



Research Article

Pengaruh Variasi Bentuk Pin pada Friction Stir Welding terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Beda Material antara Al 6061 – Al 5083

Diana Rizky Septiawan^{1,}, Wijoyo¹, Alfian Wahyu Nugroho¹, Mansyur Abdul Shaleh²*

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Surakarta, **Indonesia**

²Program Studi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta, **Indonesia**

*Corresponding author: rizky_septiawan@unsa.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 10 May 2023

Revised : 25 July 2023

Accepted : 26 July 2023

Available online: 28 July 2023

Keywords: Aluminum 6061, Aluminum 5083, FSW, Shape of the Pin Tool, Chemical Composition.

ABSTRACT

Welding of two different types of metals is widely applied in today's manufacturing world for various reasons such as optimizing mechanical and corrosion properties as well as economic considerations. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the shape of the pin tool on tensile strength, impact strength, hardness distribution, macrostructure, microstructure and chemical composition of aluminum metal which differ in series from Friction Stir Welding results on two types of aluminum. The materials used in this study were aluminum 5083 and 6061. The materials were welded using the Friction Stir Welding method. Variations in the shape of the pin tool using fluted tapered, grooved cylinder and rectangular. The tests used in this study included tensile testing, impact testing, hardness testing, macrostructural observations, microstructural observations and chemical composition of Al 6061 and Al 5083. The testing phase to determine tensile strength refers to ASTM E8/E8M-09 with long specimen dimensions. 100 mm in length, 10 mm in width and 5 mm in thickness, while the impact test refers to ASTM E23-07a with dimensions of 55 mm in length, 10 mm in width and 5 mm in thickness with a notch depth of 2 mm and photo observations of the macro, micro and chemical composition of Al 6061 and Al 5083. The test results show that the maximum tensile strength with a tapered grooved pin tool shape is 210.6 MPa and a strain of 117.3 MPa is smaller than the parent metal Al 6061 of 293.7 MPa and Al 5083 of 260 MPa. The impact toughness value of the grooved tapered pin tool shape is 0.58 J/mm². The results of the microstructure of the weld metal undergo structural changes in all forms of the pin tool. The results of the chemical composition test on Al 5083 and Al 6061 showed a change in the levels of Aluminum by 97.02% and Magnesium by 1.985%.

ABSTRAK

Kata Kunci: Alumunium 6061, Aluminium 5083, FSW, Bentuk Pin Tool, Komposisi Kimia.

Pengelasan dua jenis logam yang berbeda banyak diaplikasikan pada dunia manufaktur sekarang ini karena bermacam seperti untuk optimasi sifat-sifat mekanis dan korosi serta pertimbangan ekonomi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi bentuk pin tool terhadap kekuatan tarik, kekuatan impact, distribusi kekerasan, struktur makro, struktur mikro dan komposisi kimia dari logam aluminium yang berbeda seri dengan hasil pengelasan Friction Stir Welding pada dua jenis aluminium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium 5083 dan 6061. Bahan dilas dengan metode Friction Stir Welding. Variasi bentuk pin tool menggunakan tirus beralur, silinder beralur dan segi empat. Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengujian tarik, pengujian impact, pengujian kekerasan, pengamatan struktur makro, pengamatan struktur mikro dan komposisi kimia Al 6061 dan Al 5083. Tahap pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik mengacu pada ASTM E8/E8M-09 dengan dimensi spesimen panjang 100 mm, lebar 10 mm dan tebal 5 mm, sedangkan untuk pengujian impact mengacu pada ASTM E23-07a dengan dimensi panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tebal 5 mm dengan kedalaman takik 2 mm dan pengamatan foto struktur makro, mikro dan komposisi kimia Al 6061 dan Al 5083. Hasil pengujian diketahui nilai kekuatan tarik maksimal dengan bentuk pin tool tirus beralur sebesar 210,6 MPa dan regangan sebesar 117,3 MPa lebih kecil dibandingkan dengan logam induk Al 6061 sebesar 293,7 MPa dan Al 5083 sebesar 260 MPa. Nilai ketangguhan impact dari bentuk pin tool tirus beralur sebesar 0,58 J/mm². Hasil struktur mikro pada weld metal mengalami perubahan struktur pada semua bentuk pin tool. Hasil uji komposisi kimia pada bahan Al 5083 dan Al 6061 ada perubahan kadar pada Aluminium sebesar 97,02% dan Magnesium sebesar 1,985%.

