membuat peleburan antara logam induk dan logam las terhalang karena lapisan oksida terbentuk memiliki titik cair yang tinggi,
- c. Mempunyai koefisien muai yang besar sehingga mudah terjadi deformasi dan akan membentuk retak panas apabila dipadukan dengan paduan yang memiliki sifat getas panas,
- d. Perbedaan kelarutan hidrogen yang tinggi dalam logam cair dan logam padat membuat rongga halus bekas kantong hidrogen pada proses pembekuan yang terlalu cepat,
- e. Mempunyai berat jenis yang rendah membuat zat-zat yang tidak dikehendaki mudah terkandung dan mengendap selama pengelasan.

7. Pengelasan Paduan Aluminium

Aluminium dan paduannya dapat dilakukan dengan beberapa jenis pengelasan. Meskipun demikian jenis pengelasan yang paling banyak digunakan adalah las busur gas mulia. Kegunaan gas mulia dalam pengelasan jenis ini adalah untuk memecahkan dan membersihkan lapisan oksida pada permukaan Aluminium dengan busur listrik yang digunakan. Gas mulia atau gas pelindung yang digunakan biasanya berupa gas argon (Ar) dan gas helium (He).

Las busur gas mulia dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu las busur elektroda tak terumpan dan las busur elektroda terumpan. Jenis elektroda tidak terumpan biasanya menggunakan gas mulia sebagai pelindung, sehingga jenis ini dapat disebut las *wolfram* gas mulia atau *tungsten inert gas* (TIG). Sedangkan jenis elektroda terumpan biasanya

menggunakan gas mulia dan gas CO₂, sehingga jenis ini disebut juga las busur logam gas mulia atau *metal inert gas* (MIG).

Dalam pengelasan paduan Aluminium dilakukan persiapan pada logam induk terlebih dahulu. Karena lapisan oksida di permukaan paduan Aluminium dapat menyebabkan cacat las seperti peleburan yang kurang baik, retak las, dan lubang-lubang halus [16]. Persiapan yang dilakukan adalah membersihkan lapisan oksida di permukaan yang akan dilas. Tabel 2 menjelaskan cara pembersihan permukaan paduan Aluminium.

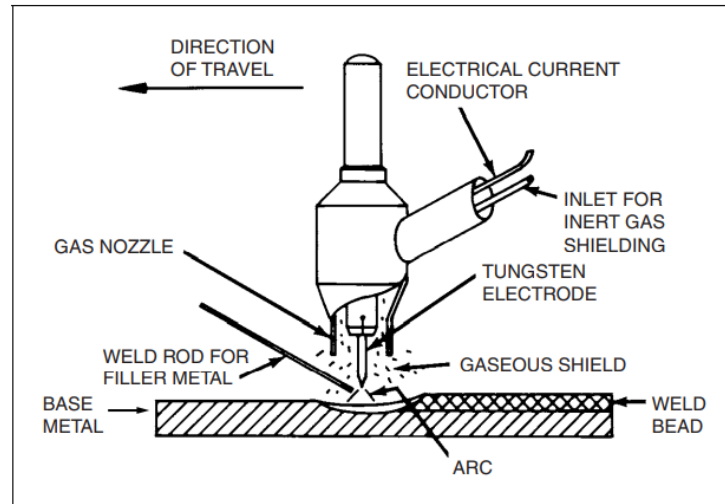
Tabel 2. Pembersihan Permukaan Las Paduan Aluminium [2]

Cara Pembersihan	Prosedur Pembersihan
Membersihkan minyak dengan pelarut organik	Dibersihkan dengan lap yang telah dicelupkan ke dalam pelarut seperti alkohol, aseton, dan lain-lain. Harus dihindari penggunaan pelarut karbon-khlor
Cara pembersihan mekanik	Disikat dengan sikat baja yang bersih sesaat sebelum dilas.
Cara pembersihan kimia	Dicelupkan dalam larutan natrium hidroksida 5-10%, dengan suhu 70°C selama 30 sampai 60 detik, kemudian dicuci dan dibersihkan. Sudah itu dicelupkan dalam larutan nitrat absolut 15% selama 2 menit yang diikuti dengan pencucian dalam air dingin dan air panas dan kemudian dikeringkan.

8. Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*)

Pada prinsipnya proses pengelasan memerlukan panas untuk mencairkan logam induk dan logam pengisi sehingga terjadi peleburan [17]. Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) atau disebut juga GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) adalah teknik pengelasan dengan busur nyala listrik yang dihasilkan oleh elektroda *tungsten* dengan logam induk [18]. Elektroda *tungsten* merupakan jenis elektroda las yang tidak ikut mencair karena memiliki titik cair yang tinggi yaitu 3410°C. Pada pengelasan ini terdapat gas *inert* atau

gas pelindung agar tidak terkontaminasi oleh udara luar. Gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan biasanya berupa gas argon (Ar), helium (He) atau campuran keduanya. Oleh sebab itu, pengelasan TIG juga dapat disebut sebagai las argon. Gambar 3 memperlihatkan skematis dari pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*).



Gambar 3. Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) [19]

Proses pengelasan TIG mempunyai beberapa keuntungan, yaitu kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur semauanya. Oleh karena itu, pengelasan TIG memungkinkan dapat digunakan untuk plat baja tipis maupun plat baja tebal. Keuntungan lainnya adalah memiliki hasil lasan yang berkualitas tinggi, tidak menimbulkan percikan las karena logam pengisi tidak ditransfer melewati busur, dan sedikit atau tidak ada terak yang perlu dibersihkan karena tidak ada *fluks* yang digunakan.

9. Kuat Arus Pengelasan TIG

Arus pengelasan adalah aliran pembawa muatan listrik yang keluar dari mesin las untuk menyambungkan dua logam dengan mengalirkan panas ke elektroda. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan amperemeter. Pengaturan arus las harus disesuaikan berdasarkan pada jenis logam dan diameter elektroda, jenis logam induk, bentuk sambungan, posisi pengelasan, serta ketebalan benda kerja. Penggunaan arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan elektroda mengalami kelebihan panas selama proses pengelasan, terjadinya takikan tinggi, tampilan rigi las yang buruk dan terjadi deformasi dalam pengelasan. Sedangkan sebaliknya, penggunaan arus yang terlalu rendah akan

menyebabkan penumpukan dan penetrasi las rendah. Tabel 3 memperlihatkan besarnya arus pengelasan terhadap diameter elektroda.

Tabel 3. Besar Arus Pada Pengelasan dengan Elektroda *Wolfram* [2]

Diameter Elektroda (mm)	Arus Pengelasan (A)	
	Wolfram Pure	Wolfram-thorium
1,0	10 - 60	15 - 80
1,6	40 - 110	60 - 150
2,4	80 - 160	140 - 250
3,2	140 - 210	225 - 325
4,0	170 - 275	300 - 425
5,0	250 - 350	400 - 500
6,4	300 - 450	-

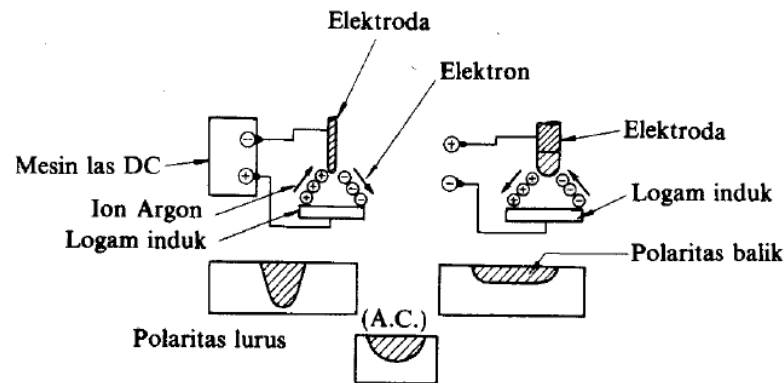
10. Polaritas Listrik

Kuat arus pengelasan dapat berpengaruh terhadap penetrasi dalam pengelasan dan juga tegangan, karena nilai arus sebanding dengan nilai tegangan. Kuat arus sangat mempengaruhi proses pengelasan busur listrik dan besar kecil kuat arus akan menentukan ukuran serta bentuk hasil penetrasi dan deposit las [20]. Pada pengelasan TIG dapat menggunakan arus listrik AC (*Alternating Current*) juga arus DC (*Direct Current*), disesuaikan dengan jenis logam yang akan dilas. Keunggulan arus listrik DC yaitu busur yang dihasilkan baik sehingga sesuai untuk pengelasan plat tipis [21]. Dalam arus listrik DC terdapat rangkaian listrik dengan dua jenis polaritas yaitu polaritas lurus atau DCEN dan polaritas balik atau DCEP.

Pada rangkaian DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) di mana batang elektroda disambungkan ke kutub negatif sedangkan logam induk dihubungkan ke kutub positif. Penggunaan polaritas ini memiliki keunggulan yaitu kecepatan pengelasan yang cukup tinggi sehingga dapat terjadi penetrasi yang dalam pada logam induk.

Dalam rangkaian DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) di mana batang elektroda disambungkan ke kutub positif dan logam induk dihubungkan ke kutub negatif. Polaritas ini kurang dianjurkan untuk pengelasan TIG, karena elektroda menjadi sangat panas sehingga arus listrik yang dapat dialirkan rendah. Dengan polaritas balik juga penetrasi ke dalam logam induk menjadi dangkal dan lebar.

Sedangkan penggunaan arus AC sangat dianjurkan untuk pengelasan Aluminium karena dapat meluruhkan lapisan oksida yang memiliki titik cair yang tinggi. Pengelasan TIG menggunakan arus AC akan menghasilkan penetrasi dalam ke logam induk yang seimbang. Gambar 4 memperlihatkan pengaruh polaritas arus listrik terhadap pengelasan TIG.



Gambar 4. Pengaruh Polaritas Arus Listrik Terhadap Pengelasan TIG [2]

11. Logam Pengisi (*Filler Metal*)

Logam pengisi (*filler metal*) merupakan kawat lurus tidak berselaput dan dilapisi tembaga tipis yang berfungsi sebagai logam pengisi kampuh las pada proses pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*). Logam pengisi yang digunakan tergantung dari logam induk atau logam dasar (*base metal*) yang akan dilas [22]. *Filler metal* dibuat dari logam yang memiliki komposisi bahan lebih tinggi dari logam induk [23]. Mengingat bahwa pada saat mengelas ada beberapa unsur logam yang berkurang atau mengalami perubahan struktur yang berakibat penurunan sifat mekanis logam. Oleh karena itu, *filler metal* harus memiliki komposisi lebih tinggi dari logam induk untuk mengatasi hal tersebut. Tabel 4 memperlihatkan besar arus untuk diameter logam pengisi.

Tabel 4. Besar Arus untuk Diameter Logam Pengisi [2]

Diameter Batang Logam Pengisi (mm)	Arus Pengelasan (A)
1,6	40-100
2,0	60-130
2,4	70-150
3,2	130-200
4,0	180-250
5,0	240-360
6,0	≥ 340

Dalam pemilihan logam pengisi yang diutamakan adalah sifat yang dimiliki, cara pengelasan, dan sifat yang diinginkan [2]. Pada tabel 5 memperlihatkan kesesuaian logam pengisi dan logam induk sesuai standar.

Tabel 5. Kesesuaian Logam Pengisi dan Logam Induk [2]

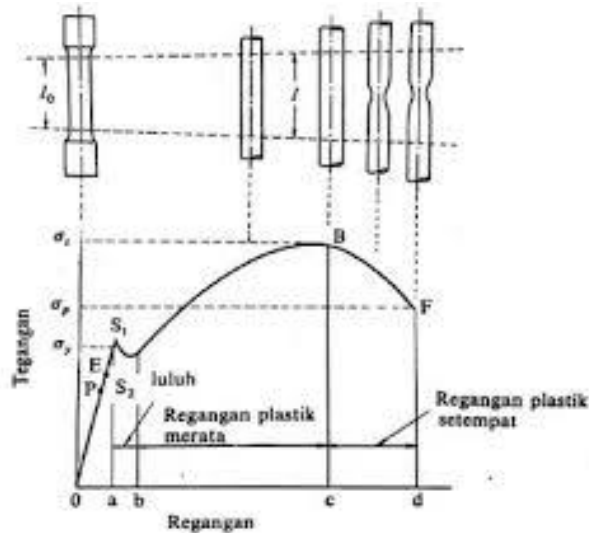
Logam induk (JIS)	AC4D	AC4C ADC12	AC7A	A7N01	6061 6063 6101 6151	5056	5154	5083	5052	5005 A5N01	1100 1200 3003 3203	1060 1070
1060 1070	—	4043	4043	4043	4) 4043	3) 5356	3) 4043	3) 5356	4043	1)2) 1100	1)2) 1100	1070
1100 1200 3003 3203	—	4043	3) 4043	4043	4) 4043	3) 5656	3) 4043	3) 5356	4043	4043	1)2) 1100	
5005 A5N01	4043	4043	2)3) 5154	3) 5356	4) 4043	3) 5356	3) 5356	3) 5356	4043	4043		
5052	4043	4043	3) 5154	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3)5) 5154			
5083	—	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5183				
5154	—	2)3) 5356	3) 5154	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5154					
5056	—	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356	3) 5356						
6061 6063 6101 6151	4043	4043	3) 5356	3) 5356	4) 4043							
A7N01	4043	4043	3) 5356	3)6) 5356								
AC7A	—	4043	3) 5356									
AC4C ADC12	4043	4043										
AC4D	4043											

- Catatan: 1) Dapat menggunakan logam pengisi jenis 1200
 2) Untuk beberapa aplikasi dapat menggunakan jenis 4043
 3) Dapat menggunakan jenis 5356, 5183 atau 5556
 4) Agar warna hasil anodik tidak luntur, sebaiknya digunakan jenis 5356
 5) Dapat menggunakan jenis 5154 atau 5554. Jenis 5554 dapat tahan suhu tinggi.
 6) Untuk kekuatan las yang lebih tinggi dapat menggunakan jenis A7N11

Penjelasan 1. Tanda-tanda WY dan BY untuk membedakan bentuk elektroda, tidak dituliskan.
 2. Tanda-tanda untuk tempa dalam logam induk tidak dituliskan.

