



ANALISIS PENGARUH VARIASI LOGAM PENGISI (*FILLER*) PADA PROSES PENGELASAN GTAW PADUAN ALUMINIUM TERHADAP UJI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Riadini Wanty Lubis^a, Surya Dharma^{b*}, Rahmawaty^c, Rihat Sebayang^c, Nisfan Bahri^b, M. Aldi Aditya^b

^aJurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri, Medan, 20238, Indonesia,

^bProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^cProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

*Corresponding authors at: e-mail: suryadharma@polmed.ac.id (S. Dharma) Tel: +62 813-6131-3004

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 16 Mei 2024

Direvisi pada 30 Agustus 2024

Disetujui pada 31 Agustus 2024

Tersedia daring pada 06 September 2024

Kata kunci:

Filler ER 5356, Filler ER 4043, GTAW, Aluminium 6061

Keywords:

Filler ER 5356, Filler ER 4043, GTAW, Aluminium 6061

ABSTRAK

Paduan Aluminium pada umumnya digunakan untuk automotif maupun alat-alat konstruksi. Pada perancangan konstruksi menggunakan material paduan Aluminium, banyak melibatkan unsur pengelasan dengan sambungan las sebagai alternatif untuk menyambung bagian-bagian tertentu. Pembuatan sambungan las secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Penelitian menggunakan metode eksperimen. Pengelasan GTAW menghasilkan manik las yang rapih dan tidak menghasilkan spatter atau percikan logam las yang menempel pada logam induk. Dari hasil pengelasan dengan filler ER 4043 dan ER 5356 nilai kekerasannya tidak berbeda jauh. Nilai kekerasan pengelasan dengan filler ER 5356 pada daerah HAZ lebih besar dibandingkan pada pengelasan dengan filler ER 4043. filler ER 5356 tidak mengalami distorsi ataupun cacat visual, sedangkan pada variasi filler ER 4043 mengalami distorsi, Pengelasan dengan filler ER 5356 hasil nilai tertingginya 70,6 HVN sedangkan pengelasan dengan filler ER 4043 hasil nilai tertingginya 69,9 HVN, pada variasi filler ER 5356 dan ER 4043 di perbesaran 50x, 200x, 500x, di daerah base metal, haz dan weld area.

ABSTRACT

Aluminum alloy that is commonly used for automotive and construction equipment. In construction design using Aluminum alloy materials, many involve welding elements with welding joints as an alternative to connecting certain parts. Making welding joints technically requires high skills for the welders to obtain good quality joints. The research used an experimental method. GTAW welding produces a neat weld bead and does not produce spatter or splash of weld metal attached to the parent metal. From the welding results with ER 4043 and ER 5356 fillers, the hardness value is not much different. The hardness value of welding with ER 5356 filler in the HAZ region is greater than that of welding with ER 4043 filler. ER 5356 filler does not experience distortion or visual defects, while the ER 4043 filler variation experiences distortion, welding with ER 5356 filler results in the highest value of 70.6 HVN while welding with ER 4043 filler results in the highest value of 69.9 HVN, in the ER 5356 and ER 4043 filler variations at 50x, 200x, 500x magnification, in the base metal, haz and weld area.

1. PENGANTAR

Indonesia saat ini mengalami kemajuan dalam bidang indutsri manufaktur. Data dari Word Bank pada tahun 2017 menyatakan Indonesia menduduki peringkat ke-5 di dunia dalam berkontribusi di sektor manufaktur terhadap perekonomian negara di atas rata-rata yaitu sebesar 0,21%. Dalam data lain menunjukkan sektor manufaktur pada Produk Domestik Bruto (PDB) merupakan yang terbesar di kawasan negara Asia (Rahmatika dkk, 2019).

Aluminium merupakan paduan Aluminium yang umumnya digunakan untuk automotif maupun alat-alat konstruksi. Pada perancangan konstruksi menggunakan material paduan Aluminium, banyak melibatkan unsur pengelasan dengan sambungan las sebagai alternatif untuk menyambung bagian-bagian tertentu. Pembuatan sambungan las secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Salah satu sambungan las cacat lambat laun akan menimbulkan rusaknya sambungan yang lain dan akhirnya konstruksi dapat runtuh yang menyebabkan kerugian materi yang tidak sedikit bahkan juga korban jiwa. Kualitas pengelasan yang baik tentunya juga digunakan suatu metode pengelasan yang sesuai. Salah satunya adalah metode

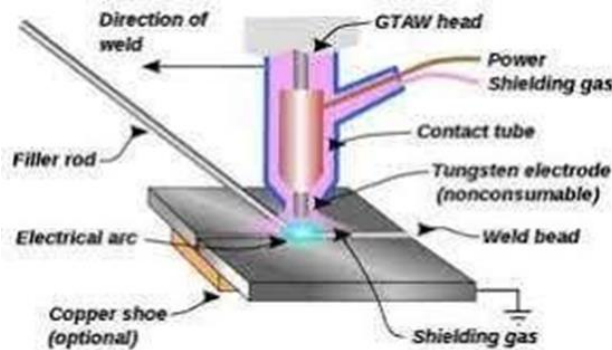
pengelasan GTAW. Pengelasan GTAW dipilih karena hasil pengelasan tersebut lebih bersih, kuat, dan di samping itu dapat digunakan pada material non ferro seperti Aluminium (Al) (Wicaksono dkk, 2019).

