

Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Sambungan Las (*Metal Inert Gas*) MIG Pada Aluminium AA6063

Asrul*

Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Kotabaru

Jln. Raya Stagen Km 9.5 , Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru, 72114, Indonesia

E-mail: asrul@poltekab.ac.id

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 26 November 2024

Direvisi: 15 Januari 2025

Diterima: 22 Januari 2025

Aluminium mempunyai karakteristik yang menguntungkan seperti tahan terhadap korosi, penghantar panas, penghantar listrik dan juga ringan. Tetapi bila melihat pada material baja, aluminium memiliki sifat yang tidak menguntungkan dalam hal pengelasan. Sambungan las bisa berpengaruh terhadap pemilihan arus listrik pengelasan dan bahan tambah yang sesuai dengan logam induk. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kekuatan sambungan las MIG aluminium paduan AA6063 terhadap variasi kampuh las dengan arus listrik. Data hasil pengujian memperlihatkan nilai sama dengan 1. Nilai uji tarik tertinggi menggunakan kampuh X pada arus listrik 150 ampere yaitu 14,05 kg/mm², Nilai tegangan tarik paling rendah dengan kampuh K pada arus 155 ampere 6,75 kg/mm². 2. Hasil pengujian nilai kekerasan tertinggi dengan kampuh V pada arus 160 ampere yaitu 87,09 HRB pada daerah *weld metal* kemudian daerah HAZ mengalami penurunan nilai kekerasan yaitu 76,33 HRB dan daerah logam induk meningkat kembali nilainya yaitu 78,80 HRB dan 3. Hasil ini menunjukkan bahwa pengelasan dengan kampuh X adalah lebih baik dari kampuh V dan kampuh K berdasarkan arus listrik yang diberikan dalam hasil pengujian.

Abstract

Keywords:

aluminium;
welding;
groove;
electric current;
tensile test;
hardness test.

Aluminium has beneficial characteristics such as corrosion resistance, heat conductivity, electrical conductivity, and lightweight. However, when looking at steel materials, aluminum has unfavorable welding properties. The selection of welding amperage and additives compatible with the parent metal can influence welding joints. The purpose of this study was to determine the effect of the strength of MIG welding joints of AA6063 aluminum alloy on the variation of groove welding with electric current. The test data shows a value equal to 1. The highest tensile test value using X camphor at an electric current of 150 amperes is 14.05 kg/mm², and the lowest tensile stress value with K camphor at a current of 155 amperes is 6.75 kg/mm². 2. The test results of the highest hardness value with the V shank at a current of 160 amperes, namely 87.09 HRB in the weld metal area, then the HAZ area decreased in hardness value, namely 76.33 HRB, and the parent metal area increased again in value, namely 78.80 HRB and 3. These results show that welding with an X shank is better than a V shank and a K shank based on the electric current in the test results.

*Penulis korespondensi:

Asrul

E-mail: asrul@poltekab.ac.id

1. Pendahuluan

Pengelasan yang ideal adalah sambungan lengkap yang terdiri dari logam las, daerah yang terpengaruh panas (HAZ) dan logam induk yang harus memiliki sifat yang sama dengan logam induknya, namun terdapat sejumlah masalah yang terkait dengan pengelasan aluminium dan paduannya yang membuatnya sulit untuk mencapai tujuan yang ideal. Hasil yang terlihat dan cacat yang dapat muncul pada hilangnya sifat mekanik yaitu: porositas, oksidasi dan lapisan oksida, Retak pemadatan (panas) atau sobek panas, berkurangnya kekuatan pada logam las dan HAZ[1]. Proses penyambungan logam dengan las pada material aluminium lebih sukar dikerjakan dibandingkan penyambungan logam dengan las pada baja. Perpindahan panas yang cepat membuat aluminium sulit untuk dipanaskan dan pencairannya sangat rendah. Pemberian panas yang terlalu besar pada proses penyambungan logam dengan las bisa mengakibatkan bahan aluminium tersebut bisa terjadi perubahan bentuk (*deformasi*). Lapisan oksida (Al_2O_3) yang muncul pada permukaan aluminium menjadi kendala yang serius dalam penyambungan logam dengan las. Al_2O_3 mempunyai titik cair yang jauh lebih besar yaitu $2050^\circ C$ bila dibandingkan dengan logam induk aluminium yang hanya mempunyai titik cair sebesar $660^\circ C$. Perbandingan batas nilai titik cair yang tinggi antara lapisan oksida yang melapisi dengan logam induknya membuat pencairan kurang optimal, akibatnya potensi terjadi cacat pada penyambungan logam dengan las aluminium[2]. Keterbatasan dalam pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) pada Paduan aluminium meliputi ketebalan las yang terbatas yaitu 25 mm saat menggunakan gas pelindung Ar (*argon*) dan 75 mm dengan He (*helium*)[3].

Dalam proses penyambungan dengan memanfaatkan material logam, proses penyambungan menggunakan las mempunyai peranan penting. Penyambungan menggunakan las adalah teknik penyambungan logam yang banyak dimanfaatkan penggunaannya dalam berbagai macam jenis konstruksi, reparasi, dan produksi logam. Teknik penyambungan logam las banyak memiliki kelebihan karena pada sambungan las konstruksinya lebih ringan, mudah pengerjaannya, serta biaya relatif murah. Teknik penyambungan logam las ini adalah cara menggabungkan dua atau lebih logam menjadi satu dengan cara dilelehkan bahan tambah dari energi listrik yang diberikan, kemudian menghasilkan panas[4], metode pengelasan logam dengan menggunakan material Aluminium pada umumnya dengan cara pengelasan MIG atau las busur gas yang menggunakan gulungan kawat (*filler metal*) sebagai bahan tambah yang memiliki gerakan otomatis yang dikontrol oleh motor listrik. Teknik penyambungan logam las ini memanfaatkan gas mulia seperti *argon* dan *helium* sebagai pelindung busur dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer. Pengelasan logam untuk struktur besar seperti kapal seringkali membutuhkan *welder* untuk mengelas bolak-balik di kedua sisi kapal, sehingga membuang-buang banyak biaya dan waktu pemrosesan[5]. Sifat mekanis dari sambungan las akhir adalah dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti tegangan sisa, arus listrik, kecepatan gerak tangan, laju pengumpanan kawat, dan ketebalan elektroda. Kecepatan pengelasan adalah variabel dominan dalam mengubah sifat

mekanik sambungan lasan[6] dan pengelasan adalah proses penyambungan dengan cara permanen pada dua buah logam berbeda atau juga sama, kelebihan pada proses penyambungan logam ini adalah kekuatan yang mendekati atau bisa melampaui dari kekuatan material logam induknya[7].