12. Pengujian Tarik

Uji tarik (*Tensile Test*) merupakan suatu metode untuk menguji kekuatan tarik (*Tensile Strength*) dari suatu material dengan cara memberikan beban statis secara kontinu [24]. Pengujian tarik sering dilakukan karena mampu memberikan informasi representatif dari sifat mekanik material [25]. Tujuan dilakukannya pengujian tarik adalah untuk mengetahui kekuatan sambungan pengelasan TIG terhadap paduan Aluminium dengan memberikan beban statis secara kontinu hingga putus. Beban statis yang diberikan ketika pengujian tarik akan bersamaan dengan pengamatan mengenai perpanjangan pada spesimen uji yang menghasilkan kurva tegangan-regangan. Kurva tegangan-regangan diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Tegangan-regangan [2]

Secara singkat kekuatan tarik (*Tensile Strength*) adalah kemampuan material terhadap beban tarik. Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan tegangan-regangan.

Tegangan diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang awal benda uji.

$$\text{Tegangan: } \sigma = \frac{P}{A} \left(\text{N/mm}^2 \right) \quad (1)$$

Dimana:

$$\sigma = \text{Tegangan (N/mm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Beban maksimum (N)}$$

$$A = \text{Luas penampang awal benda uji (mm}^2\text{)}$$

Regangan (persentase pertambahan panjang) diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang awal benda uji.

$$\text{Regangan: } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$\Delta L = L - L_0 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Dimana:

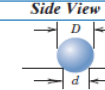

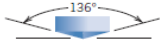

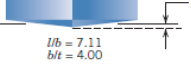

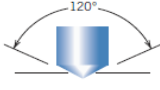

$$\varepsilon = \text{Regangan (\%)}$$

$$L = \text{Panjang akhir (mm)}$$

$$L_0 = \text{Panjang awal (mm)}$$

13. Pengujian Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) material didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi atau suatu deformasi lokal [26]. Kekerasan juga merupakan salah satu sifat mekanik dari material. Semakin tinggi kekerasan suatu material maka semakin besar juga kekuatannya. Karena kekerasan material berbanding lurus dengan kekuatan tariknya. Nilai kekerasan material dapat dicapai sesuai kebutuhan melalui proses perlakuan panas. Namun untuk mengukur dan mengetahui tingkat ketahanan material terhadap deformasi dilakukan pengujian kekerasan (*hardness test*). Pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan tiga metode yang sering digunakan, yaitu Brinell, Rockwell, dan Vickers. Gambar 6 memperlihatkan metode pengujian kekerasan.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a								
		Side View	Top View										
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$								
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$								
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$								
Rockwell and superficial Rockwell	Diamond cone: $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ -in. diameter steel spheres			<table border="0"> <tr> <td>60 kg</td> <td rowspan="3">} Rockwell</td> </tr> <tr> <td>100 kg</td> </tr> <tr> <td>150 kg</td> </tr> <tr> <td>15 kg</td> <td rowspan="3">} Superficial Rockwell</td> </tr> <tr> <td>30 kg</td> </tr> <tr> <td>45 kg</td> </tr> </table>	60 kg	} Rockwell	100 kg	150 kg	15 kg	} Superficial Rockwell	30 kg	45 kg	
60 kg	} Rockwell												
100 kg													
150 kg													
15 kg	} Superficial Rockwell												
30 kg													
45 kg													

Gambar 6. Metode Pengujian Kekerasan [14]

Pengujian kekerasan memiliki keunggulan dibandingkan pengujian mekanik lainnya, dikarenakan:

- Biaya pengujian lebih terjangkau, proses pengujian sederhana tidak ada spesimen khusus yang disiapkan.
- Dalam pengujiannya spesimen tidak mengalami kerusakan berlebih, tidak terjadi retak atau hanya terjadi deformasi lekukan kecil saja.
- Sifat mekanik lainnya juga dapat diperkirakan dari hasil uji kekerasan, seperti kekuatan tarik.

Pengujian Brinell

Pengujian Brinell adalah metode menentukan kekerasan material dengan memberikan tekanan menggunakan indenter bola baja berdiameter 10 mm yang telah dikeraskan atau (*tungsten carbide*) pada permukaan material yang di uji. Pengujian yang ideal dilakukan dengan memberikan beban sekitar 500-3000 kgf. Nilai kekerasan Brinell dapat dinyatakan dengan simbol BHN atau HB.

Pengujian Rockwell

Pengujian Rockwell adalah metode menentukan kekerasan material dengan memberikan tekanan menggunakan dua jenis indenter yaitu kerucut intan 120° dan bola baja. Penekanan indenter pada permukaan material dengan beban pendahuluan (beban minor), dilanjut dengan beban utama (beban mayor). Pengukuran nilai kekerasan bukan dari hasil pengukuran diameter atau diagonal bekas lekukan, namun diukur dari kedalaman penekanan yang diberikan beban minor dan mayor. Nilai kekerasan Rockwell dapat dinyatakan dengan simbol HRA, HRB, dan HRC.

Pengujian Vickers

Pengujian Vickers adalah metode menentukan kekerassan material dengan memberikan tekanan menggunakan indenter intan berbentuk piramid beralas bujur sangkar dan sudut puncak dari permukaan yang berhadapan 136°. Beban yang digunakan berkisar 1 sampai 120 kgf disesuaikan dengan tingkat kekerasan material. Pengukuran diagonal dari lekukan harus menggunakan mikroskop untuk mengetahui nilai kekerasan material. Nilai kekerasan Vickers dapat dinyatakan dengan simbol HVN atau HV.

14. Pengujian Metalografi

Metalografi dilakukan untuk mempelajari karakteristik mikrostruktur yang berkaitan dengan sifat-sifat suatu logam dan paduannya [27]. Pengamatan ini didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop. Pengamatan metalografi dengan alat mikroskop dibagi menjadi dua, yaitu metalografi makro dan mikro.

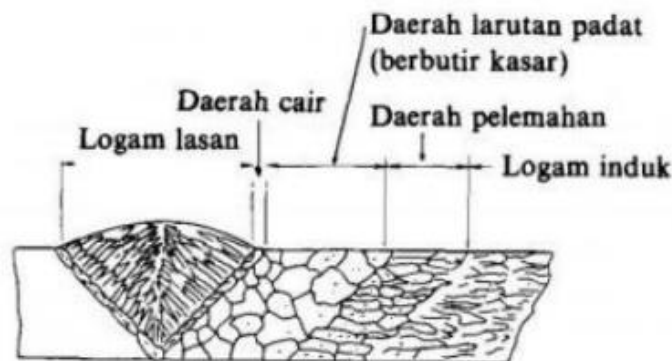
Pengujian makro adalah pengujian secara langsung untuk mengamati adanya celah atau lubang di permukaan material. Biasanya digunakan untuk mengamati material dengan struktur kristal yang cukup besar dan kasar. Sedangkan pengujian mikro adalah pengujian struktur material dengan mikroskop khusus metalografi. Pengujian mikro

dapat mengamati bentuk dan ukuran struktur kristal logam, perlakuan panas, dan perbedaan komposisi.

Dalam proses pengelasan terdapat daerah lasan yang akan mengalami siklus termal akibat proses pemanasan dan pendinginan. Panas pengelasan pada paduan Aluminium akan menyebabkan terjadinya pencairan sebagian, rekristalisasi, dan pengendapan. Proses pemanasan dan pendinginan juga dapat merubah struktur paduan Aluminium yang dapat menurunkan kekuatan dan ketahanan korosi serta daerah las menjadi getas. Daerah las yang mengalami siklus termal yang diantaranya adalah:

- a. Logam lasan (*weld metal*) adalah daerah endapan las dari logam yang selama pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
- b. Daerah pengaruh panas (*heat affected zone*) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam lasan dan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat selama pengelasan.
- c. Logam induk (*base metal*) adalah daerah yang tidak terpengaruhi pemanasan dan pendinginan selama pengelasan sehingga struktur dan sifat logam tidak terjadi perubahan.

Gambar 7 memperlihatkan struktur mikro daerah pengaruh panas salah satu paduan Aluminium yang dapat diperlaku panaskan.

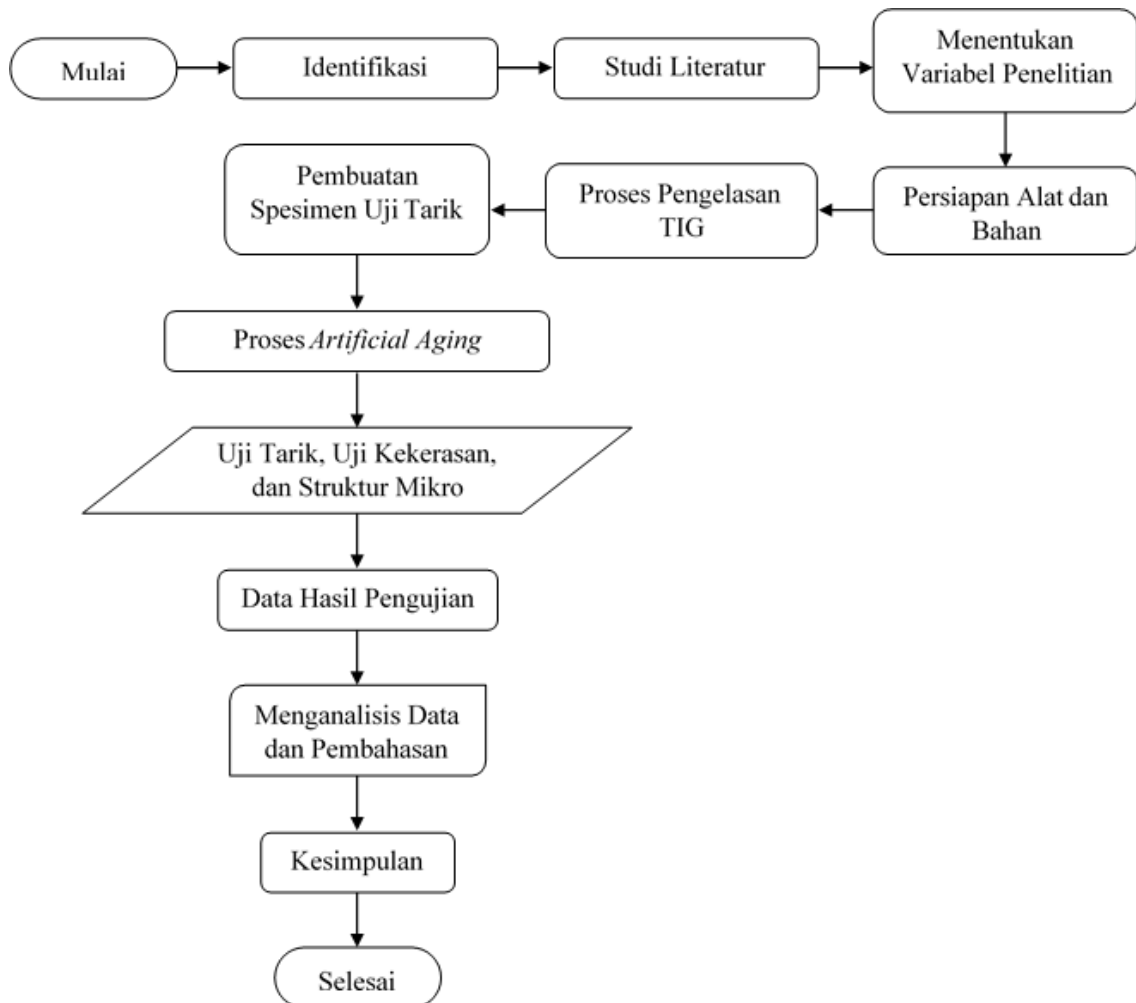


Gambar 7. Struktur Mikro Daerah Las Paduan Aluminium [2]

BAB III METODE PENELITIAN

1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan suatu metode yang digunakan dalam penelitian sehingga proses persiapan, pelaksanaan, dan hasil penelitian dapat dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian serta dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Berikut diagram alir tahapan penelitian yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Penjelasan mengenai diagram alir tahapan penelitian di atas diuraikan sebagai berikut:

a. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi masalah dilakukan berdasarkan latar belakang masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Bahwa dalam pengelasan paduan Aluminium memiliki kesulitan yaitu menghilangkan lapisan oksida pada permukaan

Aluminium, menentukan kuat arus yang optimal, pemilihan logam pengisi, dan pengaruh proses *artificial aging* dalam meningkatkan sifat mekanik paduan Aluminium 6061.

b. Studi Literatur

Studi literatur berisikan penjelasan mengenai teori-teori yang berhubungan dengan topik penelitian untuk memberikan informasi dalam menyelesaikan masalah.

c. Menentukan Variabel Penelitian

Dalam tahap ini variabel penelitian ditentukan berdasarkan standar pengelasan TIG berupa kuat arus, jenis logam pengisi, jenis elektroda, gas pelindung, temperatur dan waktu penahanan *artificial aging*, dan lain-lain.

d. Persiapan Alat dan Bahan

Tahap ini mempersiapkan segala sesuatu yang berhubungan dengan alat-alat pengelasan, proses *artificial aging*, dan proses pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

e. Proses Pengelasan TIG

Proses pengelasan mengacu pada standar yang telah ditetapkan dan dilakukan oleh ahlinya (*welder*).

f. Proses *Artificial Aging*

Pada tahap ini salah satu spesimen uji dilakukan proses *artificial aging* terlebih dahulu sebelum diuji tarik, kekerasan, dan struktur mikro.

g. Proses Pengujian Tarik, Kekekerasan, dan Struktur Mikro

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan sambungan hasil lasan TIG terhadap paduan Aluminium dengan memberikan beban statis secara kontinu hingga putus. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur tingkat ketahanan paduan Aluminium terhadap deformasi plastis. Sedangkan pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui karakteristik mikrostruktur hasil lasan menggunakan mikroskop.

h. Menganalisis Data dan Pembahasan

Menganalisis data dan pembahasan dilakukan setelah proses pengujian dengan cara menginput data-data ke dalam tabel dan grafik.

i. Kesimpulan

Setelah menganalisis data dan pembahasan, kemudian diambil kesimpulan yang sesuai dengan hasil pengujian serta dapat menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian.

2. Rancangan Percobaan

Spesimen pengujian yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 3 spesimen, diantaranya spesimen awal (logam induk), spesimen setelah dilas, dan spesimen setelah dilas dan *artificial aging*. Tabel 6 memperlihatkan rancangan percobaan.