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) ialah merupakan salah satu dari bentuk arc welding (las busur listrik) disamping metal arc dengan menggunakan inert gas sebagai pelindung. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) sering disebut juga Tungsten Inert Gas (TIG), yang menggunakan Tungsten dan wolfram sebagai elektroda. Pada pengelasan jenis ini logam pengisi dimasukkan kedalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk (Haliq & Raharjo, 2018).

Berdasarkan hal tersebut maka dari itu dilakukan penelitian pengaruh logam pengisi (filler) dalam proses pengelasan GTAW material aluminium dengan tujuan untuk mengetahui sifat mekanik pada logam induk pada daerah lasan. Sifat mekanik yang akan dianalisis adalah uji kekerasan dan struktur mikro, Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium seri 6061 dengan logam pengisi filler ER 4043 dan ER 5356. Kuat arus adalah 140 A.

1.1. Pengelasan GTAW

GTAW atau sering juga disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) yang menggunakan *inert gas* sebagai pelindung dengan *tungsten* atau *wolfram* sebagai penghantar arus listrik untuk menghasilkan las. Daerah las dilindungi Gas pelindung yang biasa digunakan pada GTAW adalah gas mulia Argon (Ar) dan Helium (He), atau campuran keduanya. fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi logam las dari kontaminasi udara luar, disamping itu juga sebagai fluida pendingin *elektrode tungsten*. Argon adalah gas mulia yang stabil, sulit bereaksi dengan unsur lainnya. Argon sebagai gas pelindung membuat busur lebih stabil dan percikan berkurang. Argon lebih mudah mengion atau terionisasi dibandingkan dengan Helium, sehingga Argon dapat dianggap sebagai konduktor listrik. Konduktivitas panas Argon rendah, menyebabkan pengaliran panas melalui busur lambat. oleh sebab itu *flow rate* yang digunakan untuk pengelasan GTAW 7-16 L/min. Helium merupakan gas mulia yang tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Konduktivitas panas Helium lebih tinggi dari Argon, sehingga pemindahan panas melalui busur lebih besar, akibatnya Helium lebih cocok untuk proses pengelasan logam yang lebih tipis, dan logam yang mempunyai konduktivitas panas yang tinggi seperti aluminium, tembaga, magnesium, dll. Tegangan busur lebih tinggi jika menggunakan Helium dan banyak terjadi percikan serta penetrasi yang dihasilkan dangkal. *flow rate* yang digunakan pada pengelasan GTAW 14-24 L/min. GTAW mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam mampu las. Dalam Hal ini disebabkan pengelasan menggunakan las GTAW banyak sekali dibutuhkan tidak hanya untuk pengelasan baja karbonsaja melainkan juga digunakan untuk pengelasan stainless steel maupun aluminium (Herizal, Hasrin, & Hanif, 2020).



Gambar 1: Skema Pengelasan

1.2. Aluminium 6061

Dalam ilmu metalurgi dikenal dengan istilah aluminium murni dan aluminium paduan (*alloy*). Aluminium paduan adalah perpaduan antara logam aluminium dengan logam lainnya. Salah satunya adalah aluminium 6061 yang sering diaplikasikan pada berbagai jenis produk teknologi. Memiliki sifat mekanik yang cukup baik menjadikan aluminium tipe 6061 sebagai bahan material pilihan. Dengan tingkat ketahanan korosi yang tinggi, ringan, awet, dan tahan lama. Banyak jenis produk yang menggunakannya mulai dari kemasan hingga konstruksi. Namun, tidak semua bagian dari produk menggunakan tipe 6061 karena, penggunaannya akan disesuaikan dengan sifat mekanik dan ketahanan yang dimiliki. Sehingga akan sangat penting untuk mengetahui karakteristik dari aluminium tipe 6061 sebelum pengaplikasiannya. Dengan mengetahui karakteristik dari tipe 6061 dan cocok digunakan untuk pengaplikasian apa saja. Tentu akan sangat mengefisiensikan penggunaan material untuk berbagai jenis produk. Karena aluminium tipe 6061 memiliki banyak manfaat untuk berbagai kebutuhan terutama dalam bidang produksi.