Aluminium adalah material yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti otomotif, pesawat terbang, konstruksi, dan sistem perpipaan[8], Aluminium merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak digunakan dalam industri manufaktur, transportasi, dan lain sebagainya. Paduan aluminium 6063 ini termasuk dalam kelompok paduan Al, Mg, Si, dan seri 6xxx merupakan kelompok paduan yang bisa dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*)[9], Pada paduan aluminium cor dan las, porositas adalah cacat utama yang sering dijumpai, seperti yang diungkap oleh tomografi sinar-X resolusi tinggi pada ingot cor paduan aluminium[10].

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Burhanuddin mengenai penentuan sambungan las yang kurang baik adalah salah satu penyebab cacat atau patahan pada pengelasan. Sambungan tumpul (*Butt Joint*) adalah salah satu jenis sambungan las yang mempunyai banyak keunggulan bila dilihat beberapa bentuk sambungan las lainnya. Karena dalam proses pengelasan, area sambungan akan terisi penuh dengan logam pengisi. Selain itu, proses pembuatan sambungan tumpul yang mudah, sehingga banyak digunakan dalam dunia industri. Penyambungan logam pada pengelasan harus memperhatikan pemberian panas dan juga kebersihan logam induk yang akan disambung dengan pengelasan, karena jika itu diabaikan maka akan berdampak buruk pada hasil pengelasan ataupun kegagalan pada sambungan las[11], penelitian Arif tentang bahan aluminium AA 5083-H116 banyak dimanfaatkan pada industri perkapalan dalam pilihan utama sebagai bahan material kapal jenis aluminium ini, mengapa demikian, aluminium mempunyai kelebihan pada sifat mekanik dan memiliki ketahanan terhadap korosi yang begitu baik. Bahan aluminium biasanya dipakai juga untuk *engine girder* pada kapal laut. Bahan aluminium AA 5083-H116 adalah bahan paduan Aluminium Magnesium dengan menggunakan sambungan las adalah sesuai. Penelitiannya ini ingin mencapai hasil perbandingan pada sambungan las aluminium AA 5083-H116 dengan melihat bentuk sudut kampuh las yang diberikan yaitu: 60° , 70° , 80° , 90° dengan arus Listrik pengelasan yaitu: 105 ampere, 127 ampere, 130 ampere. menggunakan pengelasan *metal inert gas* (MIG) dengan bahan tambah *filler metal* AWS A5.10 ER5183. Kekuatan *Impact* tertinggi didapat pada sudut kampuh dengan kemiringan 60° [12].

Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan MIG dengan menggunakan bahan aluminium dengan memberikan percobaan pada jenis kampuh V, jenis kampuh X dan jenis kampuh K, serta memberikan percobaan arus listrik pengelasan 150 ampere, 155 ampere dan 160 ampere untuk masing-masing variasi kampuh. Hasil pengelasan kemudian dibentuk spesimen pengujian sesuai standar dan selanjutnya dilakukan pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian SEM-EDX untuk memperoleh nilai informasi tentang hasil kekuatan pada sambungan las.

2. Metode

2.1 Alat dan Bahan

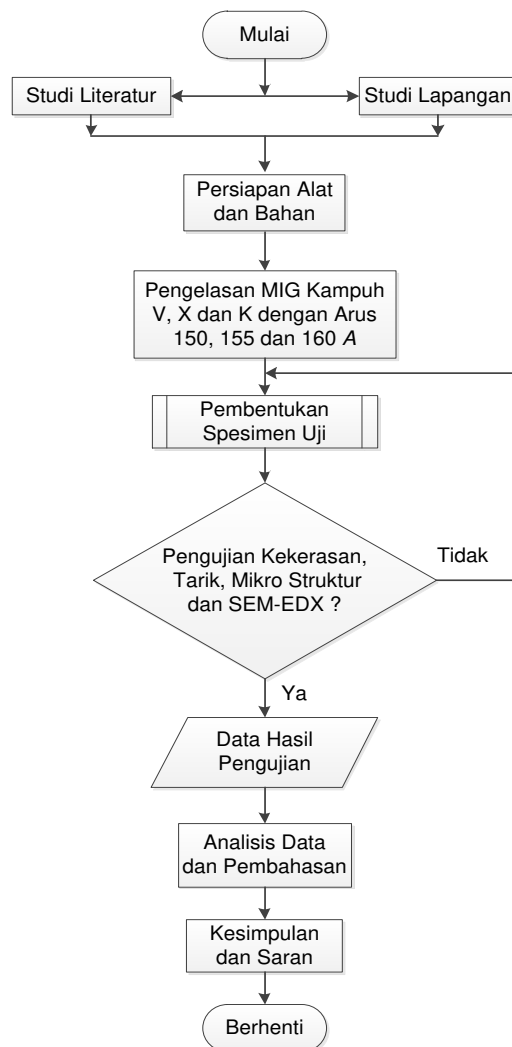
Dalam proses penelitian ini memerlukan beberapa alat dan bahan pendukung dalam mencapai hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan, seperti berikut ini :

Tabel 1 Alat pendukung penelitian

No	Nama
1	Mesin las MIG Saturn 351 DG
2	Mesin uji tarik RTF-2425 UMTI
3	Alat uji kekerasan AFFRI 206 EX
4	Uji SEM-EDX Phenom Pro X