Tabel 6. Rancangan Percobaan

No.	Spesimen	Keterangan	Pengujian	Biaya (Rp)
1	Spesimen 1	Spesimen Awal (Logam Induk)	<ul style="list-style-type: none">• Komposisi Kimia• Uji tarik• Uji kekerasan• Metalografi	650.000
2	Spesimen 2	Setelah Dilas	<ul style="list-style-type: none">• Uji tarik• Uji kekerasan• Metalografi	350.000
3	Spesimen 3	Setelah Dilas dan <i>Artificial Aging</i>	<ul style="list-style-type: none">• Uji tarik• Uji Kekerasan• Metalografi	350.000

3. Metode Pengukuran/Pengujian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium tempat pengujian guna menghasilkan data yang akan dikaji selanjutnya. Data yang dikaji berupa sifat mekanik dan karakteristik mikrostruktur hasil pengelasan serta proses *artificial aging* paduan Aluminium 6061. Tahapan penelitian ini tentunya diawali dengan pengujian komposisi kimia, pengelasan TIG, pembuatan spesimen uji tarik, proses *artificial aging*, uji tarik, uji kekerasan, dan metalografi.

a. Pengujian Komposisi Kimia

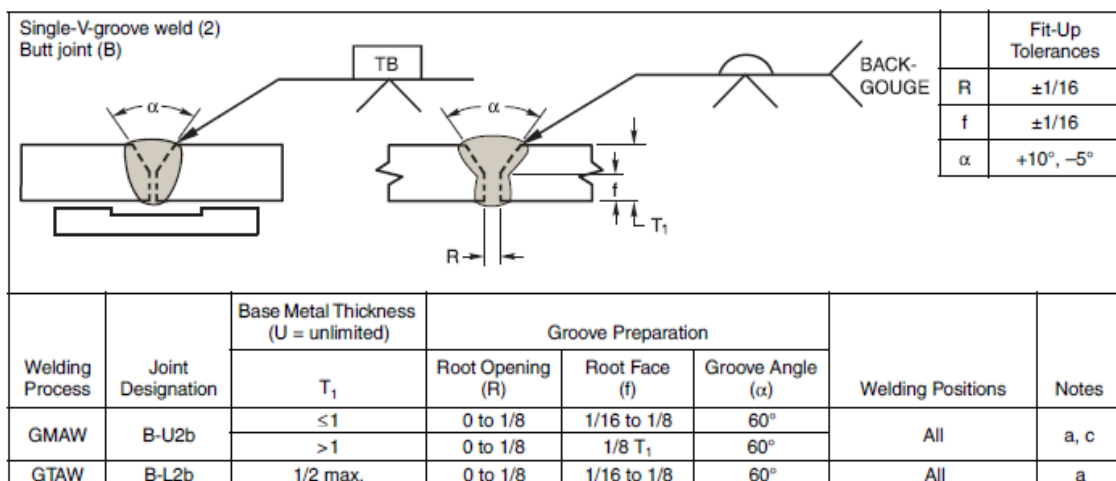
Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan metode *spektrometer* untuk mengetahui komposisi kimia suatu material dan paduannya. Pada prinsipnya komposisi kimia suatu material akan menentukan sifat fisik dan mekanik suatu material tersebut.

b. Pengelasan TIG

Proses pengelasan dilakukan sesuai WPS (*Welding Procedure Specification*) dengan parameter utama pengelasan dan dimensi material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Kuat arus : 60 – 80 A
- 2) Logam pengisi : ER 4043 Ø 2,0 mm
- 3) Elektroda *tungsten* : EWP Ø 2,6 mm
- 4) Gas pelindung : Argon (*High Purity*)
- 5) Polaritas : AC
- 6) Material : Paduan aluminium 6061
- 7) Ukuran : 250 x 40 x 3 (mm)
- 8) Kampuh : *Single V-groove* 60°

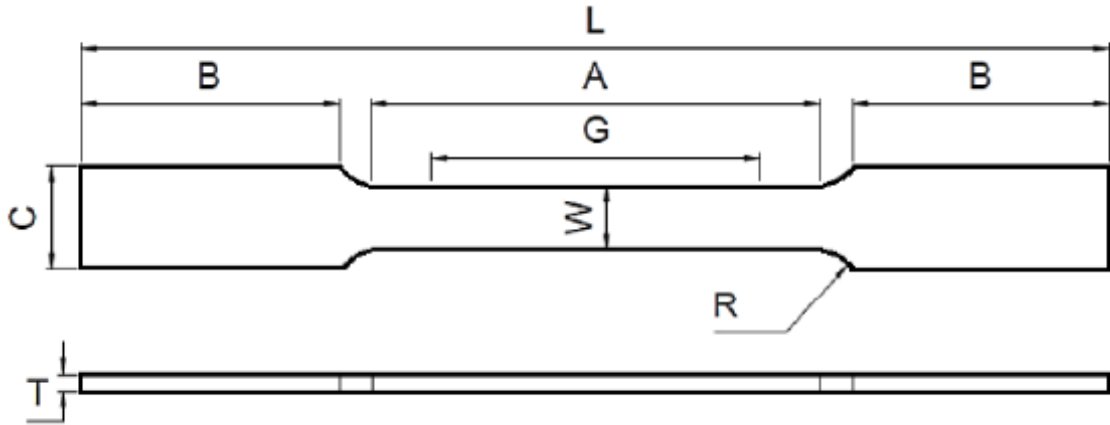
Gambar 9 memperlihatkan sambungan las *single V-groove*.



Gambar 9. Sambungan Las *Single V-groove* [28]

c. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen uji untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik spesimen awal (logam induk), spesimen setelah dilas, dan spesimen setelah dilas dan *artificial aging*. Metode pengujian tarik pada spesimen uji dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan ukuran dan bentuk spesimen sesuai standar ASTM E8. Pembuatan spesimen uji pada penelitian ini menggunakan *laser cutting* supaya lebih presisi. Gambar 10 memperlihatkan bentuk dan dimensi spesimen uji menggunakan standar ASTM E8.



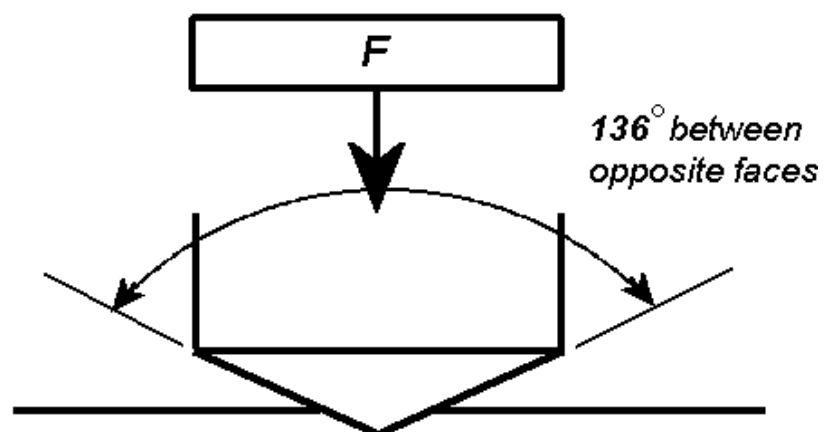
Gambar 10. Spesimen Uji Tarik Berdasarkan Standar ASTM E8 [29]

Keterangan:

$G = 50$	mm	$A = 63$	mm
$B = 66,5$	mm	$L = 200$	mm
$R = 4$	mm	$C = 20$	mm
$W = 12,5$	mm	$T = 2,9$	mm

d. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur tingkat ketahanan paduan Aluminium terhadap deformasi plastis di daerah lasan yang mengalami siklus termal yaitu logam las, HAZ, dan logam induk. Pada pengujian ini metode yang digunakan adalah pengujian kekerasan *Vickers*. Gambar 11 menunjukkan skematis proses uji kekerasan *Vickers*.



Gambar 11. Skematis Proses Uji Kekerasan *Vickers* [30]

e. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat permukaan struktur mikro pada sambungan las paduan Aluminium 6061 setelah di las dan proses *artificial aging*. Pengujian struktur mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur logam melalui pembesaran menggunakan mikroskop optik khusus metalografi. Daerah permukaan yang diamati adalah logam lasan (*weld metal*), daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam induk (*base metal*).

4. Alat dan Bahan yang digunakan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Alat

1) Mesin Uji Komposisi Kimia

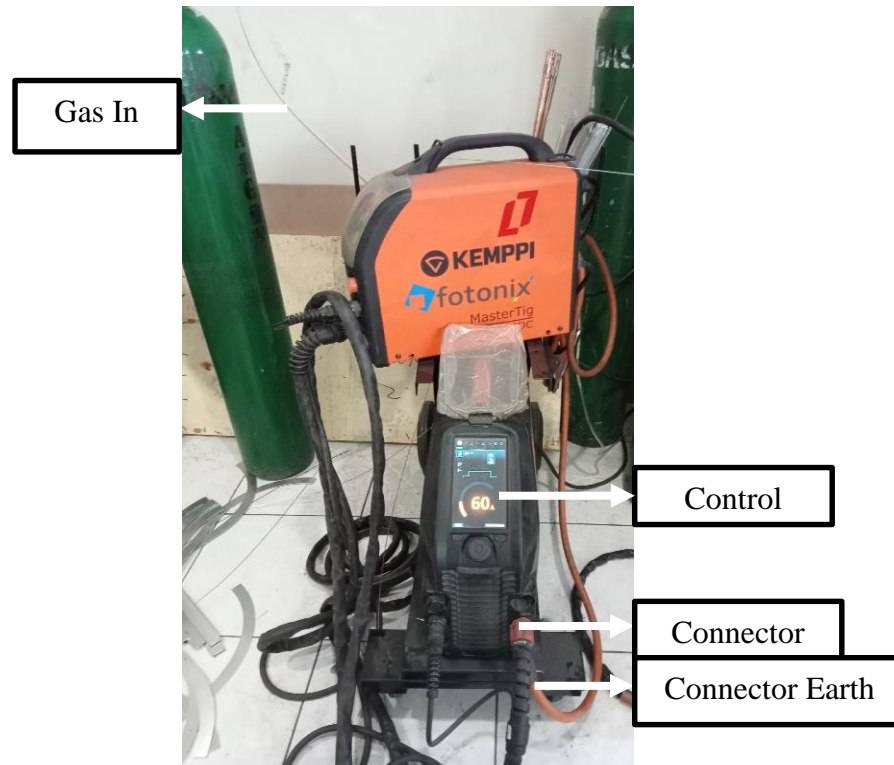
Mesin uji komposisi kimia yang terdapat di laboratorium pengujian material Politeknik Manufaktur Bandung pada Gambar 12 digunakan untuk mengetahui komposisi kimia paduan Aluminium 6061. Jenis mesin yang digunakan adalah ARL 3460 *Optical Emission Spectrometer*.



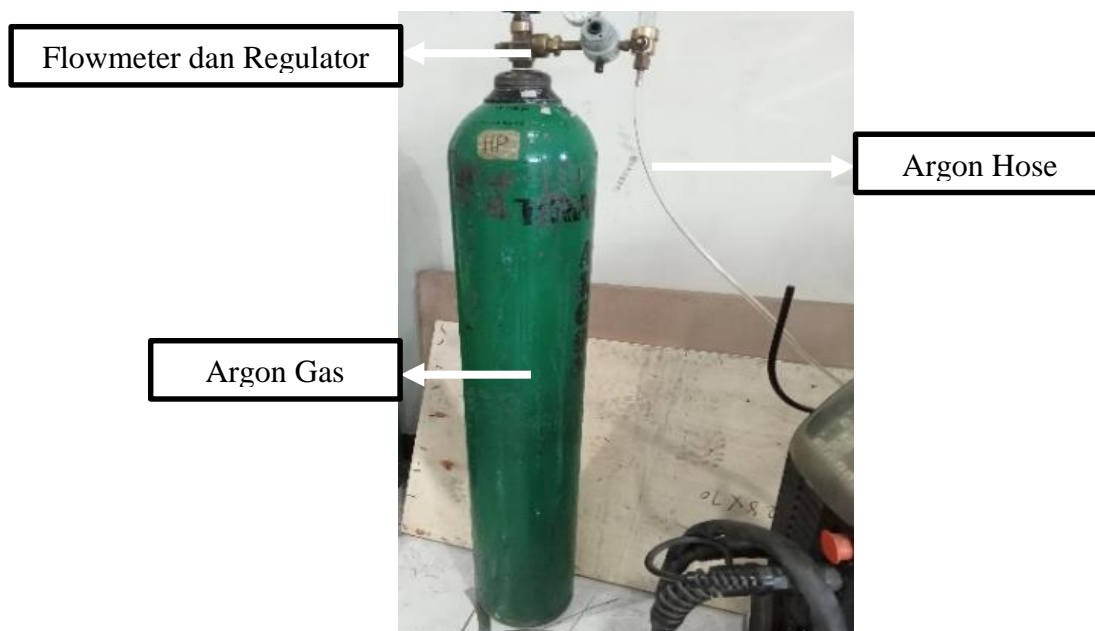
Gambar 12. Mesin Uji Komposisi Kimia

2) Mesin Las TIG dan Gas Argon

Proses pengelasan menggunakan mesin las Kemppi MasterTIG 235 AC/DC dan gas yang digunakan adalah gas argon *high purity*. Gambar 13 dan 14 memperlihatkan mesin las dan tabung gas argon (HP).