Tabel 1. Komposisi Kimia Paduan Aluminium

Elemen	%
Silicon (Si)	0,4 – 0,8
Magnesium (Mg)	0,8 – 1,2
Manganese (Mn)	0,0 – 0,15
Iron (Fe)	0,0 – 0,7
Chromium (Cr)	0,04 – 0,35
Zinc (Zn)	0,0 – 0,25
Titanium (Ti)	0,0 – 0,15
Other	0,0 – 0,15

1.3. Logam Pengisi (filler)

Pada proses pengelasan GTAW atau TIG elektroda merupakan bahan tak habis pakai (nonconsumable) sehingga memerlukan bahan tambah untuk mengisi kampuh logam lasan, bahan ini yang sering disebut dengan (filler rod). Bahan tambah ini berupa logam pengisi (filler metal) yang digunakan untuk mengisi kampuh pada proses pengelasan GTAW atau TIG. Filler yang digunakan seri ER 4043 dan ER 5356. “ER” mengacu pada “Electrode Rod” atau batang elektroda dalam bahasa Indonesia. Ini menunjukkan bahwa filler ini digunakan dalam proses pengelasan. ER 4043, “40” mengacu pada komposisi kimia dari filler tersebut. Pada kasus ER 4043, ini menunjukkan bahwa filler ini terbuat dari aluminium “4” menunjukkan kualitas dan kekuatan mekanis filler tersebut. ER 4043 termasuk dalam kategori filler aluminium dengan kekuatan menengah. “3” mengindikasikan kelas aluminium yang dapat diisi oleh filler tersebut. ER 4043 digunakan untuk pengelasan dan pengisi logam pada aluminium seri 6XXX, seperti 6061 dan 6063. Sedangkan ER 5356, “53” mengacu pada komposisi kimia dari filler tersebut. Pada kasus ER 5356, ini menunjukkan bahwa filler ini terbuat dari aluminium-magnesium. “5” menunjukkan kualitas dan kekuatan mekanis filler tersebut. ER 5356 termasuk dalam kategori filler aluminium dengan kekuatan menengah. “6” mengindikasikan kelas aluminium yang dapat diisi oleh filler tersebut. ER 5356 digunakan untuk pengelasan dan pengisi logam pada aluminium kelas 5XXX, seperti 5052, 5083, dan 5086. Di bawah ini merupakan Tabel yang menunjukkan berapa besar arus dan diameter logam pengisi yang harus digunakan.

Tabel 2. Besar Arus untuk Diameter Logam Pengisi

Diameter Batang Logam Pengisi(mm)	Arus Pengelasan (Ampere)
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

Pemilihan logam pengisi harus sangat diperhatikan dan dipertimbangkan dengan baik, hal tersebut berguna agar hasil akhir dari sambungan las sesuai yang diharapkan dengan memiliki sifat ketangguhan yang tinggi serta meminimalisir kecacatan yang terjadi. Berikut ini Tabel untuk melihat kesesuaian logam pengisi terhadap logam induk:

Tabel 3. Kesesuaian Logam Pengisi dan Logam Induk

Logam induk	AC4D	AC4C ADC1 2	AC7A	A7N O1	6061 6063 6101 6151	5056	5154	5083	5052	5005 ASNO 1	1100 1200 3003 3203	1060 1070
1060	-	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 1100	ER 1100	ER 1070
1100	-	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 5356	ER 4043	ER 4043	ER 1100	
1200												
3003												
3203												
5005 ASNO 1	ER 4043	ER 4043	ER 5154	ER 5356	ER 4043	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 4043	ER 4043		
5052	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 4043	ER 5154		
5083	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5183				
5154	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5154					
5056	-	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356	ER 5356						

6061
6063 ER 4043 ER 4043 ER 5356 ER 5356 ER
6101 ER 4043 ER 4043 ER 5356 ER 5356 ER 4043
6151

A7NO1 ER 4043 ER 4043 ER 5356 ER 5356

AC7A - ER 4043 ER 4043

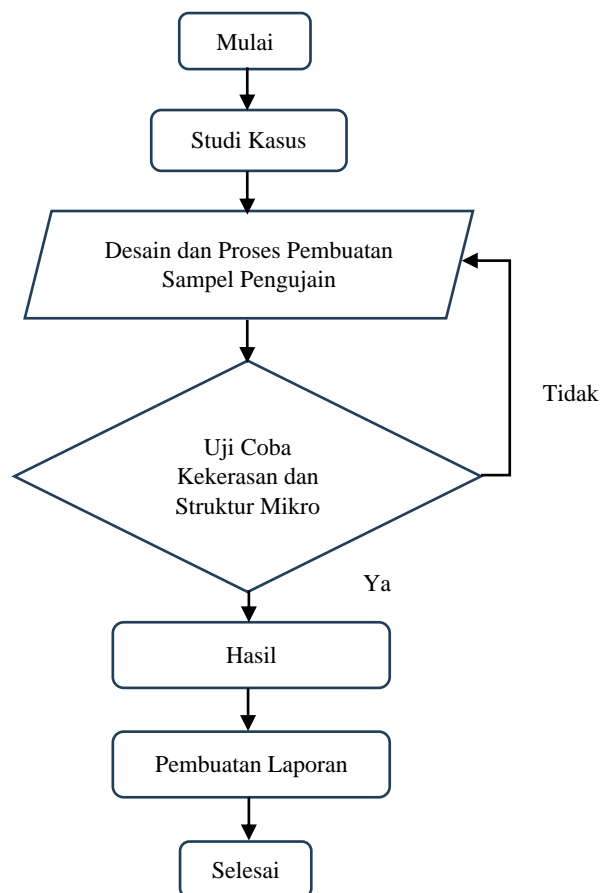
AC4C ER 4043 ER 4043
ADC12

AC4D ER 4043

2. METODE

2.1. Diagram Alir

Berikut diagram alir pada penelitian ini. Dimulai dari studi kasus dan *literature review*. Hal ini bertujuan untuk mengumpulkan sumber dan referensi untuk memudahkan dalam penyusunan laporan. Langkah berikutnya adalah desain dan proses pembuatan sampel pengujian yang sesuai dengan standar yang sudah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya adalah melakukan uji coba pada sampel yang sudah dibuat, untuk melihat kekuatan mekanik dari sampel tersebut salah satunya yaitu kekerasan dan struktur mikro. Setelah hasil didapatkan, maka perlu dibuatkan laporan untuk penyelesaian akhir pada suatu penelitian.