Tabel 2 Bahan pendukung penelitian

No	Nama
1	Elektroda ER 5356 0,1 mm
2	Aluminium Paduan AA 6063



Gambar 1. Diagram alir penelitian

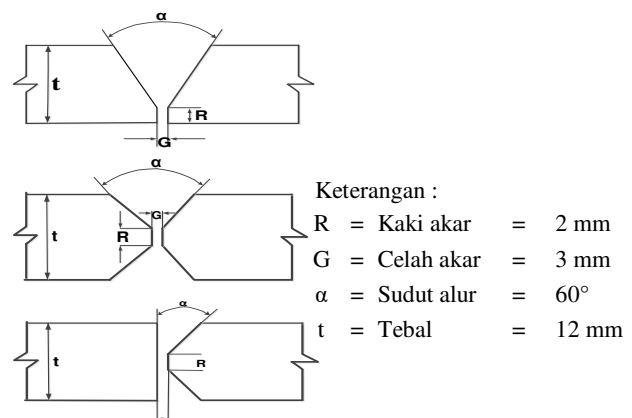
Penelitian diawali dengan mengumpulkan informasi tentang kesesuaian logam induk yang akan disambung menggunakan las MIG dengan bahan tambah yang akan digunakan seperti terlihat pada gambar 1, kemudian standar pengelasan yang dilakukan dengan menggunakan kampuh

las. informasi ini diperoleh dari hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Tahapan selanjutnya adalah mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan selama proses penelitian dilakukan sampai dengan diperoleh data pengujian.

Persiapan yang dilakukan untuk proses pengelasan aluminium, AA 6063 dilakukan terlebih dahulu pembentukan kampuh dengan menggunakan standar ISO 9692-1 2013 seperti terlihat pada gambar 3, selanjutnya variasi kampuh v, kampuh x dan kampuh k dengan masing-masing pengelasan yang diberikan arus listrik sebesar 150 ampere, 155 ampere dan 160 ampere. Kampuh las dan arus listrik pengelasan yang diberikan sesuai informasi yang sudah dikumpulkan pada kajian teoritis. Hasil penyambungan pengelasan kemudian diperiksa dan selanjutnya dipotong untuk membentuk spesimen (gambar 2) sesuai standar ASTM B 557M-02a seperti pada gambar 4 dengan menggunakan mesin CNC untuk hasil yang baik. Spesimen yang sudah terbentuk siap untuk di uji tarik dan sisa lainnya di ambil sampel untuk uji kekerasan dan uji SEM-EDX untuk selanjutnya dilakukan Analisa data hasil pengujian sampai diperoleh hasil penelitian untuk disimpulkan nilai kekuatan sambungan las.



Gambar 2. Plat aluminium 12 mm



Gambar 3. Kampuh standar ISO 9692-1[13]



Gambar 4. Standar uji tarik ASTM B 557M-02a [14]

Keterangan :

- A : 57 mm
- B : 50 mm
- C : 20 mm
- R : 12,5 mm
- L : 200 mm
- W : 12,5 mm

2.2 Prosedur penelitian

Proses penyambungan logam menggunakan las ini adalah MIG (*metal inert gas*) menggunakan mesin las *General Inverter Welder Saturn 351 DG*, dalam proses pengelasan ini dipilih variabel terkontrol yaitu posisi pengelasan dibawah tangan, elektroda yang digunakan ER 5356 diameter 1.0 mm, kecepatan pengelasan 60 cm/menit dan kecepatan gas argon 14 L/menit.

Dari ketiga variasi pengelasan yang akan dilakukan pada bentuk kampuh V, bentuk kampuh X, dan bentuk kampuh K diberikan arus (*ampere*) yang sama yaitu 150 ampere, 155 ampere, dan 160 ampere. Pada pengelasan MIG (*metal inert gas*), arus listrik pengelasan secara langsung berhubungan dengan kecepatan *wire feeder* yang dikontrol oleh motor listrik, jika arus listrik pengelasan dinaikkan maka kecepatan *wire feeder* juga akan ikut naik.

Gambar 5 dibawah menunjukkan hasil pengelasan pada plat aluminium dan spesimen setelah dilakukan pemotongan spesimen untuk selanjutnya akan dibentuk sesuai ukuran standar ASTM B557M-2a dan sesuai dengan mesin uji tarik yang digunakan yaitu RTF-2425 UMTI seperti yang disebutkan pada tabel 1 alat pendukung penelitian .



Gambar 5. Hasil pengelasan dan hasil pemotongan



Gambar 6. Pengujian tarik spesimen

Pada proses pengujian tarik spesimen dimulai dari menekan tombol on pada mesin uji tarik RTF-2425 UMTI kemudian menginformasikan dimensi spesimen untuk dilakukan penginputan data kedalam mesin sebagai bentuk pemenuhan informasi kedalam mesin uji, memasang

penjepit (*holder*) pada posisinya untuk selanjutnya memasang spesimen seperti gambar 6 lalu menekan tombol start, Pengukuran dan pengamatan spesimen sudah dilakukan dan untuk setiap perubahan data dan grafik terlihat pada *view* di monitor komputer, lalu lakukan pengamatan pada monitor *view* untuk memastikan spesimen sudah putus lalu dicatat *extension elongation* atau perpanjangan dan selesai.