1. PENDAHULUAN

Dunia industri manufaktur sekarang ini sering kita jumpai pembuatan produk/komponen yang membutuhkan penyambungan material logam baik di bidang otomotif, kedirgantaraan, perkapalan dan lain-lain. Salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk penyambungan material logam dengan cara pengelasan [1]. Terdapat 2 macam proses pengelasan antara lain: *Liquid State Welding (LSW) / Fusion Welding* dan *Solid State Welding (SSW)*. LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan di bawah titik leleh benda kerja tersebut [2].

Aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan dalam bidang teknik karena mempunyai banyak keunggulan antara lain ringan, mempunyai sifat mampu bentuk (formability) yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi, tahan korosi dan sifat mekaniknya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin atau perlakuan panas, serta mempunyai sifat

mampu las (weldability) yang bervariasi tergantung pada jenis paduannya [3]. Oleh sebab itu aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan di bidang teknik karena memiliki berbagai keunggulan tersebut, dari kelebihan paduan aluminium dibandingkan dengan logam lainnya menyebabkan banyak digunakan di bidang struktur dan permesinan [4]. Pengelasan aluminium menggunakan *Oxy-Acetylene* dengan pengujian komposisi kimia didapatkan unsur-unsur penyusun dengan prosentase aluminium (AL) 97,76%, silikon (Si) 0,48%, magnesium (Mg) 0,41%, tembaga (Cu) 0,15%. Pengujian struktur mikro pada logam induk terlihat butiran-butiran Mg_2Si berwarna gelap dan halus. Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) untuk pengelasan *Acetylene* butiran Mg_2Si terlihat berukuran lebih besar dan cenderung rapat, sedangkan untuk las TIG butiran terlihat berbentuk guratan kecil. Pada logam las *Acetylene* butiran struktur mikro lebih besar dibanding dengan las TIG. Harga dampak tertinggi pada *raw material* yaitu $0,39 \text{ Joule/mm}^2$, kemudian pengelasan TIG sebesar $0,12 \text{ Joule/mm}^2$ dan pada pengelasan *Acetylene* sebesar $0,07 \text{ Joule/mm}^2$. Kekuatan tarik maksimal pada *raw material* yaitu $176,3 \text{ N/mm}^2$ kemudian pada las TIG sebesar $125,4 \text{ N/mm}^2$, dan pada las *Oxy-Acetylene* sebesar $114,2 \text{ N/mm}^2$ [5].

Aluminium seri 6061 dan 5083 merupakan aluminium yang banyak dipakai di dunia perkapalan. Aluminium seri 6061 dan 5083 memiliki sifat yang sama tidak bisa diperlakukan panas, tetapi aluminium tersebut memiliki sifat yang baik dalam segi kekuatan dan tahan terhadap korosi terutama korosi air laut dan mempunyai sifat mampu las yang baik [6]. Berdasar dari uraian di atas penulis mencoba mengambil metode pengelasan *friction stir welding* guna untuk perbandingan kekuatan dari las *Oxy-Acetylene* dengan *friction stir welding*.

Friction Stir Welding ditemukan oleh Wayne Thomas di *The Welding Institute*, Inggris, pada Desember 1991. *Friction Stir Welding* merupakan proses penyatuan dua logam tanpa mencairkan logam yang disatukan (dalam keadaan padat) selama proses penyatuan. Proses *Friction Stir Welding* beroperasi pada temperatur yang relatif rendah. Panas dihasilkan dari gesekan antara benda kerja dan *tool* yang berputar, di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. Proses ini biasanya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan tanpa adanya perubahan karakteristik dari logam dasar. Mencairkan suatu material dapat merusak mikrostruktur dan penyusun material serta menghilangkan sifat khusus material tersebut. Karena pengelasan dilakukan dibawah titik lebur material maka sangat memungkinkan untuk menghasilkan lasan yang memiliki *Heat Affected Zone* yang sempit, sehingga perubahan karakteristik dari logam dasar di daerah pengelasan dapat diminimalisir, karena itu tegangan sisa dan tegangan punter sangat sedikit. Penggabungan material (hasil lasan) dihasilkan dari kombinasi pergeseran *tool* dan *mechanical deformation* dari material kerja sendiri selama pergeseran *tool* [7]. Parameter pengelasan, geometri alat, dan desain sambungan memiliki pengaruh yang besar terhadap pola aliran material dan distribusi temperatur sehingga mempengaruhi evolusi struktur mikro material [8].