Gambar 2: Diagram alir penelitian

2.2. Uji Kekerasan

Pengujian mikro Vickers digunakan untuk mengukur nilai kekerasan logam dasar, Zona terkena panas (Haz), dan daerah pengelasan (Weld zone). Uji kekerasan Vickers banyak dilakukan pada pekerjaan penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu, untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak. Uji Kekerasan menggunakan uji Vickers dengan beban 100 gram. Alat uji kekerasan yang digunakan adalah Vickers Testing Machine (Microvikers). Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat. Rentang kekuatan yaitu micro (10g –1000g) (Pranata dkk, 2020). Bilangan kekerasan Vickers (HV) di hitung dengan rumus:

$$HV = 1,854 \times F/D^2 \quad (1)$$

Keterangan:

F = Beban yang diterapkan (kg)
 D = Panjang diagonal indentasi jejak (mm)

2.3. Struktur Mikro

Pengamatan sampel mikrostruktur dengan proses polishing pada specimen uji, proses pemolesan menggunakan kertas 1000 grid dan dilakukan etsa (2,5 ml HNO₃, 1 ml HF, 1,5 ml HCL, dan 95 ml setara). Untuk melakukan pengujian mikro, maka diperlukan proses metalografi. Proses metalografi bertujuan untuk melihat daerah base metal, daerah HAZ dan daerah weld metal. Struktur mikro diamati dengan menggunakan alat *Interted Metallurgical Microscope* (Prayogo, 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengelasan GTAW

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan dua jenis *filler* yang berbeda, berikut ini metode dan parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

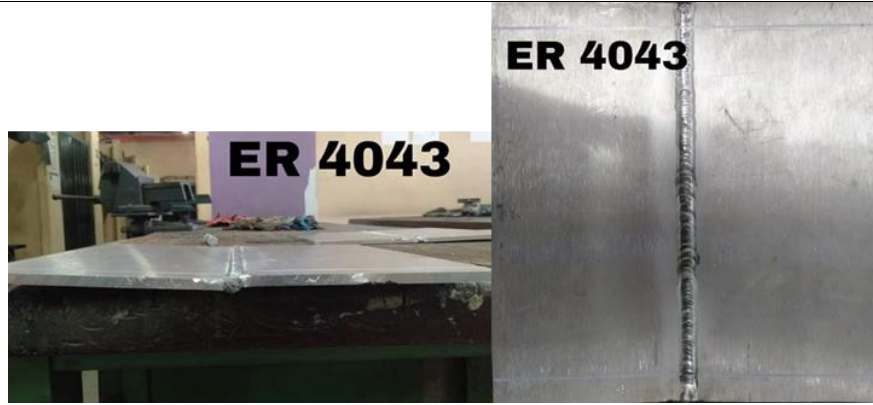
Tabel 4. Parameter Pengelasan

No.	Parameter Pengelasan	
1.	Material	6061 (300x150x6)
2.	Proses Las	GTAW
3.	Elektroda (Tungsten)	Pure Tungsten
4.	Logam Pengisi (Filler)	ER 5356 ER 4043
5.	Kuat Arus	140 A
6.	Gas Pelindung	Gas Argon
7.	Posisi	1G

Hasil pengelasan GTAW terhadap Aluminium 6061 dengan menggunakan filler ER 4043 dan ER 5356 dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3 dibawah ini. Pengelasan GTAW menghasilkan manik las yang rapih dan tidak menghasilkan spatter atau percikan logam las yang menempel pada logam induk. Namun, dapat dilihat jelas perbedaan hasil las antara *filler* ER4043 dan *filler* ER 5356 bahwa plat yang dilas menggunakan *filler* 4043 dengan kuat arus sebesar 140 A mengalami Distorsi, sedangkan plat yang dilas menggunakan *filler* ER 5356 dengan kuat arus yang sama tidak mengalami cacat sedikitpun jika dimati secara visual.