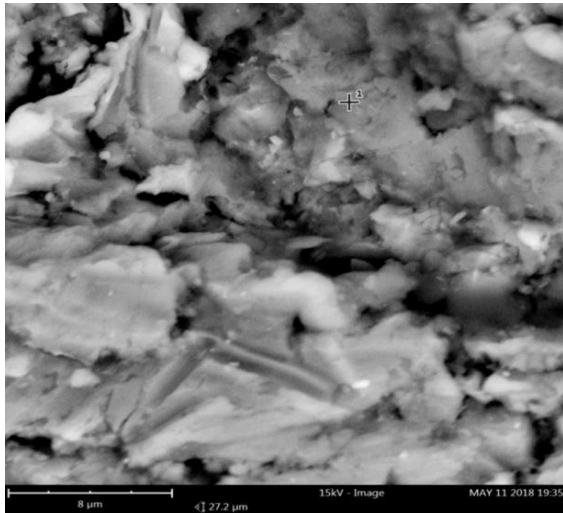
Gambar 7. Pengujian kekerasan spesimen

Prosedur penetapan daerah pengambilan data pada material yang akan diuji terlebih dahulu dilakukan pemolesan spesimen untuk melihat batas daerah *weld metal* dan HAZ. Sifat mekanik adalah sifat yang mempengaruhi kekuatan mekanik logam. Beberapa sifat mekanik yang khas menunjukkan penerapan yang sangat besar di industri luar angkasa dan otomotif. Sifat mekanik berkaitan langsung dengan kemampuan bahan untuk menahan gaya mekanis dan beban dilihat dari karakteristik saat terkena suatu kekuatan[15]. Pada proses pengujian kekerasan harus sesuai prosedur berdasarkan pedoman penggunaan mesin. Menekan tombol ON pada instalasi mesin lalu atur pembebanan pada posisi 980 N sesuai dengan jenis pengujian kekerasan *Rockwell*, nilai kekerasan suatu bahan ditentukan oleh bekas indenter dan kedalaman indenter, maka metode *Rockwell* merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*)[16]. Metode *Rockwell* skala B (HRB) kemudian memasang indenter bola baja dan memasang spesimen uji seperti gambar 7 kemudian diberikan penekanan selama 10 detik lalu mengambil data yang terbaca pada monitor.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian SEM-EDX

Hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dengan pembesaran 10000x, gambar hasil pengujian kemudian ditentukan sampel pengujian yaitu kampuh V arus 155 A, kampuh X arus 150 A, kampuh K arus 160 A, dan logam murni tanpa pengelasan, sampel yang dipilih adalah nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil pengujian dengan setiap kampuh las dianggap terwakilkan. Untuk pengujian EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) dipilih kampuh V arus 155 A dengan spot pengambilan sampel pada daerah *weld metal* dengan tujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi persentase kandungan senyawa daerah *weld metal*, daerah HAZ (*heat affected zone*) dan logam tanpa las.

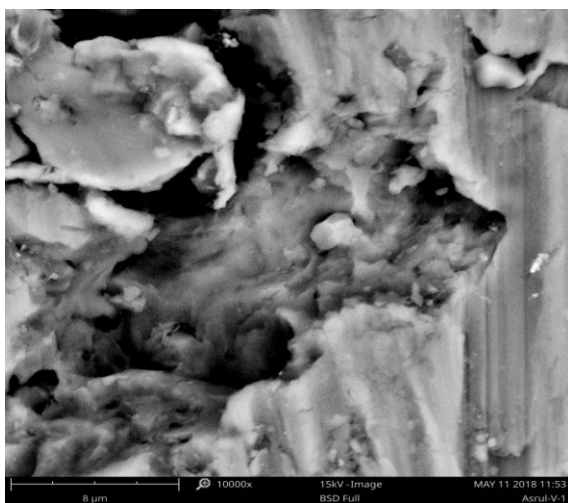


Gambar 8. Hasil foto SEM logam tanpa las

Tabel 3 Hasil EDX logam tanpa las

Atomic Number	Element Symbol	Element Name	Concentration percentage (%)	Certainty
13	Al	Aluminium	91,8	0,99
14	Si	Silicon	6,5	0,94
12	Mg	Magnesium	1,7	0,93

Dari hasil yang didapatkan dari pengujian SEM-EDX seperti pada gambar 8 dan tabel 3 memberikan informasi bahwa material aluminium dengan kandungan senyawa yang keluar dari hasil pengujian EDX yaitu aluminium paduan Al-Mg-Si. Jadi klasifikasi material aluminium yang digunakan dalam pengelasan MIG (*metal inert gas*) dalam penelitian ini adalah AA6063 Sesuai dengan standar penamaan Aluminium Association di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*aluminium company of america*) [17].

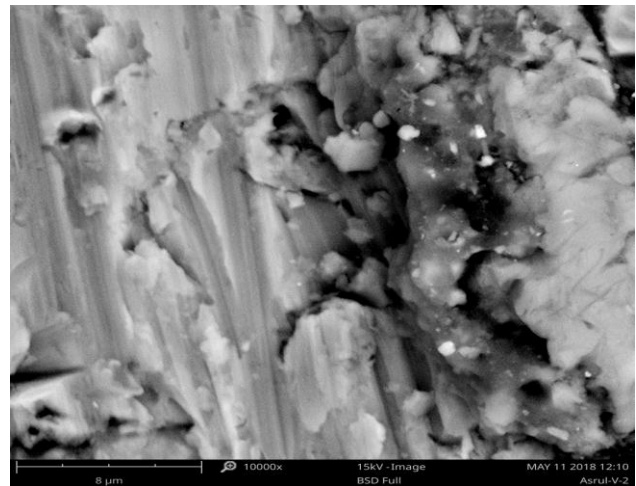


Gambar 9. Hasil foto SEM daerah weld metal kampuh V

Tabel 4 hasil pengujian EDX

Atomic Number	Element Symbol	Element Name	Concentration Percentage (%)	Certainty
13	Al	Aluminium	94,0	0,99
12	Mg	Magnesium	4,2	0,97
14	Si	Silicon	1,9	0,90

Dari hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) pada gambar 9 diatas, diperoleh hasil dan informasi jumlah kandungan senyawa dalam logam pengisi atau *weld metal* seperti pada tabel 4 yang menggunakan elektroda ER 5356 sesuai dengan material logam induk yang digunakan dalam pengelasan menggunakan (*metal inert gas*) MIG yaitu aluminium paduan Al-Mg-Si. Hal ini dibuktikan dari hasil pengujian SEM-EDX pada Tabel 4. Dari pengamatan gambar struktur hasil pengujian SEM pada Gambar 8 atau daerah *weld metal* menunjukkan adanya porositas yang begitu jelas dan juga bentuk butiran struktur yang tidak sama dengan yang lainnya.