Perbedaan metalurgi logam las pada proses pengelasan tak sejenis akan mengakibatkan kendala tersendiri dan ini perlu perhatian khusus. Paduan aluminium seri 5083 tidak dapat dilakukan perlakuan panas, sedangkan seri 6061 dapat diproses perlakuan panas, sehingga perbedaan ini akan berpengaruh pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), TMAZ

(*Thermomechanically Affected Zone*) dan WM (*Weld Metal*) [9]. Paduan aluminium 5083 merupakan paduan dari aluminium dengan kandungan magnesium berkisar 5%. Di antara paduan non heat treatable lainnya, paduan seri ini memiliki kekuatan yang paling tinggi [10]. Berikut tabel komposisi kimia dari aluminium 5083 :

Tabel 1. *Mechanical properties* aluminium 5083

Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	ϵ (%)
Aluminium 5083	260	110	10

Tabel 2. Komposisi kimia aluminium 5083

Unsur	Al	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
%	94,47	0,105	0,25	0,547	4,45	0,61	0,018	0,014

masa

Aluminium seri 6061 memiliki unsur paduan utama Mg dan bersifat heat treatable atau age-hardenable. Selama age hardening presipitat terbentuk di dalam suatu super saturated solid solution dan kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah dan ukuran presipitat hingga mencapai nilai maksimum, kemudian material over ageing sehingga sifat mekanik berkurang [11]. Berikut tabel komposisi kimia dari aluminium 6061 :

Tabel 3. *Mechanical properties* aluminium 6061

Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	ϵ (%)
Aluminium 6061	293,7	315,1	13

Tabel 4. Komposisi kimia aluminium 6061

Unsur	Al	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
%	remainder	0,64	0,2	0,06	1,0	0,15	0,05	0,07

masa

Irfan Helmi dan Tarmizi (2017) dalam penelitiannya menggunakan pengaruh variasi bentuk pin *tool* tirus beralur, silinder beralur dan segitiga beralur. Hasil uji tarik didapatkan bahwa kekuatan tarik maksimum diperoleh menggunakan pin tirus beralur yaitu sebesar 172 MPa. Hal ini terjadi karena pengadukan material lunak yang merata sesuai dengan bentuk pin yang digunakan. Sedangkan menggunakan pin segitiga nilai kekuatan tarik menjadi rendah karena pengadukan material lunak yang tidak merata sehingga adanya cacat akan mengurangi nilai kekuatan tarik lasan. Harga impact terbesar diperoleh menggunakan pin tirus beralur yaitu 0,27 J/mm², lebih besar dari harga impact logam induk sebesar 0,2 J/mm² sedangkan harga terendah adalah 0,07 J/mm² menggunakan pin segitiga beralur. Hasil pengujian impact menggunakan *tool* bentuk silinder beralur untuk ketebalan pelat 6 mm menunjukkan bahwa rata-rata harga impact menggunakan *tool* bentuk silinder beralur lebih besar dari pada menggunakan pin segitiga beralur tetapi lebih rendah dibandingkan menggunakan pin tirus beralur [12].

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen destruktif dengan menggunakan pengelasan *Friction Stir Welding* sebagai variabel terikat, variabel bebas yang diterapkan pada bentuk pin *tool* dengan tiga variasi yaitu pin tirus beralur, pin silinder beralur dan pin segi empat.