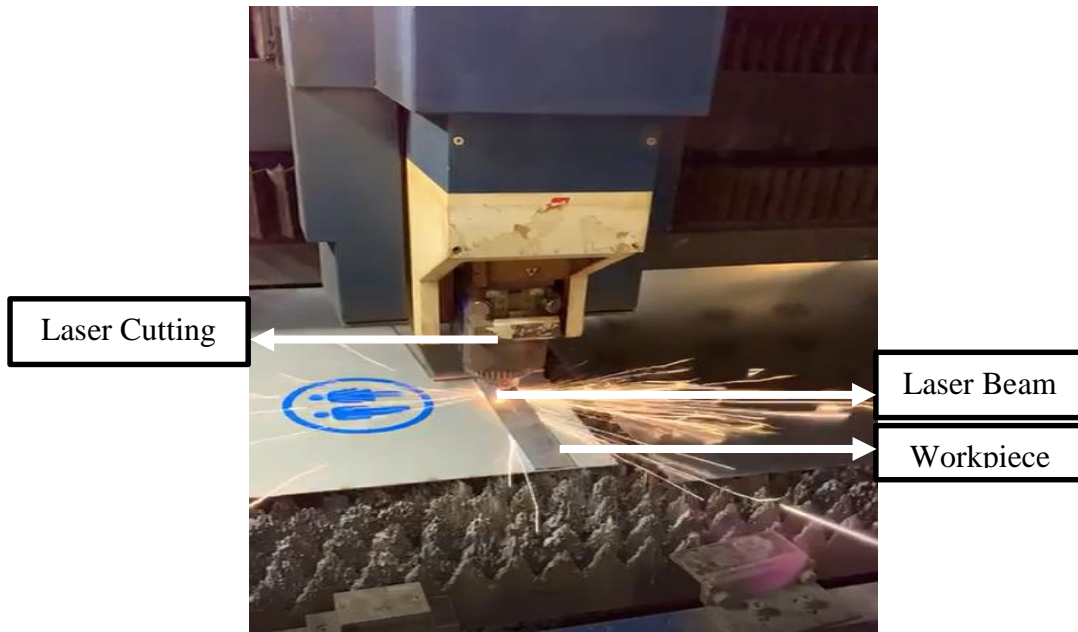
Gambar 13. Mesin Las TIG



Gambar 14. Tabung Gas Argon (*High Purity*)

3) Mesin *Laser Cutting*

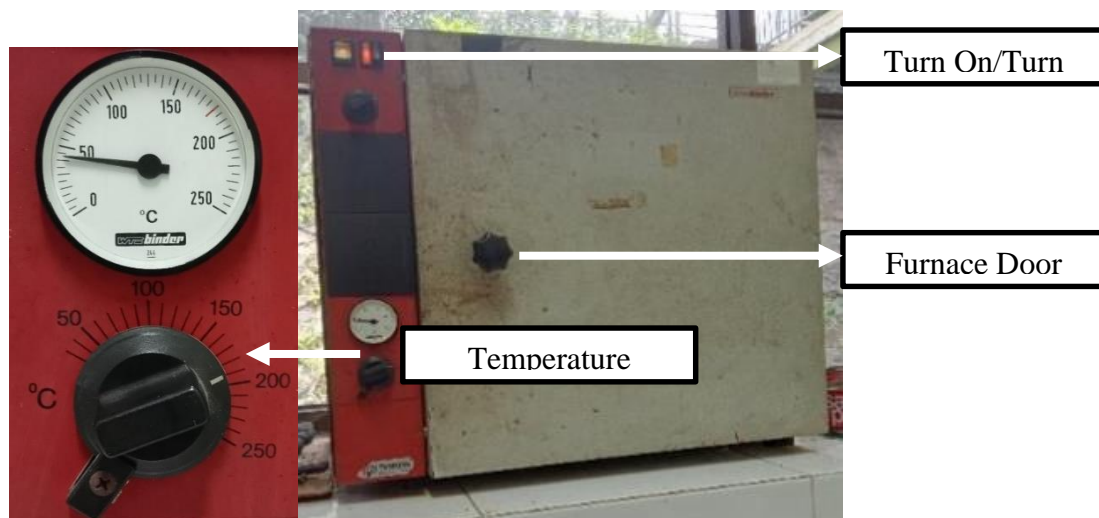
Mesin *laser cutting* digunakan untuk memotong spesimen uji tarik sehingga menghasilkan bentuk potongan yang presisi. Gambar 15 memperlihatkan mesin *laser cutting*.



Gambar 15. Mesin *Laser Cutting*

4) Tungku Pembakaran (*Furnace*)

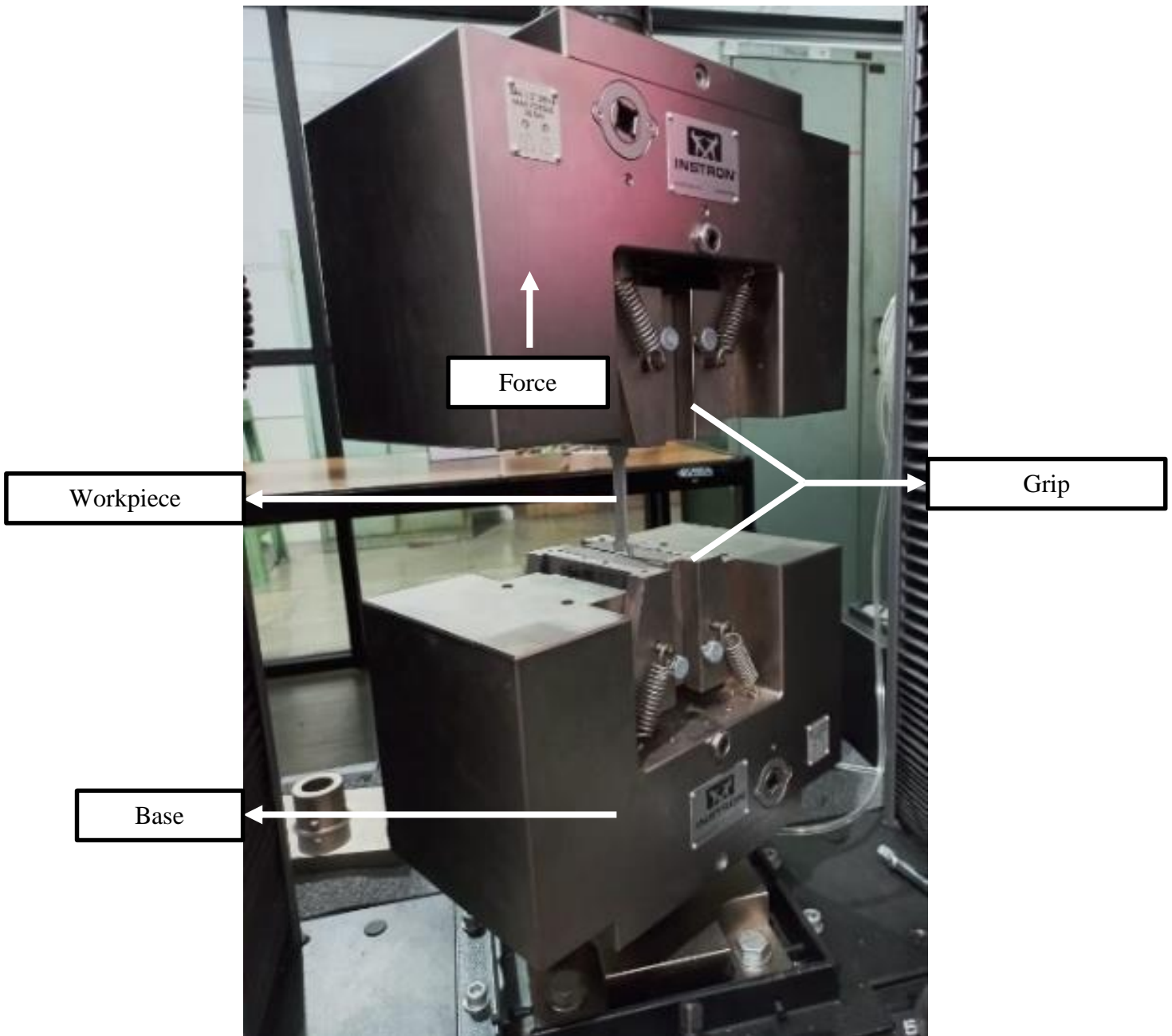
Tungku pembakaran (*furnace*) yang terdapat di laboratorium pengujian material Politeknik Manufaktur Bandung pada Gambar 16 digunakan untuk proses perlakuan panas paduan Aluminium 6061.



Gambar 16. Tungku Pembakaran (*Furnace*)

5) Alat Uji Tarik

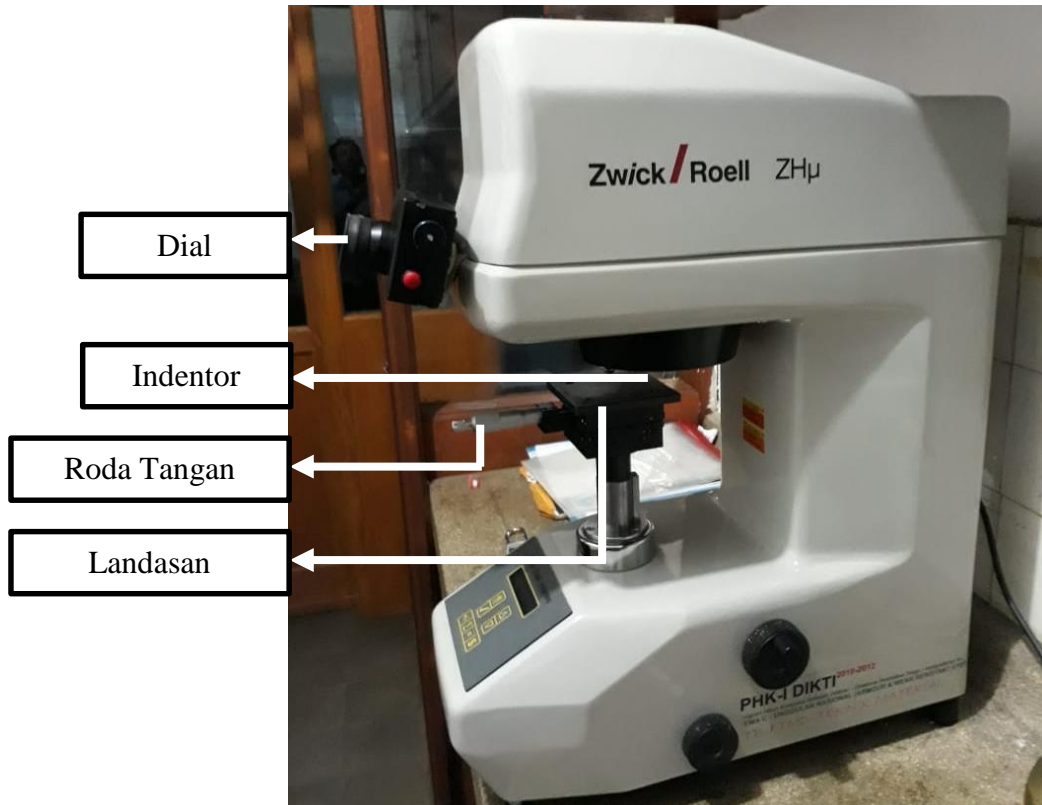
Alat uji tarik pada Gambar 17 merupakan alat uji tarik yang terdapat di laboratorium teknik mesin Institut Teknologi Bandung. Alat ini digunakan untuk menguji kekuatan tarik pada spesimen awal, setelah dilas, dan setelah dilas dan *artificial aging* paduan Aluminium 6061.



Gambar 17. Mesin Uji Tarik

6) Alat Uji Kekerasan

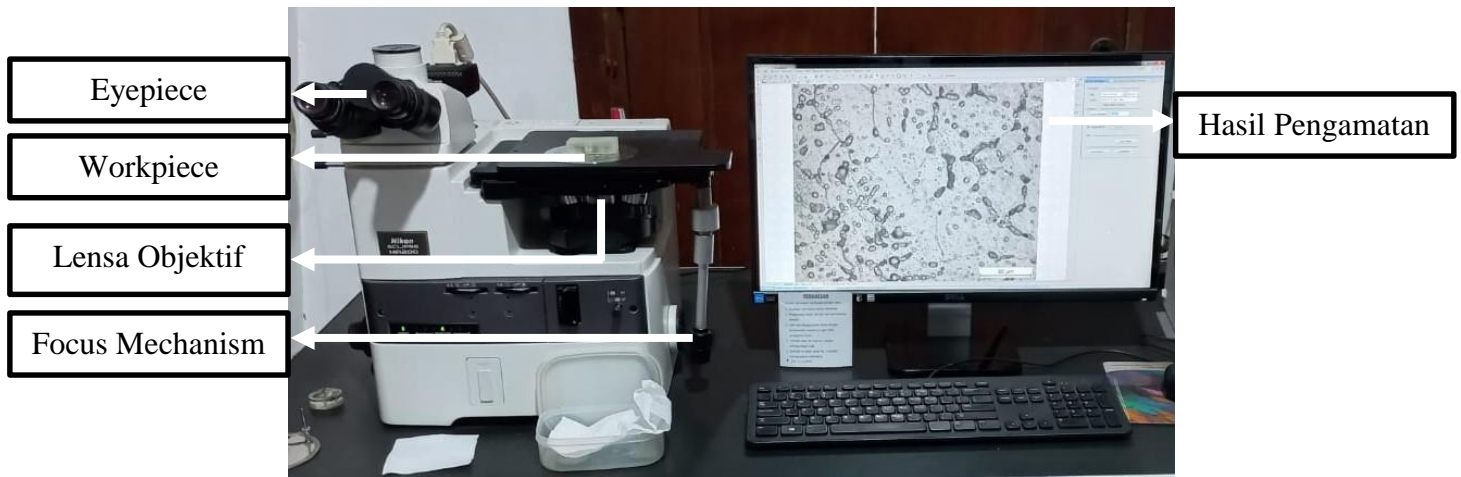
Alat uji kekerasan pada Gambar 18 merupakan alat uji kekerasan yang terdapat di laboratorium teknik mesin Institut Teknologi Bandung. Alat ini digunakan untuk menguji kekerasan pada spesimen awal, setelah dilas, dan setelah dilas dan *artificial aging* paduan Aluminium 6061.



Gambar 18. Mesin Uji Kekerasan

7) Alat Uji Metalografi

Alat uji metalografi pada Gambar 19 merupakan alat uji metalografi yang terdapat di laboratorium teknik mesin Institut Teknologi Bandung. Alat ini digunakan untuk mengetahui susunan mikrostruktur pada spesimen awal, setelah dilas, dan setelah dilas dan *artificial aging* paduan Aluminium 6061.



Gambar 19. Mesin Uji Metalografi

b. Bahan

1) Paduan Aluminium 6061

Gambar 20 memperlihatkan plat paduan Aluminium 6061 dengan ukuran $\pm 250 \times 40 \times 2,9$ mm yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 20. Paduan Aluminium 6061

2) Air

Gambar 21 memperlihatkan media pendingin air yang digunakan untuk proses *quenching* pada tahap perlakuan panas setelah proses *solution heat treatment*.