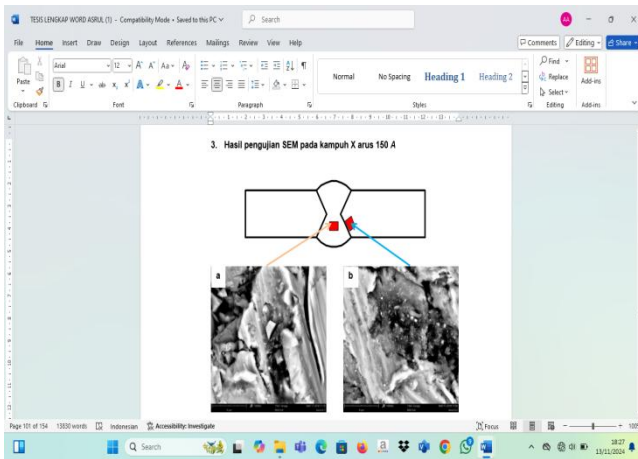


Gambar 10. Hasil foto SEM daerah Haz Kampuh V

Tabel 5 Hasil Pengujian EDX

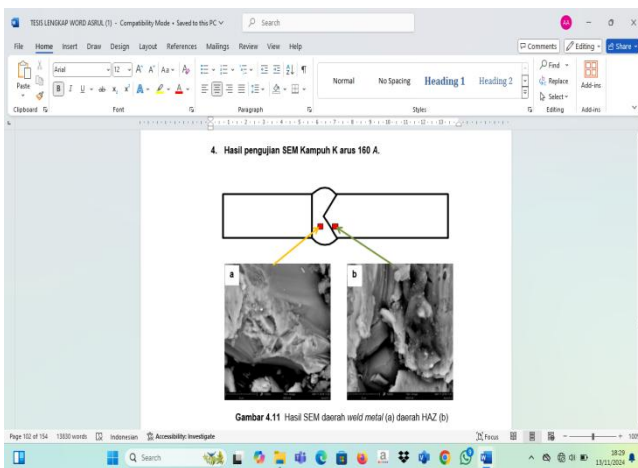
Atomic Number	Element Symbol	Element Name	Concentration Percentage (%)	Certainty
13	Al	Aluminium	82,5	0,99
14	Si	Silicon	14,4	0,98
12	Mg	Magnesium	3,1	0,97

Dari hasil pengujian SEM dan EDX pada Gambar 10 menunjukkan pada daerah (HAZ) terjadi pengaruh panas dari daerah pengelasan yang membuat Mg-Si yang terbentuk setelah pengelasan. Perubahan kandungan senyawa juga berubah dari pengujian logam tanpa las seperti pada Tabel 5 menunjukkan perubahan pada kandungan senyawa aluminium yang menurun 9,8% kandungan senyawa silikon naik 7,5% dan kandungan senyawa magnesium naik 1,4% atau perbedaan terlihat pada Tabel 4 dan 5



Gambar 11. Hasil foto SEM (a)weld metal (b)HAZ kampuh X

Dari hasil foto SEM pada Gambar 11 diatas terlihat porositas dan crack pada daerah (a) *weld metal* pada pembesaran 10000x, penyebab dari cacat las diatas adalah kurangnya pemanasan atau arus yang diberikan pada saat pengelasan atau faktor dari adanya pengotor pada logam yang akan dilas.



Gambar 12. Hasil foto SEM (a)weld metal (b)HAZ kampuh K

Dari hasil pengujian SEM pada gambar 12 di atas dipilih spot sampel pada daerah (a) *weld metal* dan daerah (b) HAZ saja untuk memperoleh informasi bagaimana perbandingan struktur dari kedua daerah sampel tersebut. Hasil foto SEM yang terlihat secara langsung pada daerah *weld metal* yang mengalami porositas dan memiliki susunan struktur mikro yang tidak beraturan, dibandingkan dengan daerah HAZ pola susunan struktur lebih kecil dan lebih rapat namun terlihat terjadi porositas kecil pada daerah HAZ akibat pengaruh panas yang berlebihan dari proses pengelasan tersebut.

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

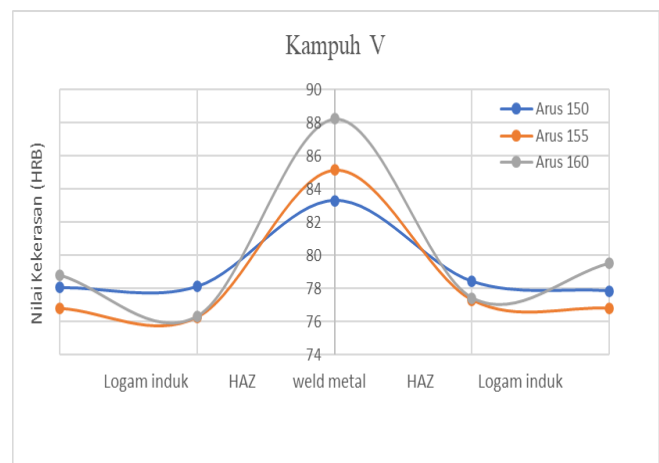
Dari hasil uji kekerasan yang dilakukan diperoleh data seperti pada tabel 6 dengan menggunakan standar deviasi pada data hasil pengujian dengan tujuan menghindari loncatan nilai yang terlalu jauh dari masing-masing data yang diperoleh dalam setiap titik pengujian spesimen seperti

pada gambar 7 yang menunjukkan titik pengambilan nilai kekerasan.

Tabel 6 Nilai kekerasan (HRB) pada kampuh V

Arus (A)	Logam Induk (HRB)	HAZ (HRB)	Weld Metal (HRB)	HAZ (HRB)	Logam Induk (HRB)
150 average	77,86	77,96	82,10	77,14	77,86
Standar Deviasi	0,45	0,45	3,63	2,95	0,50
Average-SD	77,41	77,51	78,47	74,19	77,36
Data Rata-rata Sortir	78,05	78,13	83,31	78,43	77,86
155 Average	76,16	75,06	83,04	76,44	75,24
Standar Deviasi	2,15	3,36	5,44	2,15	3,93
average-SD	74,01	71,70	77,60	74,29	71,31
Data Rata-rata Sortir	76,80	76,28	85,14	77,30	76,80
160 Average	78,52	74,36	87,02	76,24	77,98
Standar Deviasi	0,75	4,80	2,86	4,01	3,59
average-SD	77,77	69,56	84,16	72,23	74,39
Data Rata-rata Sortir	78,80	76,33	88,24	77,43	79,53

Hasil pengujian kemudian diperoleh data rata-rata sortir yang akan dijadikan acuan dalam pengamatan dengan menggunakan gambar 13.