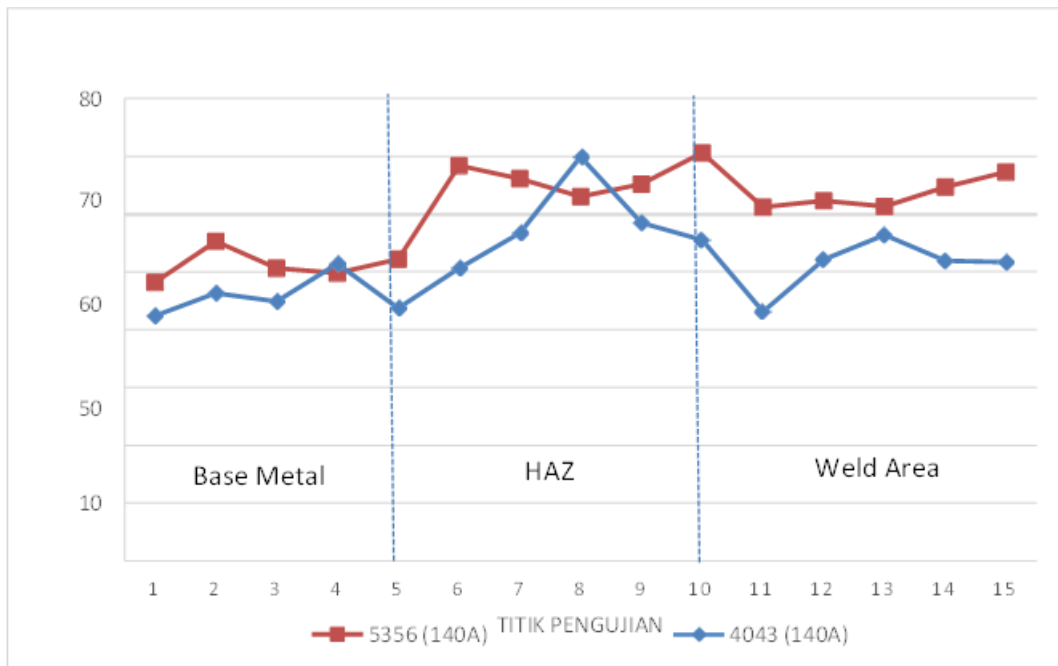
Gambar 3: Hasil pengelasan menggunakan *filler* ER 5356



Gambar 4: Hasil pengelasan menggunakan filler ER 4043

3.2 Uji Kekerasan Vickers

Parameter dalam Vickers test yaitu perbedaan filler, dimana filler yang digunakan ER 4043 dan ER 5356. Pada pengujian ini diambil 2 spesimen dari hasil pengelasan GTAW yang masing-masing dari spesimentersebut memiliki perbedaan filler. Sebelum diuji, spesimen harus dalam keadaan datar agar tidak terjadi perubahan posisi pada saat ditekan dengan indenter yang terdapat pada alat uji vickers. Dalam pengujian kekerasan vickers ini dilakukan 15 titik indentasi, yang mana titik 1,2,3,4,5 di daerah Base Metal, titik 6,7,8,9,10 di daerah HAZ, dan titik 11,12,13,14,15 di daerah Weld Area. Untuk mempermudah menganalisa data hasil pengujian kekerasan maka disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar 4 berikut ini.