Gambar 21. Media Pendingin Air

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Aluminium 6061 termasuk jenis paduan Aluminium seri 6xxx dengan unsur paduan utamanya magnesium (Mg) dan silikon (Si). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan komposisi unsur kimia yang terkandung pada paduan Aluminium 6061. Pengujian dilakukan menggunakan jenis Spektrometri OES (*Optical Emission Spectrometer*). Berdasarkan pengujian tersebut bahwa paduan Aluminium 6061 mengandung senyawa utama magnesium (Mg) dan silikon (Si) dengan persentase masing-masing 0,50 % dan 0,33 %. Berikut dapat dilihat pada Tabel 7 data hasil pengujian komposisi kimia.

Tabel 7. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

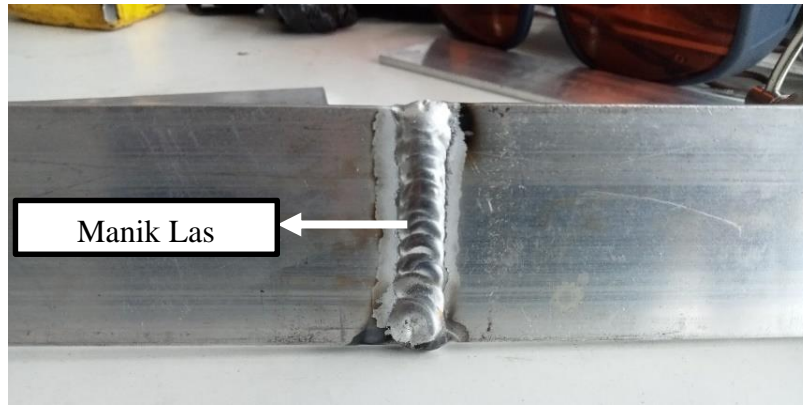
No.	Unsur	Komposisi (%)
1	Silicon (Si)	0,33
2	Magnesium (Mg)	0,50
3	Impurity	0,338
4	Aluminium (Al)	98,83

2. Pengelasan TIG Aluminium 6061

Metode dan parameter yang digunakan dalam pengelasan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Parameter Pengelasan

No.	Parameter Pengelasan	
1	Material	Paduan Aluminium 6061
2	Proses Las	TIG (<i>Tungsten Inert Gas</i>)
3	Elektroda (<i>Tungsten</i>)	EWP 2,6 mm
4	Logam Pengisi (<i>Filler</i>)	ER 4043 Ø 2,0 mm
5	Kuat Arus	60 - 80 Ampere
6	Polaritas	AC
7	Gas Pelindung	Argon (<i>High Purity</i>)
8	Jenis Kampuh	<i>Single V-groove</i> 60°
9	Posisi Las	1G
10	Layer	2



Gambar 22. Hasil Pengelasan TIG

Hasil pengelasan TIG terhadap paduan Aluminium 6061 dapat dilihat pada Gambar 22. Pengelasan TIG menghasilkan manik las yang rapih dan tidak menghasilkan *spatter* atau percikan logam las yang menempel pada logam induk.

3. Hasil Pemotongan Spesimen Uji Tarik

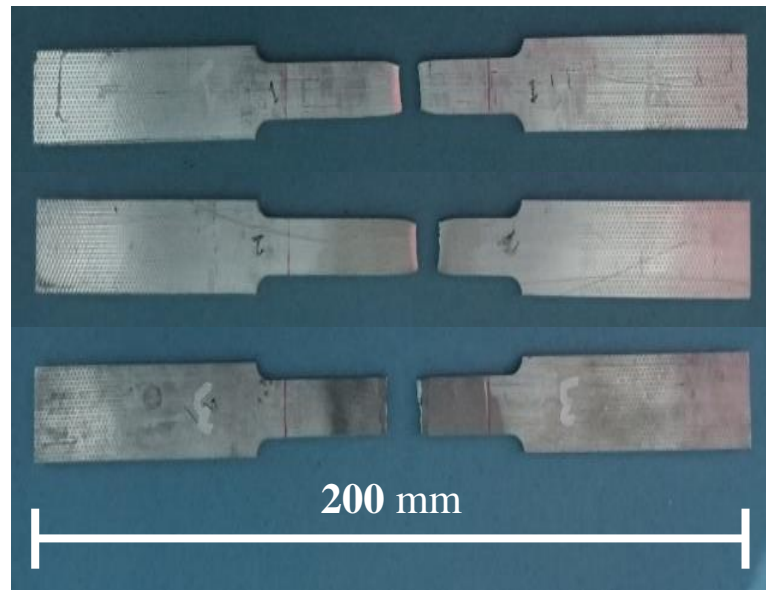
Pembuatan spesimen uji tarik dilakukan dengan proses pemotongan menggunakan *laser cutting*. *Laser cutting* merupakan proses pemotongan material dengan menggunakan sinar laser dan menghasilkan potongan yang sangat akurat. Hasil pemotongan spesimen uji menggunakan *laser cutting* dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Hasil *Laser Cutting* Spesimen Uji Tarik

4. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik sambungan las paduan Aluminium 6061 dengan cara memberikan beban statis secara kontinu hingga putus. Proses uji tarik ini dilaksanakan di Laboratorium Institut Teknologi Bandung dengan bentuk dan ukuran spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E8. Gambar 24 memperlihatkan spesimen uji tarik setelah dilakukan pengujian.

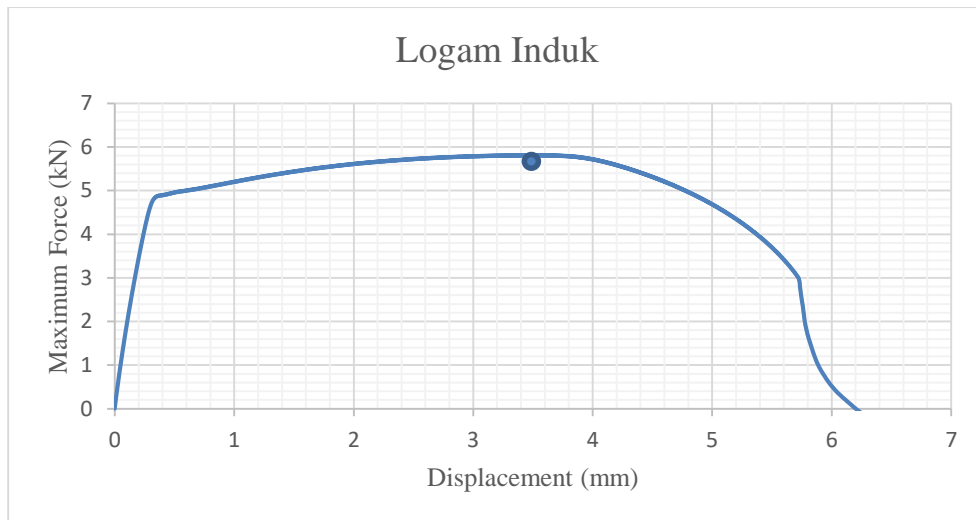


Gambar 24. Spesimen Uji Tarik Setelah Pengujian

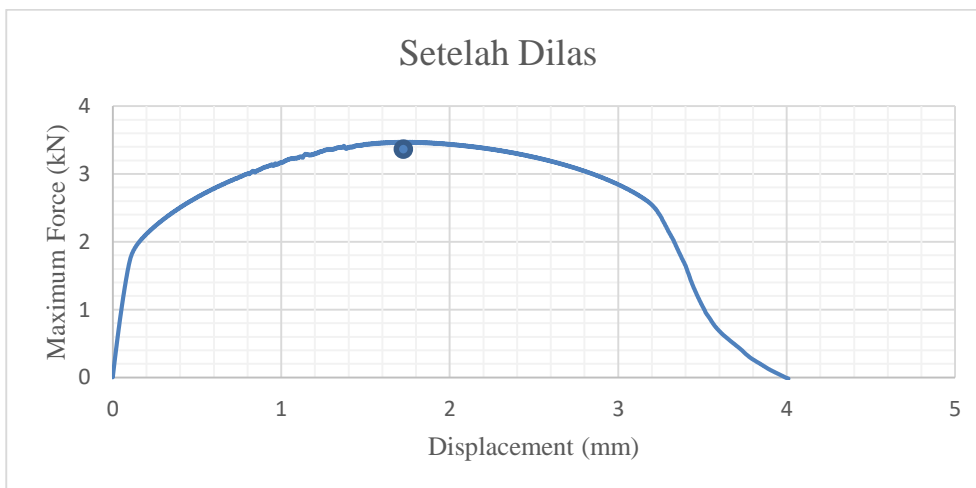
Pengujian tarik pada paduan Aluminium 6061 dilakukan terhadap spesimen awal (logam induk), spesimen setelah dilas, dan spesimen setelah dilas dan *artificial aging*.

1. Hasil Pengujian Tarik (Maximum Force)

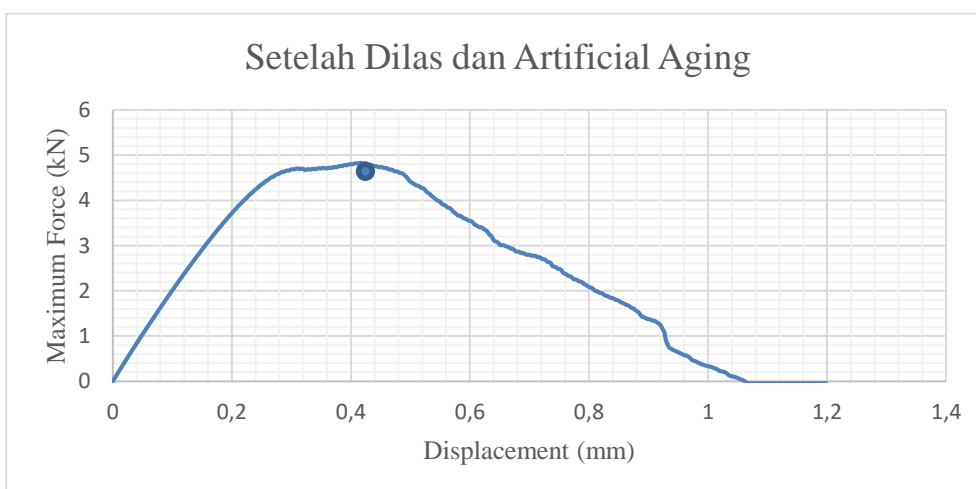
Gambar 25 memperlihatkan hasil pengujian tarik spesimen awal atau logam induk dimana nilai gaya maksimum yang didapat sebesar 5,81 kN. Gaya maksimum pada spesimen ini merupakan yang terbesar dibandingkan spesimen setelah dilas dan spesimen setelah dilas dan *artificial aging* dengan nilai gaya maksimum masing-masing sebesar 3,47 kN dan 4,83 kN dapat dilihat pada Gambar 26 dan 27.



Gambar 25. Grafik *Maximum Force* dan *Displacement* Logam Induk



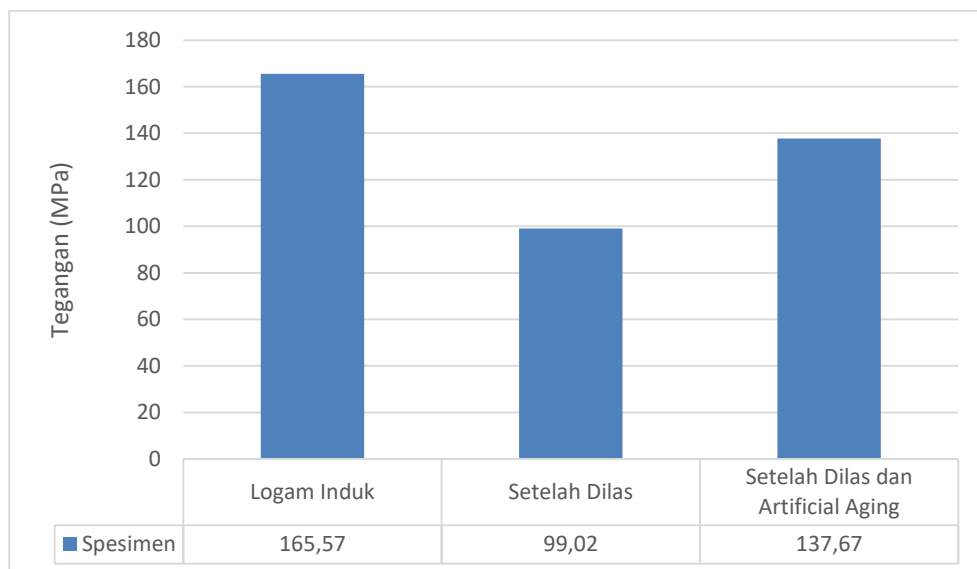
Gambar 26. Grafik *Maximum Force* dan *Displacement* Setelah Dilas



Gambar 27. Grafik *Maximum Force* dan *Displacement* Setelah Dilas dan *Artificial Aging*

2. Tegangan Tarik (MPa)

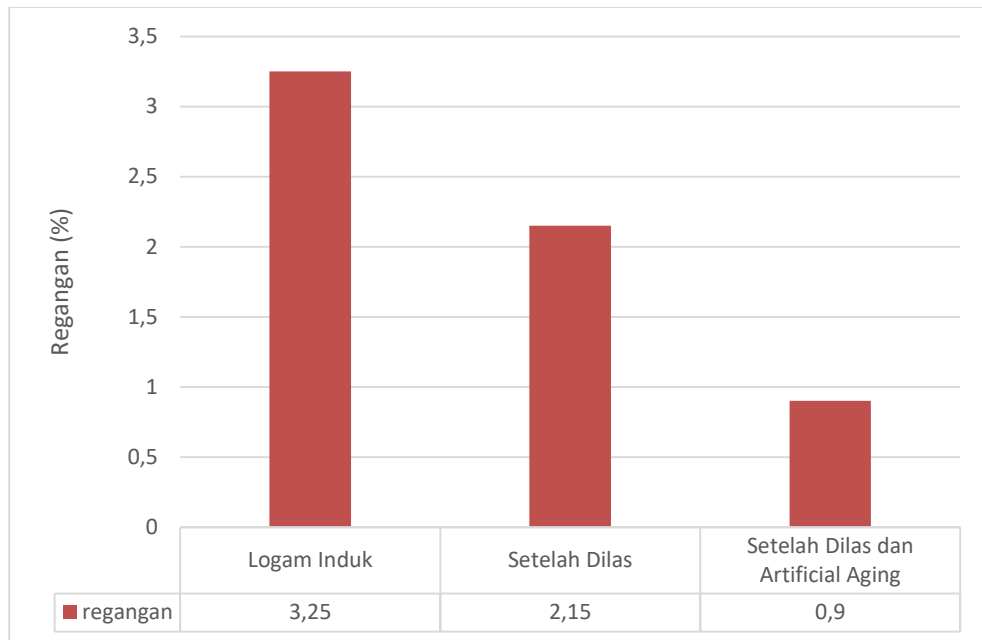
Gambar 28 memperlihatkan bahwa hasil pengujian tarik terhadap spesimen awal atau logam induk mempunyai nilai tegangan maksimum sebesar 165,57 MPa. Hal tersebut menyebabkan terjadi penurunan nilai tegangan maksimum terhadap spesimen yaitu sebesar 99,02 MPa. Sedangkan spesimen yang telah dilas dan proses *artificial aging* mengalami kenaikan nilai tegangan maksimum menjadi 137,67 MPa. Dari hasil nilai tegangan tarik tersebut menjelaskan bahwa spesimen yang dilakukan pengelasan akan mengalami penurunan sifat mekaniknya. Namun demikian, dapat ditingkatkan kembali melalui proses *artificial aging* atau perlakuan panas meskipun nilai tegangan tariknya tidak lebih besar dari nilai tegangan tarik spesimen awal (logam induk).