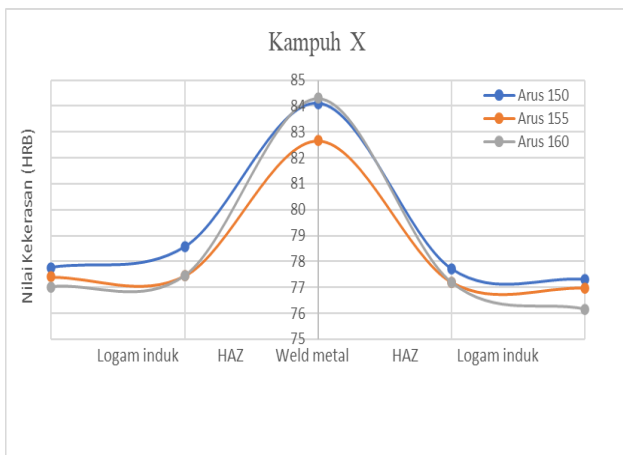
Gambar 13. Grafik nilai kekerasan (HRB) kampuh V

Berdasarkan pada tabel 6 di atas dibuat grafik yang bisa memperlihatkan nilai kekerasan tertinggi pada kampuh V menggunakan 3 variasi arus listrik pengelasan, nilai kekerasan tertinggi pada arus listrik 160 ampere yaitu 88,24 (HRB) disebabkan penetrasi yang diberikan semakin besar dan proses pelelehan logam pengisi juga mendapatkan panas yang cukup. Namun daerah yang terpengaruh panas mengalami penurunan nilai kekerasan akibat panas yang berlebih untuk arus listrik 160 ampere, ini menunjukkan bahwa panas pada pengelasan logam aluminium memang harus diberikan namun tetap terkontrol untuk hasil yang lebih baik lagi.

Tabel 7 Nilai kekerasan (HRB) pada kampuh X

Arus (A)	Logam Induk (HRB)	HAZ (HRB)	Weld Metal (HRB)	HAZ (HRB)	Logam Induk (HRB)
150 average	77,65	78,56	84,03	77,60	77,30
Standar	0,52	1,46	1,29	0,32	0,32
Deviasi					
Average-SD	77,13	77,10	82,74	77,28	76,98
Data Rata-rata Sortir	77,77	78,56	84,10	77,70	77,30
155 Average	77,40	77,00	82,41	76,18	76,98
Standar	0,83	1,25	1,17	2,34	0,40
Deviasi					
average-SD	76,57	75,75	81,24	73,84	76,58
Data Rata-rata Sortir	77,40	77,45	82,67	77,20	76,98
160 Average	79,18	76,72	84,38	78,08	75,66
Standar	4,25	2,67	2,58	1,27	1,18
Deviasi					
average-SD	74,93	74,05	81,80	76,81	74,48
Data Rata-rata Sortir	77,30	77,45	84,30	77,18	76,15

Dari hasil uji kekerasan yang dilakukan diperoleh data seperti pada tabel 7 dengan menggunakan standar deviasi pada data hasil pengujian dengan tujuan menghindari loncatan nilai yang terlalu jauh dari masing-masing data yang diperoleh dalam setiap titik pengujian specimen seperti pada gambar 7 yang menunjukkan titik pengambilan nilai kekerasan. Hasil pengujian kemudian diperoleh data rata-rata sortir yang akan dijadikan acuan dalam pengamatan dengan menggunakan gambar 14.



Gambar 14. Grafik nilai kekerasan (HRB) kampuh X

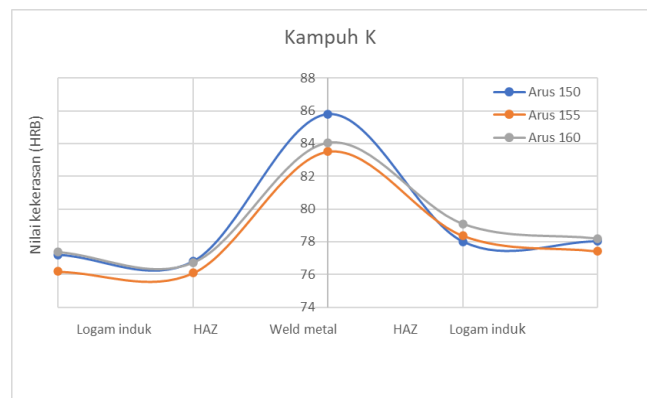
Berdasarkan pada tabel 7 dibuat grafik yang bisa memperlihatkan nilai kekerasan tertinggi pada kampuh X menggunakan 3 variasi arus listrik pengelasan, nilai kekerasan tertinggi pada arus listrik 160 ampere yaitu 84,30 (HRB) pada daerah *weld metal* akibat penetrasi yang diterima langsung dari proses pelelehan logam las ke logam induk, namun terlihat nilai kekerasan pada arus listrik 150 ampere yaitu 84,10 juga menunjukkan nilai kekerasan meningkat akibat pengisian logam las dilakukan bolak balik karena menggunakan kampuh X, namun terlihat perbedaan pengaruh nilai kekerasan pada daerah HAZ sampai ke logam

induk bahwa pengaruh panas pengelasan dipengaruhi oleh pemberian arus listrik pengelasan.

Tabel 8 Nilai kekerasan (HRB) pada kampuh K

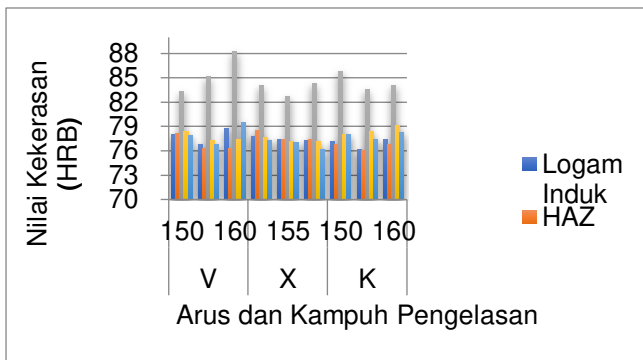
Arus (A)	Logam Induk (HRB)	HAZ (HRB)	Weld Metal (HRB)	HAZ (HRB)	Logam Induk (HRB)
150 average	77,30	76,94	84,21	78,08	78,12
Standar	0,34	0,93	2,99	0,41	0,38
Deviasi					
Average-SD	76,96	76,01	81,22	77,67	77,74
Data Rata-rata Sortir	77,20	76,80	85,79	78,00	78,03
155 Average	76,18	76,36	83,18	78,04	77,46
Standar	0,38	0,84	2,85	0,97	0,50
Deviasi					
average-SD	75,80	75,52	80,33	77,07	76,96
Data Rata-rata Sortir	76,18	76,10	83,51	78,38	77,43
160 Average	77,54	76,84	86,42	79,08	78,32
Standar	0,71	0,39	3,17	0,72	0,37
Deviasi					
average-SD	76,83	76,45	81,25	78,36	77,95
Data Rata-rata Sortir	77,38	76,73	84,07	79,10	78,20