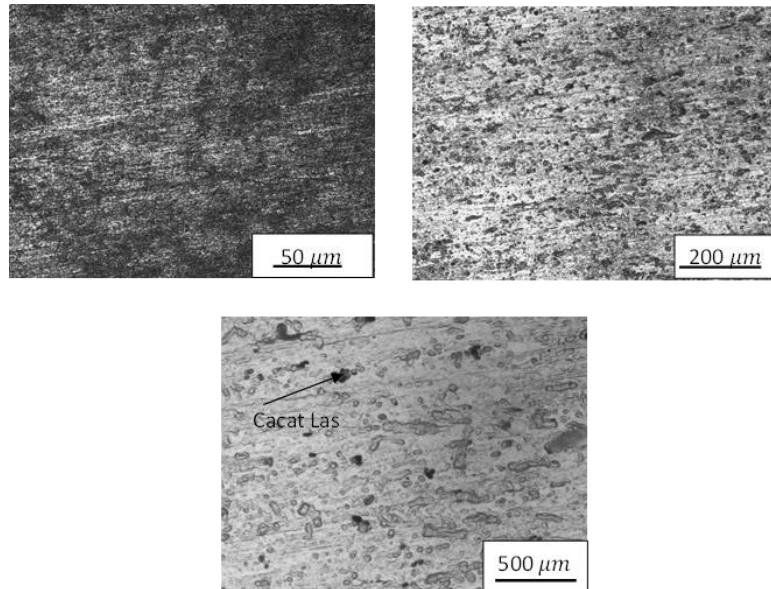


Gambar 5: Nilai kekerasan dengan variasi filler

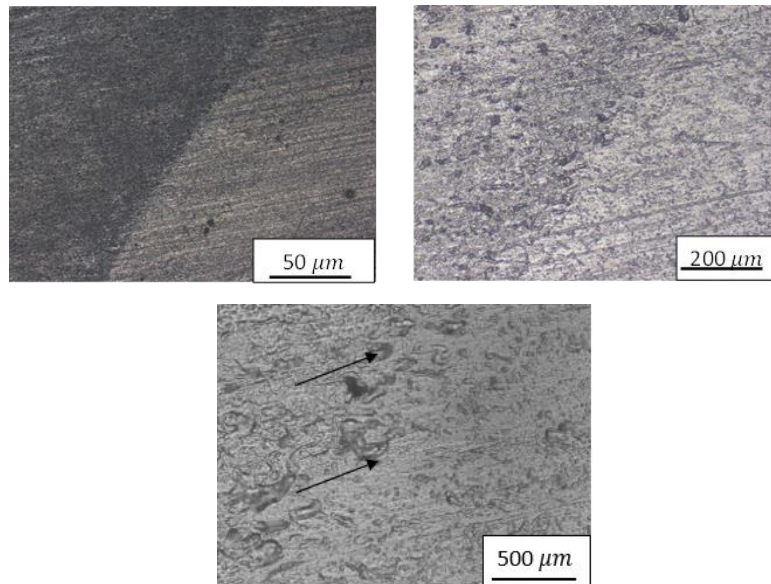
Dari hasil pengujian kekerasan grafik diatas dapat dianalisa, pengelasan dengan filler ER4043 dan ER5356 nilai kekerasannya tidak berbeda jauh. Nilai kekerasan pengelasan dengan filler ER 5356 pada daerah HAZ lebih besar dibandingkan padapengelasan dengan filler ER 4043. Pembahasan dari pengujian kekerasan vickers didapatkan angka hasil kekerasan vickers. Dapat dilihat dari grafik kekerasan, nilaikekerasan tinggi di daerah Haz, Proses pengelasan aluminium menyebabkan daerahyang menerima panas lebih besar melampaui suhu kritis dari aluminium yaitu padaHaz dan weld metal. Oleh karena itu nilai kekerasan pada Haz cenderung naik. Selain itu naiknya kekerasan dipengaruhi adanya unsur Mg, pada daerah Haz distribusi kekerasan paling tinggi, hal ini dipengaruhi oleh banyaknya kandungan Al(Mg,Si) akibat penggunaan filler ER 5356. Jadi dapat dikatakan bahwa pada daerah Haz nilai distribusi kekerasan lebih meningkat dari daerah Weld Area dan Base metal, dapat dinyatakan bahwa hasil dari pengelasan dengan filler ER 5356 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan pengelasan dengan filler ER 4043. Pengelasan dengan filler ER 5356 hasil nilai tertingginya 70,6 HVN sedangkan pengelasan dengan filler ER 4043 hasil nilai tertingginya 69,9 HVN.

3.3 Struktur Mikro Filler ER 5356 dan Filler ER 4043

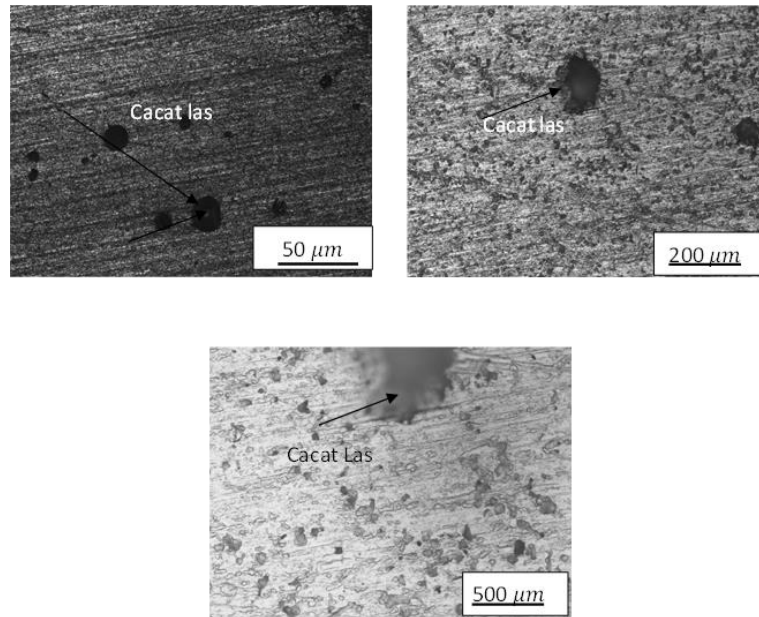
Eksperimen variasi filler dan kuat arus 140 A, menghasilkan struktur mikro berupa area terang, area gelap, di variasi filler ER 5356 setiap perbesaran 50x, 200x, 500x, terdapat struktur mikro yang lebih kasar di daerah base metal dan struktur mikro yang lebih halus di daerah haz dan weld area. Sedangkan di daerah weld area struktur mikro terdapat cacat las (porositas). Porositas adalah suatu cacat dimana udara terperangkap akibat aliran logam cair saat proses pengelasan yang dapat menurunkan kualitas hasil produk cor. Visualisasi struktur mikro masing-masing perbesaran dapat dilihat bahwa daerah base metal memiliki jumlah butiran dengan bagian berwarna hitam lebih banyak dibandingkan dengan jumlah bagian berwarna terang. Butiran halus pada haz lebih banyak dibandingkan butiran kasar tetapi lebih sedikit dibandingkan bagian base metal. Variasi filler ER 4043 setiap perbesaran 50x, 200x, 500x, terlihat struktur mikro yang sedikit berbeda antara di daerah base metal dan haz dibandingkan weld area. Sedangkan di weld area tidak terdapat cacat las (porositas). Visualisasi struktur mikro masing-masing perbesaran dapat dilihat bahwa daerah base metal memiliki jumlah bagian berwarna terang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah bagian berwarna hitam, butiran yang halus pada haz lebih banyak dibandingkan butiran kasar tetapi lebih sedikit dibandingkan bagian base metal.