2.1 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian berdasarkan variasi bentuk *pin tool* terhadap sifat mekanik aluminium 5083 dan aluminium 6061 adalah sebagai berikut :

Tahap pembuatan spesimen:

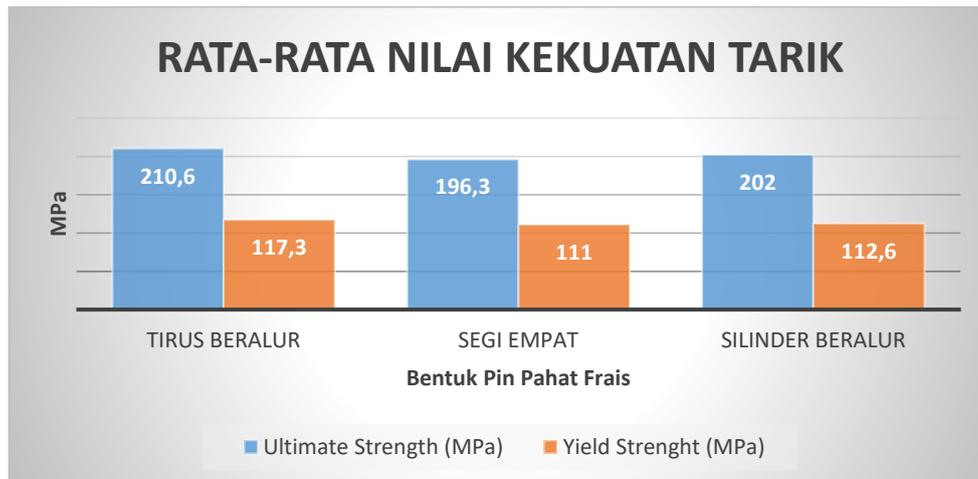
1. Penyiapan aluminium 5083 dan aluminium 6061
Menyiapkan aluminium 5083 dan aluminium 6061 dengan dimensi 100 mm x 100 mm x 5 mm.
2. Pembuatan pahat
Membuat pahat dengan bahan dari *stainless steel 304* yang berbentuk tirus beralur, silinder beralur dan segi empat dengan dimensi pin 6 mm, tinggi pin 4,75 mm, dan diameter *shoulder* 15 mm.
3. Pengelasan variasi kecepatan
Melakukan pengelasan dengan variasi bentuk pin *tool* dengan tiga variasi yaitu tirus beralur, silinder beralur dan segi empat.
4. Tahap pembuatan spesimen
Hasil pengelasan lalu dibentuk sesuai ASTM pengujian tarik menggunakan ASTM E8/E8M-09, pengujian impak menggunakan ASTM E23-07a, pengujian kekerasan, pengamatan struktur makro, pengamatan struktur mikro dan komposisi kimia.

2.2 Pengujian Yang Dilakukan

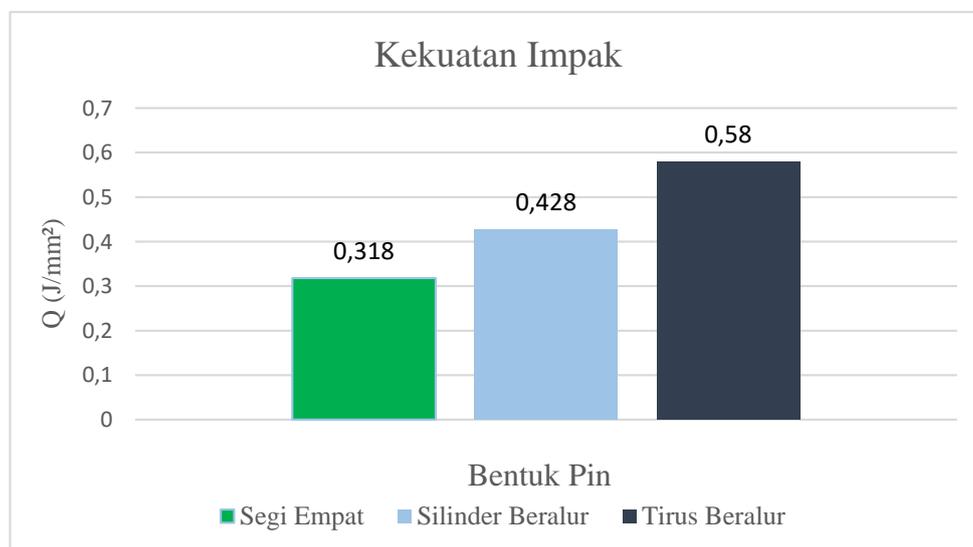
Pengujian tarik menggunakan ASTM E8/E8M-09, pengujian impak menggunakan ASTM E23-07a, pengujian kekerasan, pengamatan struktur makro, pengamatan struktur mikro dan komposisi kimia.