Gambar 28. Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Uji Tarik

3. Regangan (%)

Gambar 29 menunjukkan bahwa nilai regangan paling tinggi adalah pada spesimen awal atau logam induk sebesar 3,25 %, diikuti oleh spesimen yang dilas sebesar 2,15 %. Kemudian untuk spesimen yang dilas dan *artificial aging* memiliki nilai regangan yang paling rendah sebesar 0,9 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa spesimen yang dilas dan *artificial aging* memiliki sifat elastisitas paling rendah dibandingkan spesimen awal dan setelah dilas.

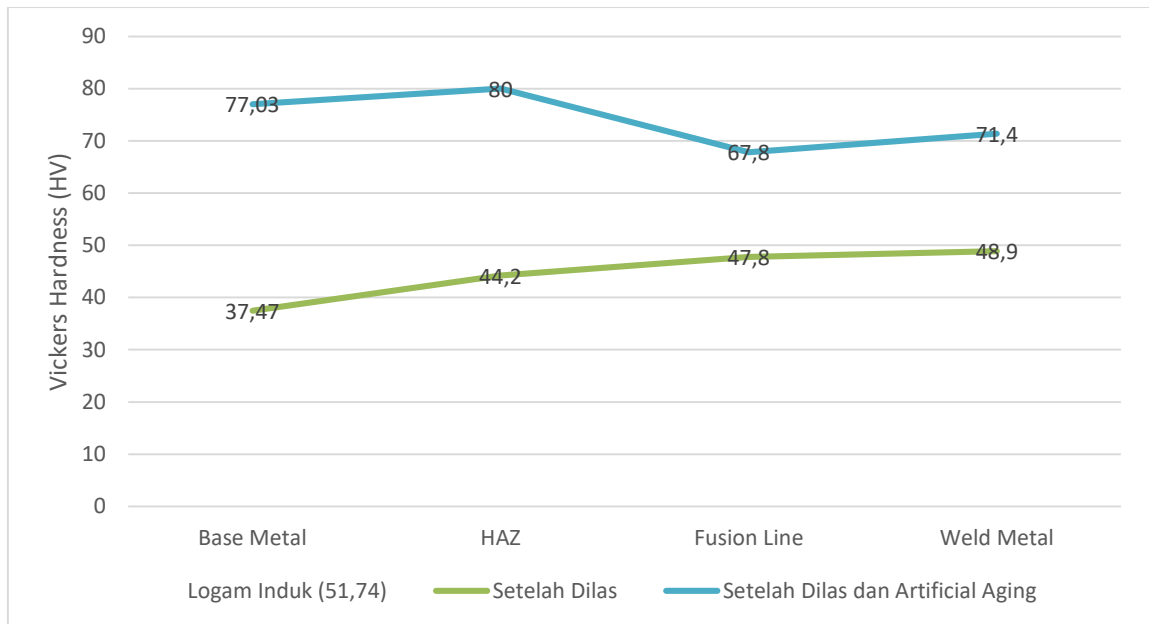


Gambar 29. Grafik Perbandingan Regangan Hasil Uji Tarik

5. Hasil Pengujian Kekerasan (*Vickers Hardness Test*)

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur tingkat ketahanan material terhadap deformasi plastis. Tingkat kekerasan material umumnya berbanding lurus dengan kekuatan tarik material dan berbanding terbalik dengan keuletan material tersebut. Semakin tinggi tingkat kekerasan material akan semakin tinggi pula tingkat kekuatan tarik material, namun semakin menurun tingkat keuletannya atau material tersebut menjadi getas.

Pengujian kekerasan ini dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Bandung dengan metode pengujian *Vickers*. Metode *Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan menggunakan indenter intan berbentuk piramid dengan sudut puncak dari permukaan 136° . Adapun titik yang diuji kekerasannya yaitu di daerah *base metal*, HAZ (*Heat Affected Zone*), *fusion line*, dan *weld metal*.

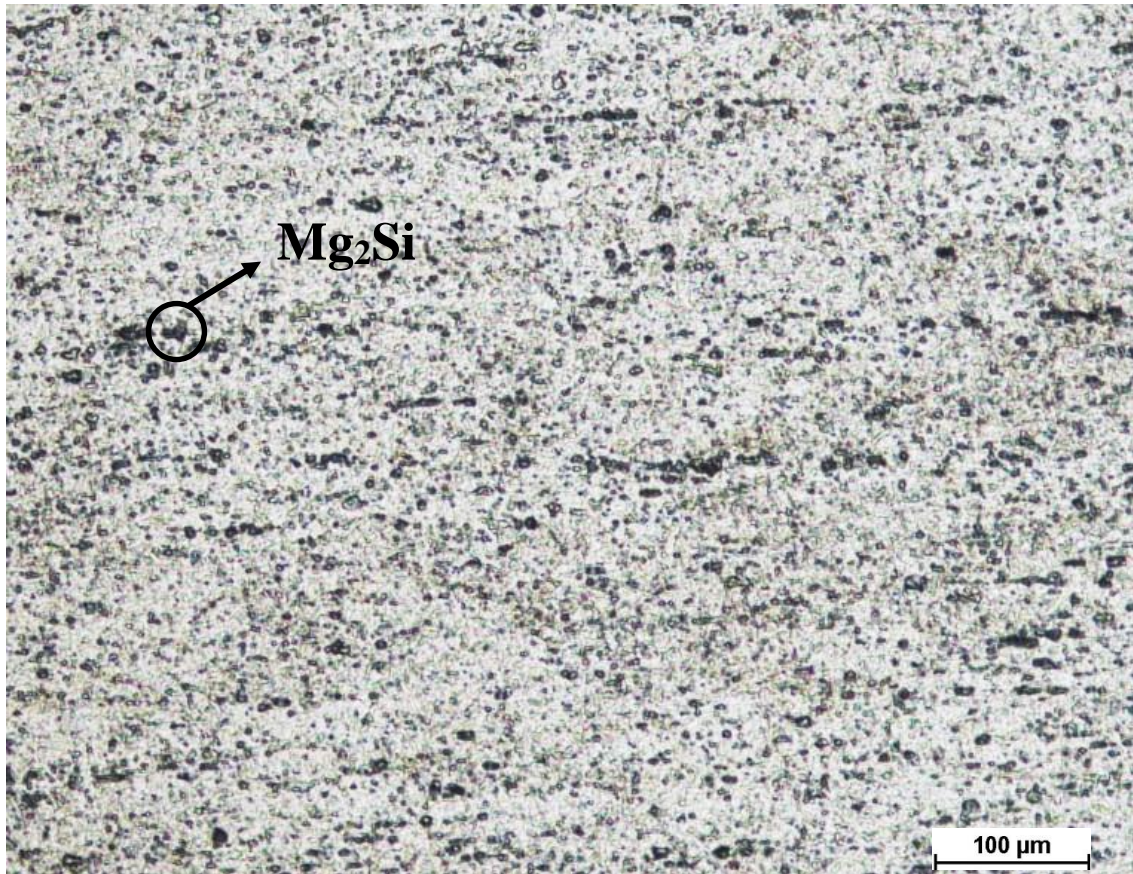


Gambar 30. Grafik Perbandingan Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

Gambar 30 menunjukkan hasil pengujian kekerasan paduan Aluminium 6061. Terjadi penurunan nilai kekerasan di daerah *base metal* pada spesimen yang dilas dibandingkan dengan spesimen awal. Pada hasil uji kekerasan ini juga memperlihatkan bahwa proses perlakuan panas atau *artificial aging* pada spesimen yang dilas mengalami peningkatan nilai kekerasan rata-rata sebesar 77,03 HV di daerah *base metal*, 80 HV di daerah HAZ, 67,8 HV di daerah *fusion line*, dan 71,4 HV di daerah *weld metal*. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa spesimen yang dilas dan *artificial aging* menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen yang dilas tanpa *artificial aging*.

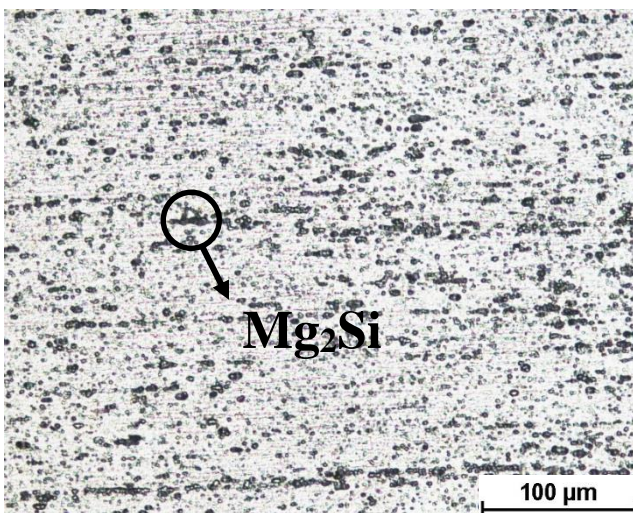
6. Pengujian Metalografi

Berdasarkan *ASM Handbook, Vol 9, Metallography and Microstructures* bahwa paduan Aluminium 6061 memiliki senyawa Fe_3SiAl_{12} , $Al_8Mg_3Si_6$, dan Mg_2Si . Senyawa yang paling mudah dilihat adalah Mg_2Si dengan bentuk butiran berwarna hitam dan senyawa Fe_3SiAl_{12} dengan bentuk butiran berwarna abu-abu. Gambar 31 menunjukkan struktur mikro paduan Aluminium 6061.

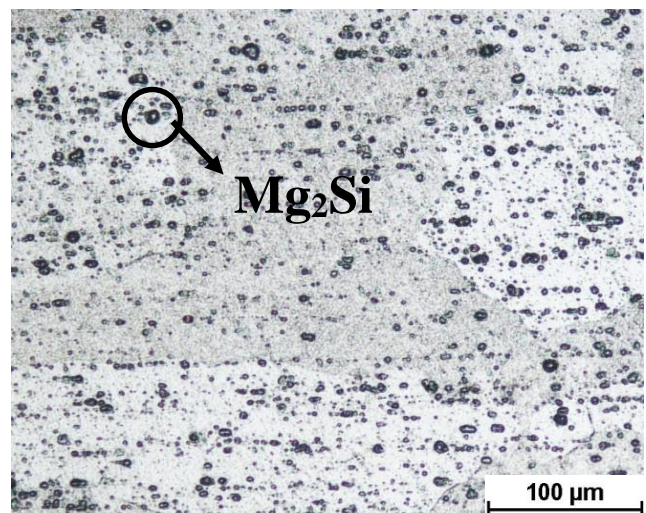


Gambar 31. Struktur Mikro Paduan Aluminium 6061

Gambar 32 menunjukkan struktur mikro logam induk (*base metal*) paduan Aluminium 6061 (a) setelah dilakukan pengelasan dan (b) setelah dilakukan pengelasan dan proses *artificial aging*.



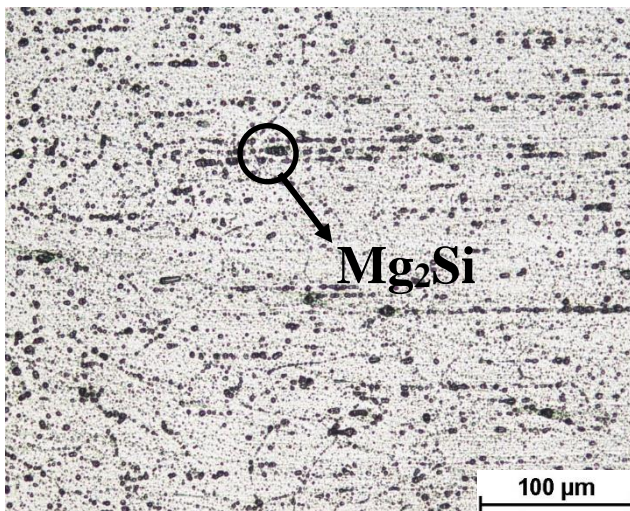
(a). Setelah dilakukan pengelasan



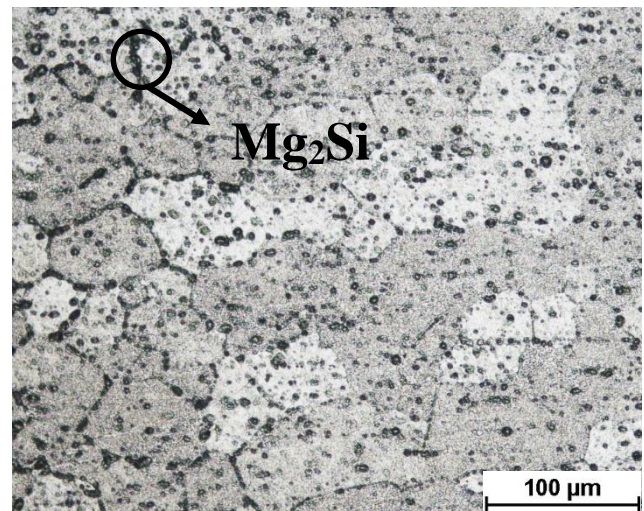
(b). Setelah dilakukan pengelasan dan *artificial aging*

Gambar 32. Struktur Mikro Pada Logam Induk (*Base Metal*)

Gambar 33 menunjukkan struktur mikro di daerah pengaruh panas (HAZ) paduan Aluminium 6061 (a) setelah dilakukan pengelasan dan (b) setelah dilakukan pengelasan dan proses *artificial aging*.