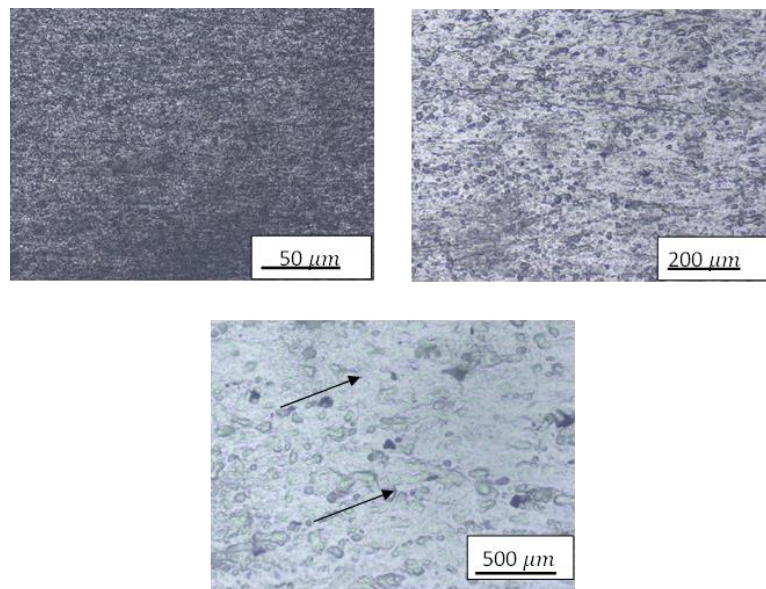
Gambar 6: Base Metal Filler ER 5356



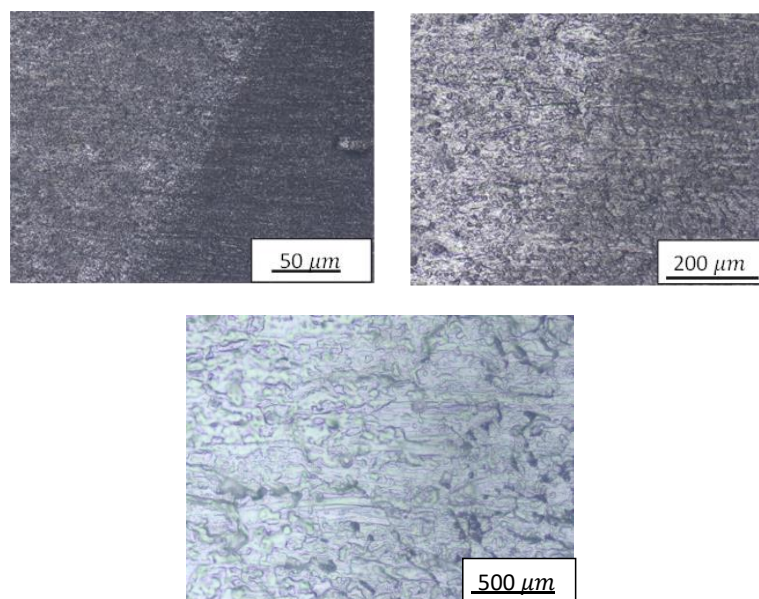
Gambar 7: Haz Filler ER 5356



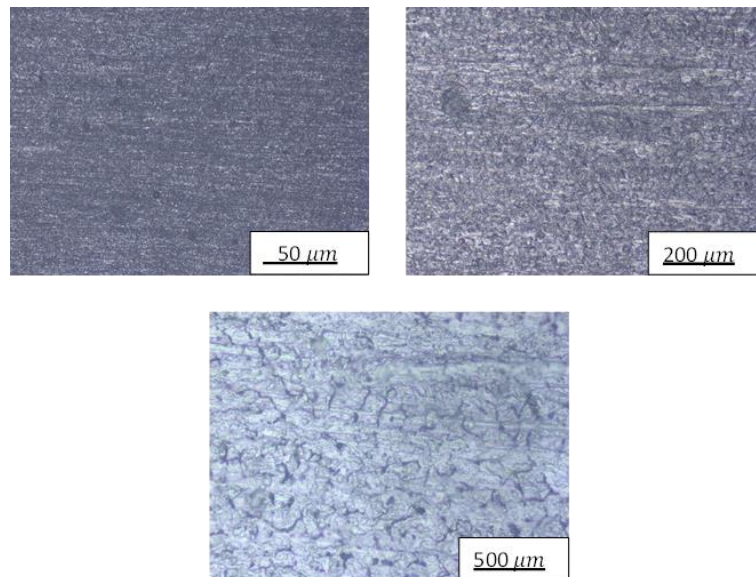
Gambar 8: *Weld area Filler ER 5356*



Gambar 9: *Base Metal Filler ER 4043*



Gambar 9: *Haz Filler ER 4043*



Gambar 10: Weld area Filler ER 4043

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini yaitu : Hasil pengelasan yang dilakukan pada Plat Aluminium 6061 dengan kuat arus 140 A pada variasi *Filler* ER 5356 tidak mengalami distorsi ataupun cacat visual, sedangkan pada variasi *Filler* ER 4043 mengalami distorsi, hal itu biasanya terjadi perubahan bentuk di sebabkan karena panas yang tinggi dan pendinginan yang cepat menyebabkan terjadinya distorsi. Hasil Pengujian kekerasan pada plat Aluminium 6061 dengan kuat arus 140 A dapat dinyatakan bahwa hasil dari pengelasan dengan *Filler* ER 5356 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan pengelasan dengan *Filler* ER 4043. Pengelasan dengan *Filler* ER 5356 hasil nilai tertingginya 70,6 HVN sedangkan pengelasan dengan *Filler* ER 4043 hasil nilai tertingginya 69,9 HVN. Hasil Pengujian Struktur Mikro pada Plat Aluminium 6061 dengan kuat arus 140 A pada variasi *Filler* ER 5356 dan ER 4043 di perbesar 50x, 200x, 500x, di daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld area* terdapat bagian berwarna terang dan bagian berwarna sedikit hitam. Di daerah *base metal* lebih banyak terdapat butiran yang kasar di bandingkan butiran yang halus. Di variasi *Filler* ER 5356 di bagian *weld area* terdapat cacat las (porositas), cacat las terjadi dimana udara terperangkap pada saat proses pengelasan sehingga menurunkan kualitas pengecoran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat yang maha kuasa, penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh rekan-rekan peneliti lain yang sudah terlibat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, I. B. (2020). *Karakteristik Proses Pengelasan Tig Pada Aluminium 5052 Dan Aluminium 6061 Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi Rangka Pelindung (Roll Cage) Pada Mobil Balap Rally*. Institut Teknologi Indonesia,
- Dharma, S., Suherman, S., Sarjianto, S., Sebayang, R., & Kurniyanto, H. B. (2022). Pengaruh Kuat Arus terhadap Sifat Mekanis pada Aluminium Al-Si-Fe dengan Filler Er 4043 Metode Pengelasan GTAW. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(1), 103-112.