3. HASIL DAN DISKUSI

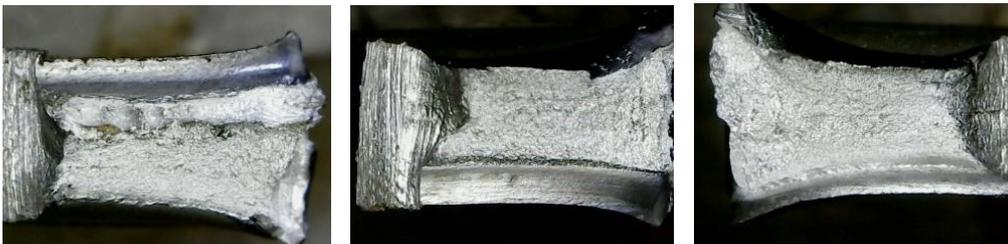
Berdasarkan gambar diagram 1. di bawah, diagram tegangan maksimal dan tegangan luluh dari pengujian tarik menunjukkan nilai maksimal yang terbesar untuk kekuatan tarik dan tegangan luluh pada bentuk pin tirus beralur dengan nilai kekuatan maksimal untuk kekuatan tarik sebesar 210,6 MPa, dan tegangan luluh sebesar 117,3 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh terkecil pada proses pengelasan menggunakan bentuk pin segi empat dengan nilai terbesar kekuatan tarik 196,3 MPa dan tegangan luluh sebesar 111 MPa. Pada hasil pengelasan bentuk pin silinder beralur mendapatkan nilai kekuatan tarik 202 MPa dan tegangan luluh sebesar 112,6 Mpa. Hasil kekuatan tarik ini menunjukkan bahwa proses pengelasan yang terbaik adalah menggunakan bentuk pin tirus beralur. Hal ini sesuai dengan penelitian Irfan Helmi dan Tarmizi, (2017).



Gambar 1. Diagram tegangan maksimal dan tegangan luluh pengujian kekuatan tarik



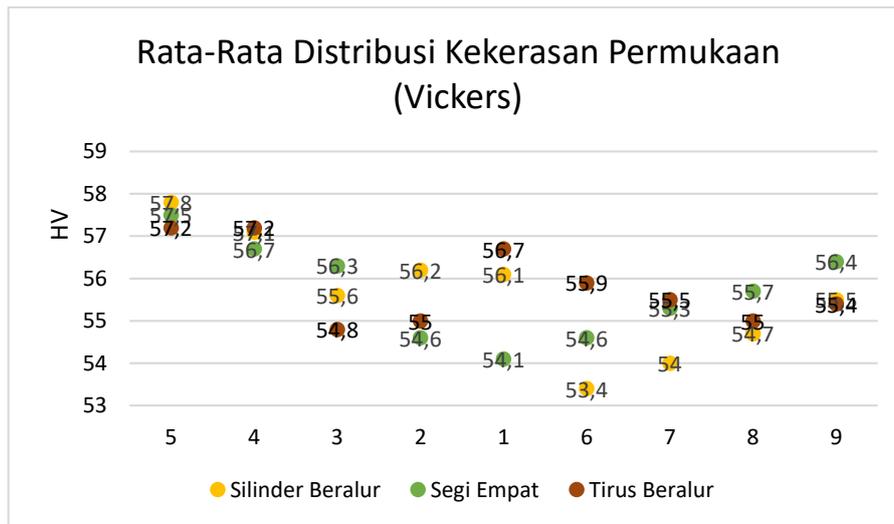
Gambar 2. Diagram nilai uji impak



Gambar 3. Struktur makro pada patahan las dengan variasi bentuk pin (a) segi empat, (b) silinder beralur, (c) tirus beralur