Dari hasil uji kekerasan yang dilakukan diperoleh data seperti pada tabel 8 dengan menggunakan standar deviasi pada data hasil pengujian dengan tujuan menghindari loncatan nilai yang terlalu jauh dari masing-masing data yang diperoleh dalam setiap titik pengujian specimen seperti pada gambar 7 yang menunjukkan titik pengambilan nilai kekerasan. Hasil pengujian kemudian diperoleh data rata-rata sortir yang akan dijadikan acuan dalam pengamatan dengan menggunakan gambar 15.



Gambar 15. Grafik nilai kekerasan (HRB) kampuh K

Berdasarkan pada tabel 8 diatas dibuat grafik yang bisa memperlihatkan nilai kekerasan tertinggi pada kampuh K menggunakan 3 variasi arus listrik pengelasan, nilai kekerasan tertinggi pada arus listrik paling rendah yaitu 150 ampere yaitu 85,79 (HRB) pada daerah *weld metal* akibat arus listrik yang sesuai untuk kampuh K, namun kampuh kampuh V justru membutuhkan arus listrik yang lebih besar untuk hasil kekerasan yang lebih tinggi, dan kampuh X ada pada posisi ditengah untuk pemberian arus listrik pengelasan yang sesuai.



Gambar 16. Grafik nilai kekerasan terhadap variasi arus dan kampuh pengelasan

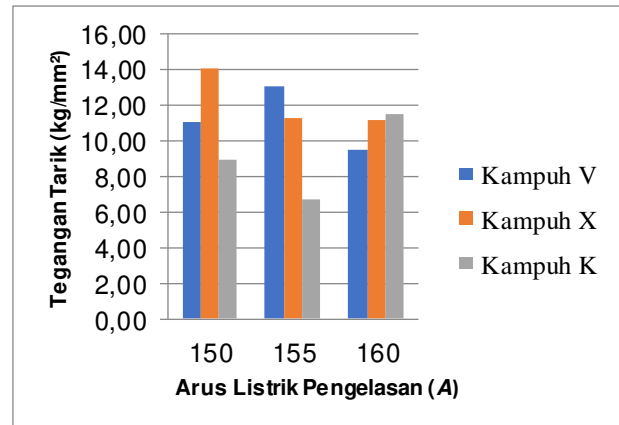
Dari hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Rockwell* pada kampuh V, kampuh X dan kampuh K diperoleh hasil seperti pada Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8 data dari hasil pengujian menunjukkan pengaruh kuat arus listrik (*ampere*) pengelasan diperoleh nilai kekerasan pada daerah logam induk, HAZ dan *weld metal*. Semakin banyak kadar Mg-Si kekerasan semakin meningkat tetapi keuletan akan berkurang. Seperti pada hasil pengujian diperoleh hasil nilai rata-rata menunjukkan pada daerah terpengaruh panas yaitu daerah HAZ mengalami penurunan nilai kekerasan sebanding dengan pemberian variasi kuat arus pada proses pengelasan, dari ketiga variasi kampuh diatas memperlihatkan karakteristik masing-masing pada proses pengelasan dengan nilai kekerasan yang berbeda-beda namun tidak nampak terlalu signifikan nilainya. Lihat tabel 6 dan Gambar 16 untuk hasil pengujian nilai kekerasan dari kampuh V menunjukkan peningkatan nilai kekerasan sesuai arus yang diberikan.

3.3 Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan pada data hasil pengujian tarik dari semua spesimen diperoleh hasil pengujian dengan nilai rata-rata seperti dalam tabel 9 menunjukkan hasil kekuatan sambungan las MIG pada aluminium AA 6063 didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 20,663 kN pada kampuh X dengan arus listrik 150 ampere, kekuatan sambungan las paling rendah 9,993 kN ditunjukkan pada kampuh K dengan arus listrik 155 ampere. Begitu juga dengan hasil tegangan tarik dan regangan tarik yang nilainya mengikuti dari hasil kekuatan tarik walaupun tidak memiliki perubahan yang konstan.

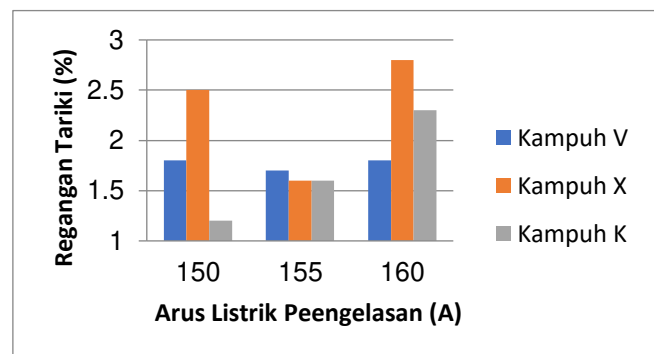
Tabel 9 Hasil rata-rata pengujian kekuatan tarik

Material	Jenis Kampuh dan Arus (A) Pengelasan	Kekuatan Tarik (kN)	Tegangan Tarik (kg/mm ²)	Regangan Tarik (%)	
Aluminium Paduan	V	150	16,980	11,06	1,8
		155	19,168	13,03	1,7
		160	13,942	9,47	1,8
	X	150	20,663	14,05	2,5
		155	16,638	11,31	1,6
		160	16,553	11,13	2,8
	K	150	13,247	9,00	1,2
		155	9,933	6,75	1,6
		160	16,987	11,54	2,3



Gambar 17. Grafik tegangan tarik terhadap arus listrik pengelasan

Dari data pengujian diatas diperoleh hasil kekuatan tarik pada Gambar 17 yang menunjukkan nilai tegangan tarik tertinggi adalah pada kampuh X dengan menggunakan arus 150 ampere sebesar 14,05 kg/mm², kemudian nilai tertinggi kedua pada kampuh V dengan menggunakan arus 155 ampere sebesar 13,03 kg/mm² dan kekuatan tarik paling rendah diperoleh pada kampuh K dengan menggunakan arus 160 ampere sebesar 6,75 kg/mm². Tabel 9 menunjukkan hasil regangan tertinggi 2,8 % dari variasi kampuh X dengan variasi arus 160 ampere, tegangan terendah 1,2 % pada variasi kampuh K dengan variasi arus 150 ampere.