- Gunawan, E., Perdana, D., & Subeki, M. D. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Tipe Sambungan Terhadap Sifat Mekanis Pada Pembuatan Tangki Bbm Dari Bahan Aluminium Dilakukan Dua Welder Secara Bersamaan Dengan Menggunakan Pengelasan GTAW. *Prosiding SENIATI*, 5(1), 312-319.
- Haliq, R., & Raharjo, H. T. (2018). Analisis Pengaruh Variasi Arus dan Sudut Kampuh dengan Metode Pengelasan GTAW terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Baja ST 41. *SPECTA Journal of Technology*, 2(2), 39-50.
- Herizal, H., Hasrin, H., & Hanif, H. (2020). Analisa Pengaruh Proses GTAW Dan SMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Pengelasan Material AISI 1050. *Journal of Welding Technology*, 2(1), 19-24.
- Pranata, M. S., Santosa, A. W. B., & Iqbal, M. (2020). Perbandingan Kekuatan Tarik dan Kekuatan Kerasan Las GMAW dan GTAW Terhadap Material Aluminium 6061 Dengan Variasi Arus Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(1), 59-69.
- Prayogo, R. D. (2018). *Analysis pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baja SS 41 pada pengelasan GTAW*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan.
- Rachmatullah, T., Pratikno, H., & Ikhwan, H. (2021). Analisa Pengaruh Variasi Pre-Weld Heat Treatment dan Aging Post Weld Heat Treatment pada Sambungan Las Aluminium 6061 terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Makro. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), G43-G48.

- Rahmatika, A., Ibrahim, S., Hersaputri, M., & Aprilia, E. (2019). Studi pengaruh variasi kuat arus terhadap sifat mekanik hasil Pengelasan GTAWaluminium 1050 dengan filler ER 4043. *Jurnal Polimesin*, 17(1), 47-54.
- Ramadhani, M., Rochiem, R., Felicia, D. M., Wibisono, A. T., Jatimurti, W., & Rasjiddin, E. A. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Logam Pengisi dan Arus Pada Hasil Pengelasan Baja Corten A dengan Metode GTAW Terhadap Struktur Mikro, Ketahanan Korosi, dan Sifat Mekanik. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), F69-F74.
- Syahrul, A. A. (2023). *Pengaruh Kuat Arus, Logam Pengisi, dan Artificial Aging terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan TIG Paduan Aluminium 6061*. Fakultas Teknik Unpas,
- Wartono, W., & Aprianto, A. (2021). Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Butt-Joint Las TIG Aluminium. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 5(1), 24-31.
- Wicaksono, R. T., Suharno, S., & Harjanto, B. (2019). Pengaruh Kuat Arus Pada Pengelasan Paduan Aluminium 6061 Dengan Menggunakan Metode Las Tig Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 1(1), 48-55.