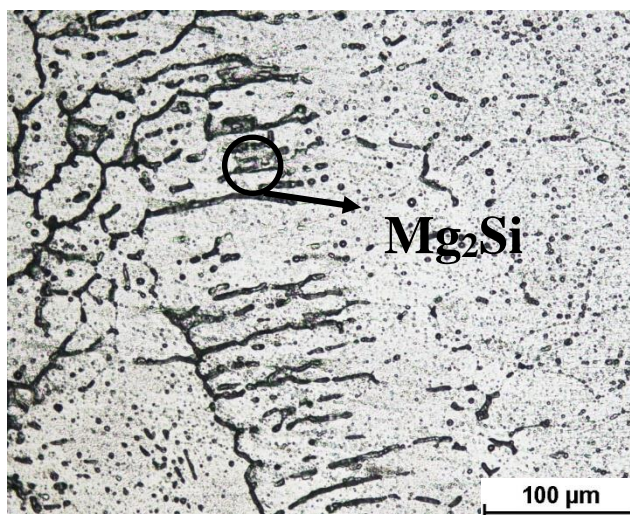
(a). Setelah dilakukan pengelasan



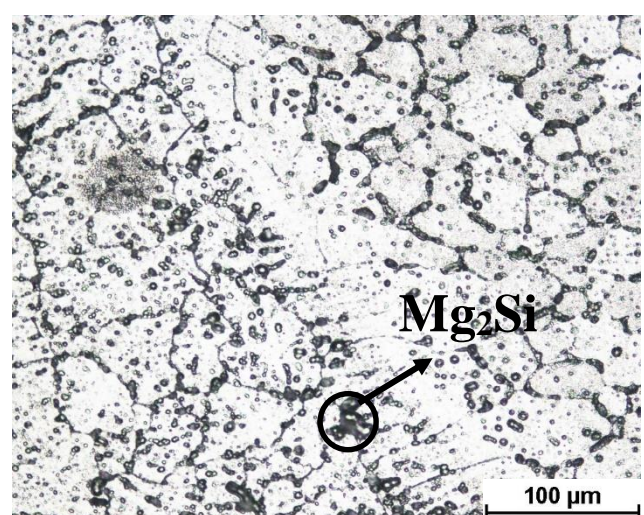
(b). Setelah dilakukan pengelasan dan *artificial aging*

Gambar 33. Struktur Mikro Pada Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Gambar 34 menunjukkan struktur mikro di daerah *fusion line* paduan Aluminium 6061 (a) setelah dilakukan pengelasan dan (b) setelah dilakukan pengelasan dan proses *artificial aging*.



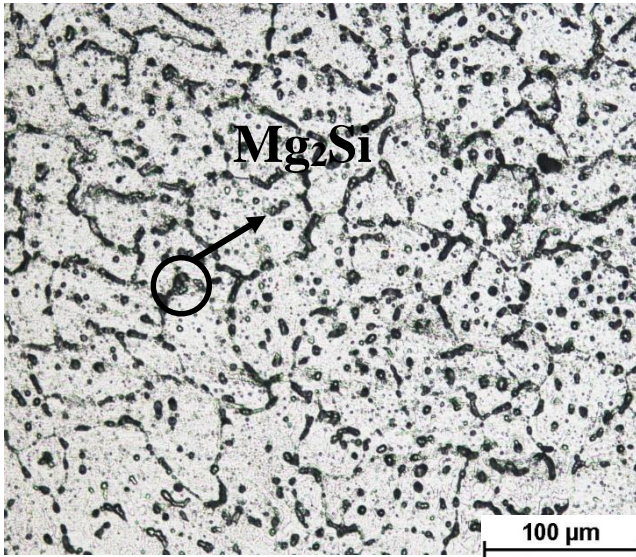
(a). Setelah dilakukan pengelasan



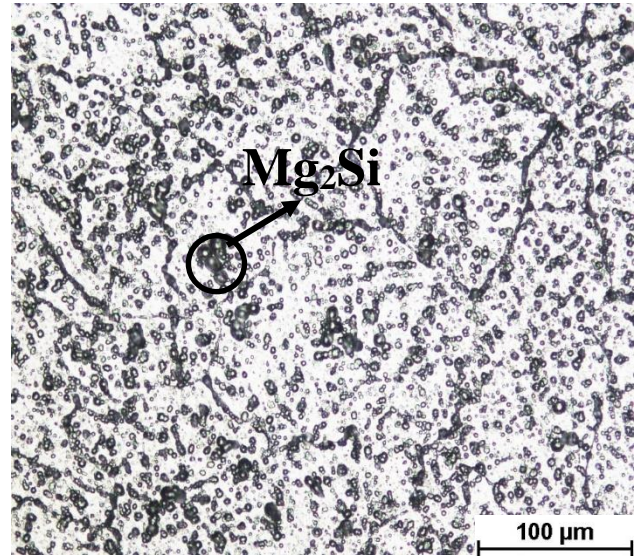
(b). Setelah dilakukan pengelasan dan *artificial aging*

Gambar 34. Struktur Mikro Pada Daerah *Fusion Line*

Gambar 35 menunjukkan struktur mikro di daerah *weld metal* paduan Aluminium 6061 (a) setelah dilakukan pengelasan dan (b) setelah dilakukan pengelasan dan proses *artificial aging*.



(a). Setelah dilakukan pengelasan



(b). Setelah dilakukan pengelasan dan *artificial aging*

Gambar 35. Struktur Mikro Pada Daerah *Weld Metal*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Hasil pengelasan paduan Aluminium 6061 tanpa proses *artificial aging* mengalami penurunan nilai kekuatan tarik dan kekerasan masing-masing sebesar 99,02 MPa dan 37,47 HV di daerah *base metal*, sedangkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan logam induk masing-masing sebesar 165,57 MPa dan 51,74 HV. Dengan demikian persentase penurunan nilai kekuatan tarik dan kekerasan beturut-turut adalah sekitar 40% dan 27%. Penurunan sifat mekanik tersebut terjadi karena panas saat proses pengelasan.
- 2) Hasil pengelasan paduan Aluminium 6061 yang dilakukan *artificial aging* mengalami peningkatan kembali nilai kekuatan tarik dan kekerasan yaitu sebesar (30% - 50%) dibandingkan dengan yang tidak dilakukan *artificial aging*. Peningkatan nilai kekuatan tarik sebesar 137,67 MPa dan nilai kekerasan sebesar 77,03 HV di daerah *base metal*, 80 HV di daerah HAZ, 67,6 HV di daerah *fusion line*, dan 71,4 HV di daerah *weld metal*. Sedangkan paduan Aluminium 6061 yang tidak dilakukan *artificial aging* memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 99,02 MPa dan kekerasan sebesar 37,47 HV di daerah *base metal*, 44,2 HV di daerah HAZ, 47,8 HV di daerah *fusion line*, dan 48,9 HV di daerah *weld metal*. Namun demikian, nilai kekuatan tarik dan kekerasan material hasil pengelasan setelah *artificial aging* tidak kembali ke semula, masih lebih rendah dengan perbedaan sebesar 17%.

2. Saran

- 1) Pada penelitian selanjutnya perlu menambahkan spesimen untuk variasi kuat arus pada proses pengelasan TIG dan variasi temperatur serta waktu penahanan pada proses perlakuan panas dengan tujuan menghasilkan nilai yang optimal dalam meningkatkan sifat mekanik paduan Aluminium 6061.

DAFTAR PUSTAKA

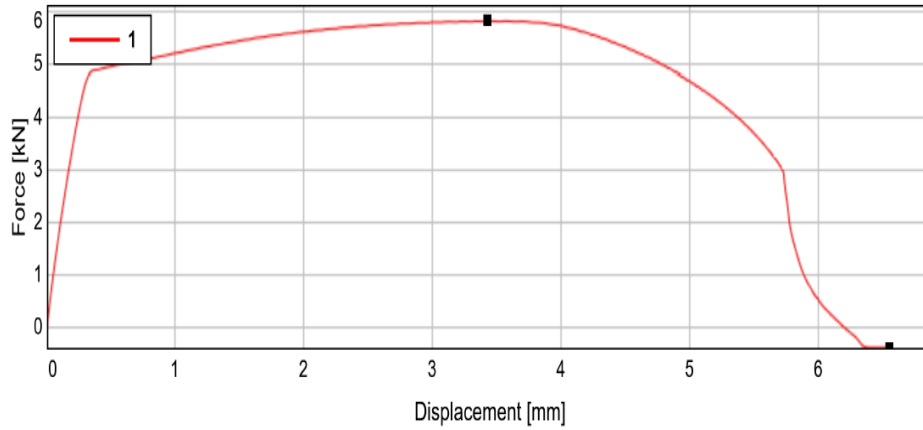
- [1] A. A. Kamal, “Analisis Variasi Pengaruh Besar Aliran Gas Pelindung Hasil Pengelasan MIG Terhadap Cacat Porositas dan Struktur Mikro Pada Aluminium 1100,” Universitas Jember, 2014.
- [2] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1979.
- [3] Azwinur, Marzuki, Usman, J. Syarif, and Zuhaimi, “Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Pada Pengelasan GTAW,” *Pros. Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 4, no. 1, pp. 185–190, 2020.
- [4] Y. Sari, “Analisis Produk Hasil Kombinasi Proses Pengelasan Dan Perlakuan Panas Aluminium 6061,” *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 2, no. 2, pp. 100–104, 2015, doi: 10.21009/jkem.2.2.7.
- [5] A. Rahmatika, S. Ibrahim, M. Hersaputri, and E. Aprilia, “Studi Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GTAW Aluminium 1050 Dengan Filler ER 4043,” *J. Polimesin*, vol. 17, no. 1, pp. 477–54, 2019.
- [6] R. P. Putra, S. Jokosisworo, and Kiryanto, “Pengaruh Arus Listrik dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Aluminium 5083 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding),” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 152–161, 2016.
- [7] J. Sidik, M. Sholihin, and R. Arthur, “Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas Aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium AA 6061,” *Maj. Ilm. Tek. Mesin*, pp. 1–8, 2019.
- [8] K. M. D. I. Muku, “Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG) Welding Connection Strengh of Aluminium 1100 with Current Variations at Metal Inert Gas (MIG) Welding Process,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 11–17, 2009.
- [9] M. I. Taufani, M. S. Permana, and Syahbardia, “Proses Perbaikan Komponen Yang Terbuat Dari Paduan Aluminium Al-Si Dengan Metoda Continuous Flow Casting Cetakan Terbuka,” Universitas Pasundan Bandung, 2019.

- [10] M. Dewi, A. A. Alhamidi, and M. Fitrullah, "Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging," *Jur. Tek. Metal.*, 2016.
- [11] Aalco, "Aluminium Alloy 6061 - T6 Extrusions," *Aalco Metal Ltd*, 2022.
https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-6061-T6-Extrusions_145.ashx (accessed Oct. 15, 2022).
- [12] I. Kamenichny, *A Short Handbook Of Heat Treatment*. Peace Publishers Moscow, 1964.
- [13] Sugiarto, "Heat Treatment Pada Aluminium Paduan," *My Archives*, 2010.
<http://blog.ub.ac.id/rudy1212/2010/10/24/heat-treatment-pada-aluminium-paduan/> (accessed Oct. 15, 2022).
- [14] J. William D. Callister, *Materials Science and Engineering An Introduction*, 7th ed. Amerika Serikat: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [15] I. P. Wardani *et al.*, "Pengaruh Natural Aging Sebelum Proses Artificial aging Terhadap Sifat Mekanik Aluminium 6061," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VIII 2020*, pp. 109–114, 2022.
- [16] Y. W. Muzamil Khusaini, Fadelan, "Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) Aluminium Muzamil," *AutoMech*, vol. 1, pp. 25–29, 2021.
- [17] H. Budiman, R. Suratman, and M. S. Permana, "Studi Karakteristik Hasil Pengelasan Stud Welding A36 Terhadap Sa 335 Grade P9 Pada Konstruksi Fins Penukar Kalor Pipa Cdu," *J. Suparyanto dan Rosad*, vol. 5, no. 3, pp. 248–253, 2020.
- [18] Linda Andewi, "Pengaruh Variasi Arus Pada Hasil Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Alumunium 6061," Universitas Negeri Semarang, 2016.
- [19] R. D. Lestari, "Pengelasan GTAW," *Allpro*.
<https://www.allpro.co.id/pengelasan/gtaw/> (accessed Aug. 20, 2022).

- [20] Asrul, K. Kamil, and M. H. Asiri, "Analisis Kekuatan Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) pada Logam Aluminium Paduan AA6063 dengan Variasi Arus Listrik," *Tek. Mesin Teknol.*, vol. 18, no. 1, pp. 27–32, 2018.
- [21] D. Riyanindito, A. Sentana, and T. Supriyono, "Pembuatan Alat Bantu Pemindah Tabung LPG 12 Kg," Universitas Pasundan Bandung, 2019.
- [22] A. Achmadi, "Studi Eksperimen Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Hasil Lasan Logam Pipa Aluminium Seri 5000 (Almg5)," *Teach. Teach. Educ.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–17, 2015.
- [23] E. Budiyanto, "Pengaruh Diameter Filler Dan Arus Pada Pengelasan," *Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [24] F. B. Susetyo and S. Hutomo, "Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG Pada Material Aluminium 5083," *Mechanical*, vol. 4, 2013.
- [25] Fajar Banjarnahor, Alfian Hamsi, M. Sabri, and S. Abda, "Studi Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Terhadap Kekuatan Sambungan dan Sifat Mekanik Pada Baja AISI 1045," *Dinamis*, vol. 7, no. 2, p. 13, 2019, doi: 10.32734/dinamis.v7i2.7190.
- [26] A. M. Koten, D. G. H. Adoe, and J. U. Jasron, "Pengaruh Variasi Tegangan dan Waktu Terhadap Kekerasan Lapisan Nikel dengan Metode Electroplating pada Coran Aluminium scrap," *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 03, no. 01, 2016.
- [27] I. Fadhilah, "Analisis Struktur Mikro (Metalografi)," *J. Ilm.*, p. 1, 2018.
- [28] A. W. Society, *Structural Welding Code - Aluminum*, 6th ed. American National Standards Institute, 2013.
- [29] ASTM E8, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials," *Annu. B. ASTM Stand.* 4, no. C, pp. 1–27, 2010.
- [30] J. M. Mandiri, "Metode Pengujian Brinnell & Vickers - Novotest Indonesia," *Novotest Indonesia*, 2012. <https://novotest.id/metode-pengujian-brinnell-vickers/> (accessed Oct. 19, 2022).