Gambar 18. Grafik regangan tarik terhadap arus pengelasan

Pengujian tarik yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa regangan tarik sambungan las MIG dengan menggunakan bahan aluminium dan diberikan variasi kampuh pengelasan dan kuat arus listrik terlihat seperti pada gambar grafik 18 bahwa pemberian arus dengan model kampuh sangat berpengaruh akibat panas yang diterima dalam proses pengelasan. nilai regangan tarik tertinggi adalah 2,8% pada kampuh X dengan arus listrik yang diberikan 160 ampere dan nilai regangan paling rendah adalah 1,2% pada kampuh K dengan arus listrik yang diberikan adalah 150 ampere.

4. Kesimpulan

Pengaruh variasi kampuh terhadap kuat arus listrik terlihat dari hasil pengujian tarik, kampuh X mendapat nilai tegangan tarik maksimum yaitu 14,05 kg/mm² pada arus 150 ampere, kampuh V mendapat nilai kekerasan tertinggi pada

daerah *weld metal* dengan nilai 88,24 HRB. Hubungan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tiap kampuh memiliki kebutuhan arus listrik pengelasan yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang maksimal, hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kampuh V pada arus 155 ampere, kampuh X pada arus 150 ampere dan kampuh K pada arus 160 ampere. Hasil ini menunjukkan pada kampuh X adalah lebih baik dari kampuh V dan kampuh K.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan yaitu : LPPM Politeknik kotabaru, Balai Latihan Kerja Industri Makassar, Kepala laboratorium pengujian bahan Universitas Muslim Indonesia dan Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang.

Daftar Pustaka

- [1] G. Mathers, *The welding of aluminium and its alloys*. CRC Press ; Woodhead Pub., 2002.
- [2] M. Khusaini, F. Fadelan, and Y. Winardi, "Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Mig (Metal Inert Gas) Aluminium 6061," *AutoMech J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 01, pp. 25–29, 2021, doi: 10.24269/jtm.v1i01.4271.
- [3] M. Olabode, *Weldability Of High Strength*. 2015.
- [4] Zamzani, U. Budiarto, and S. Jokosisworo, "Pengaruh Variasi Temperatur PWHT Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Struktur Mikro Aluminium 6061 Pasca Pengelasan MIG," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 2, pp. 13–21, 2023.
- [5] E. D. Susatyo and N. Y. Nugroho, "Vol . 4 No . 2 Februari 2023 sifat mekanik aluminium 5052 pada pengelasan mig dengan variasi ukuran backing ceramic," *J. Jalasena*, vol. 4, no. 2, pp. 114–121, 2023.
- [6] I. Sabry, A. H. I. Mourad, and D. T. Thekkuden, "Optimization of metal inert gas-welded aluminium 6061 pipe parameters using analysis of variance and grey relational analysis," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-1943-9.
- [7] U. S. Jati, D. Prabowo, D. Hastuti, and L. Van Gunawan, "Inspeksi Sambungan Rangka Mobil Listrik Tipe Tubular Space Frame Menggunakan Las GMAW dengan Cairan Liquid Penetrant," vol. 15, no. 01, pp. 200–204, 2024, doi: 10.35970/infotekmesin.v15i1.2163.
- [8] A. S. Baskoro, M. A. Amat, S. P. D. Simatupang, Y. Abrara, and A. Widianto, "Chemical Composition of AA6063 in Tungsten Inert Gas Welding with Intermittent Controlled Wire Feeding Method," 2021.
- [9] S. Sulistyono, I. Hariz, and S. Kh, "Pengaruh Voltase dan Stick Out terhadap Cacat Permukaan Las MIG Butt Joint Aluminium 6063," vol. 19, no. 2, pp. 293–298, 2024.
- [10] D. N. Coniglio, *Aluminum Alloy Weldability : Identification of Weld Solidification Cracking Mechanisms through Novel Experimental Technique and Model Development*. 2008.
- [11] Y. Burhanuddin, C. Purba, and Tarkono, "Pengaruh variasi kampuh las tumpul terhadap ketangguhan impak dan kekerasan hasil pengelasan metal inert gas pada aluminium 5083," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 18, no. 1, pp. 70–75, 2023, doi: 10.36289/jtmi.v18i1.430.
- [12] Joni Arif and Koswara, "Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Terhadap Sifat Mekanis Pada Sambungan Las Aluminium 5083 Engine Girder Kapal Laut," *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 54–62, 2021, doi: 10.37373/tekno.v8i1.63.
- [13] T. Standard, "Welding and allied processes-Types of joint preparation-Part 1:(E) ii COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT," vol. 2013, 2013.
- [14] Astm, "Standard Test Method for iTeh Standards iTeh Standards Document Preview," *ASTM Int.*, vol. 1, no. October, pp. 5–7, 2010.
- [15] L. Van Gunawan, P. S. Andika, T. Endramawan, and ..., "Analisis Pengaruh Variasi Suhu Tempering Pada Sifat Mekanik Baja ASTM A36 Setelah Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda E 7016," ..., vol. 15, no. 01, pp. 187–193, 2024, doi: 10.35970/infotekmesin.v15i1.2144.
- [16] F. M. Rusdi and H. Istiqlaliyah, "Study of the Effect of Welding Current Variations on Joint Strength and Microstructure of Cracker Lontongan Chopper Machine," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 2, p. 120, 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.120-129.
- [17] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*, vol. 4, no. PT. Pradnya Paramita, Jakarta. 1999. doi: PT. Pradnya Paramita. Jakarta.