LAMPIRAN

1. Data Hasil Pengujian/Pengukuran



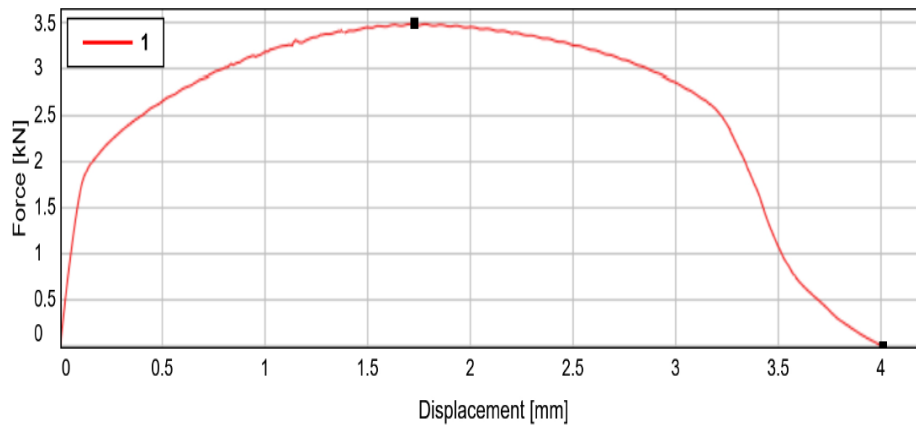
Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen Awal/Logam Induk

	Force at Break (Standard) [kN]	Tensile stress at Maximum Force [MPa]	Rate 1 [mm/min]
1	-0.39	165.57	5.00

	Maximum Force [kN]	Force at Yield (Offset 0.2 %) [kN]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]
1	5.81	4.89	139.35

	Displacement at Break (Standard) [mm]	Thickness [mm]	Width [mm]
1	6.55	2.90	12.10

Tabel Hasil Pengujian Tarik Spesimen Awal/Logam Induk



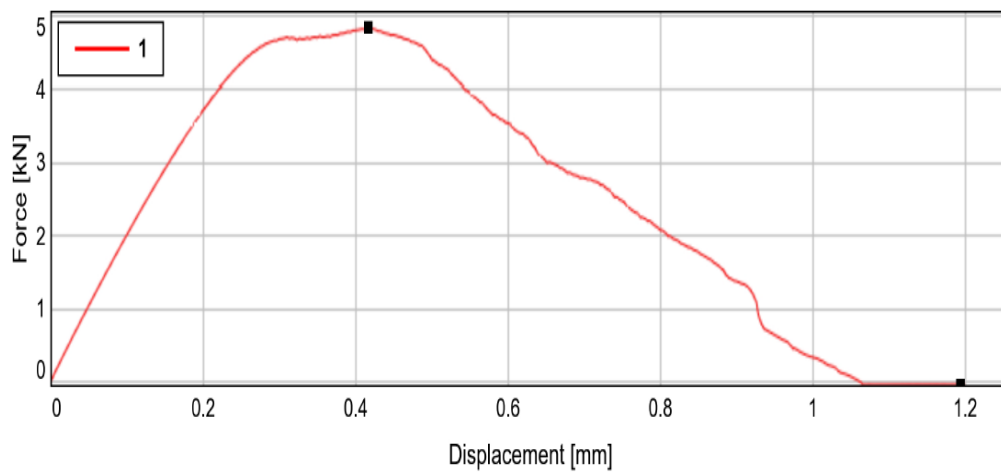
Grafik Hasil Pengujian Tarik Setelah Dilas

	Force at Break (Standard) [kN]	Tensile stress at Maximum Force [MPa]	Rate 1 [mm/min]
1	-0.01	99.02	5.00

	Maximum Force [kN]	Force at Yield (Offset 0.2 %) [kN]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]
1	3.47	2.17	61.80

	Displacement at Break (Standard) [mm]	Thickness [mm]	Width [mm]
1	4.00	2.90	12.10

Tabel Hasil Pengujian Tarik Setelah Dilas



Grafik Hasil Pengujian Tarik Setelah Dilas dan *Artificial Aging*

	Force at Break (Standard) [kN]	Tensile stress at Maximum Force [MPa]	Rate 1 [mm/min]
1	-0.04	137.67	5.00

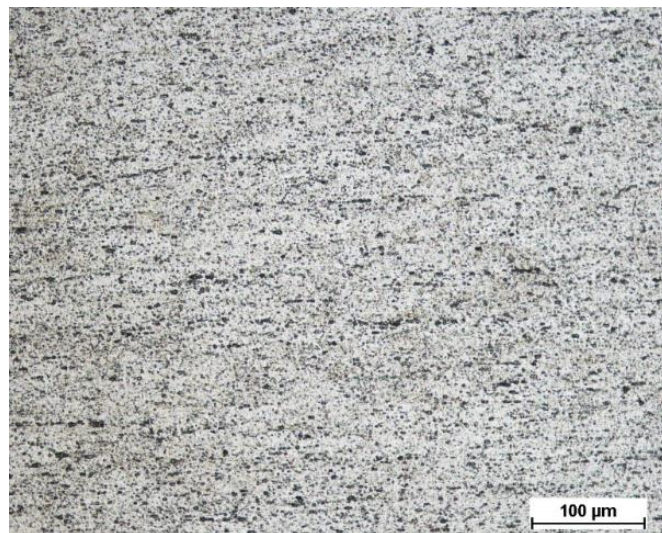
	Maximum Force [kN]	Force at Yield (Offset 0.2 %) [kN]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [MPa]
1	4.83	4.71	134.23

	Displacement at Break (Standard) [mm]	Thickness [mm]	Width [mm]
1	1.20	2.90	12.10

Tabel Hasil Pengujian Tarik Setelah Dilas dan *Artificial Aging*

Spesimen	Vickers Hardness (HV)										
	Base Metal					HAZ		Fusion Line		Weld Metal	
Logam Induk	50	52,5	53,7	52,5	50	-		-		-	
Rata-rata	51,74										
Setelah Dilas	37,7	37,7	37	44,7	43,7	47,8	48,9	47,8	50		
Rata-rata	37,47					44,20		-		48,9	
Setelah Dilas dan Artificial Aging	77,8	77,8	75,5	80	80	67,6	71,4	71,4	71,4		
Rata-rata	77,03					80,00		-		71,4	

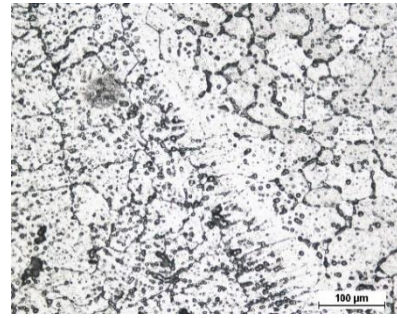
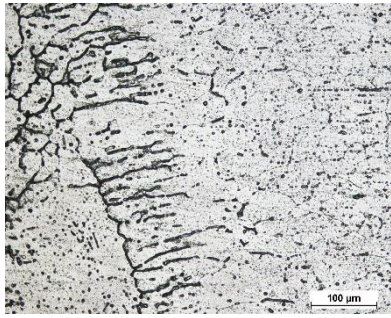
Tabel Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*



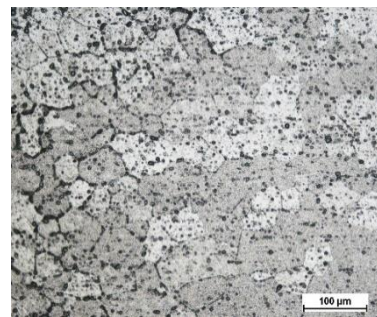
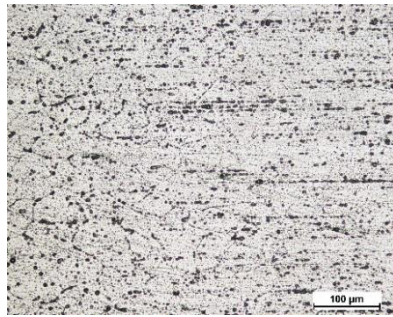
Hasil Pengujian Struktur Mikro Logam Induk

Hasil Pengujian Struktur Mikro Setelah Dilas	Hasil Pengujian Struktur Mikro Setelah Dilas dan <i>Artificial Aging</i>
<p>Basel Metal</p>	

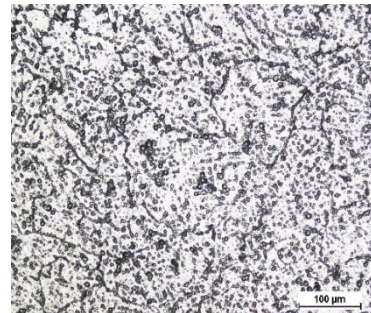
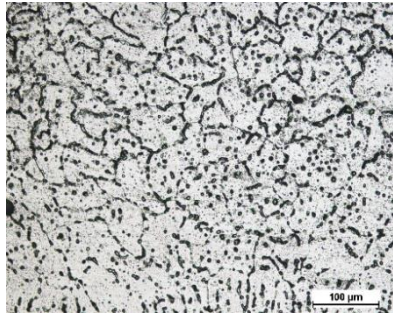
Fusion Line



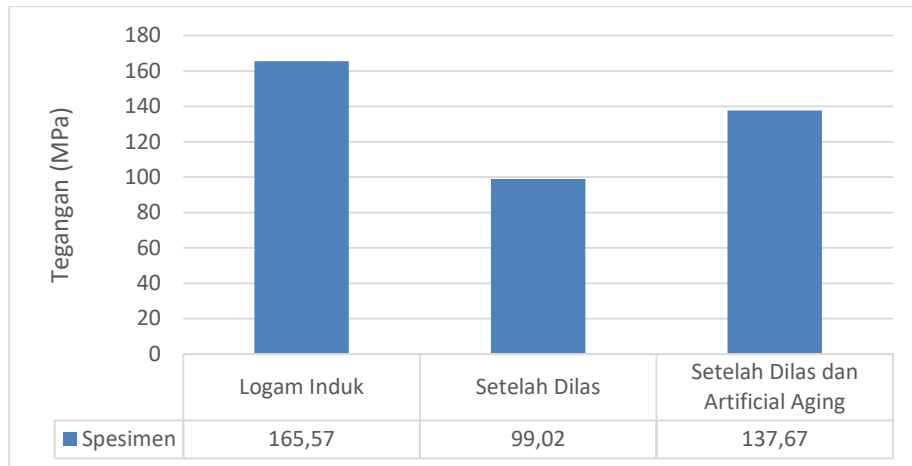
HAZ



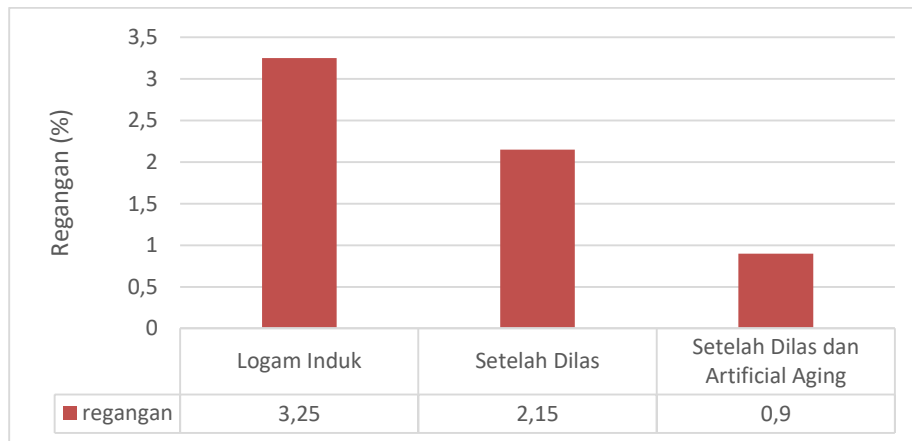
Weld Metal



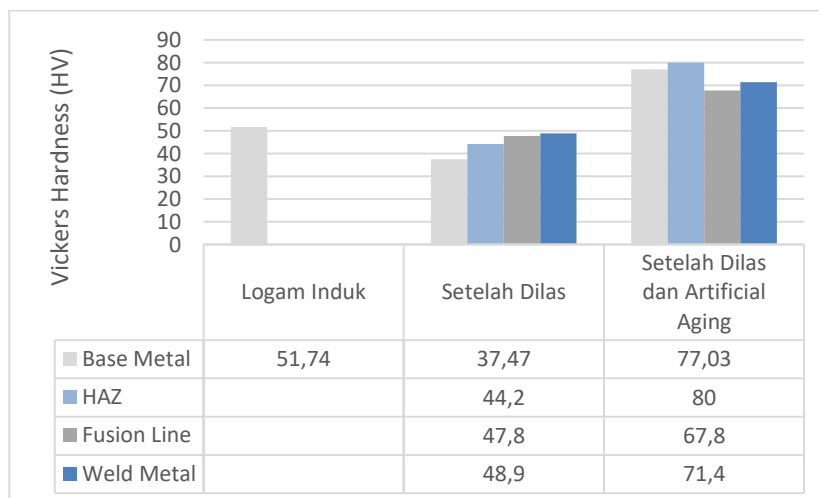
2. Hasil Pengolahan Data



Hasil Pengolahan Data Tegangan Tarik



Hasil Pengolahan Data Regangan Tarik



Hasil Pengolahan Data Kekerasan Vickers

3. Foto-Foto Kegiatan



Proses Pemasangan Sampel Uji Komposisi Kimia



Proses Pengelasan TIG



Proses Pembuatan Spesimen Uji Tarik Dengan *Laser Cutting*



Proses *Heat Treatment*



Proses Pengujian Tarik



Proses Pengujian Kekerasan



Proses Polishing



Proses Pengujian Struktur Mikro