Berdasarkan gambar 2, diagram pengujian impak menunjukkan nilai ketangguhan tertinggi pada variasi bentuk pin tirus beralur dengan nilai 0,58 J/mm². Bentuk pin silinder beralur didapatkan nilai ketangguhan 0,428 J/mm². Nilai ketangguhan terendah didapatkan pada bentuk pin segi empat dengan nilai ketangguhan 0,318 J/mm². Bentuk pin segi empat memiliki nilai ketangguhan yang kecil, disebabkan bentuk pin segi empat tersebut pada saat proses

penyambungan las kurang sempurna, dibuktikan dengan foto struktur 3 (a). Bentuk pin tirus beralur mempunyai nilai ketangguhan impact yang tinggi, disebabkan bentuk pin tirus beralur pada saat penyambungan las yang bagus, dibuktikan dengan foto struktur 3 (c). Pada bentuk pin silinder beralur nilai ketangguhannya lebih baik dari bentuk pin segi empat pada gambar struktur 3 (a) dibuktikan dengan foto struktur silinder beralur 3 (b). Hasil ketangguhan impact ini menunjukkan bahwa proses pengelasan yang terbaik adalah menggunakan bentuk pin tirus beralur. Hal ini sesuai dengan penelitian Irfan Helmi dan Tarmizi, (2017).

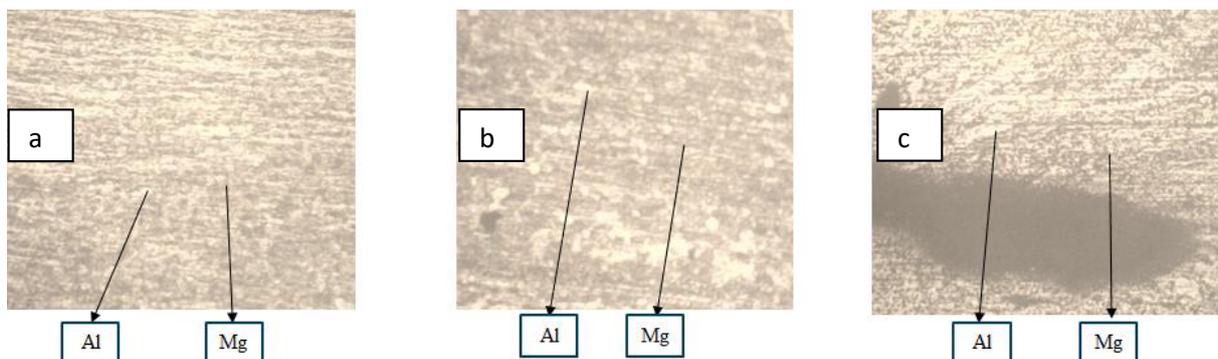


Gambar 4. Grafik hasil pengujian kekerasan

Grafik uji kekrasan pada gambar 4 dapat dihasilkan nilai kekerasan tertinggi terdapat satu titik pengelasan aluminium 5083-6061 pada bentuk pin tirus beralur yaitu sebesar 62,1 HV, diikuti dengan bentuk pin silinder beralur yaitu sebesar 67,5 HV dan bentuk pin segi empat sebesar 57,2 HV.

Pada bagian HAZ mendapatkan nilai kekerasan tertinggi dengan menggunakan bentuk pin silinder beralur nengan nilai 56,3 HV di titik 3 (logam 5083), diikuti dengan bentuk tirus beralur dengan nilai 56,2 HV di titik 3 (logam 6061) dan yang terendah pada bentuk pin segi empat dengan nilai 55,5 HV pada titik 3 (logam 5083).

Pada bagian BASE mendapatkan nilai kekerasan tertinggi pada bentuk pin segi empat dengan nilai 54,8 HV pada titik 5 (logam 5083), diikuti dengan bentuk pin silinder beralur



dengan nilai 54,8 HV pada titik 9 (logam 6061) dan yang terendah pada bentuk pin tirus beralur dengan nilai 53,4 HV pada titik 5 (logam 5083).

Gambar 5. Struktur mikro las dengan variasi bentuk pin *tool* (a) tirus beralur, (b) silinder beralur, (c) segi empat

Pada gambar 5, pada daerah las terdampak oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan juga daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dari pin, pada gambar tersebut menunjukkan garis gelap yang panjang dan membentuk lengkungan itu adalah tanda proses pengadukan pin. Pada bentuk pin *tool* segi empat terdapat bercak yang saat pada proses pengelasan dengan metode FSW tidak sempurna yang mengakibatkan ada lobang pada proses pengelasan. Pada foto mikro diatas menunjukkan bahwa pada bagian las ini material bercampur dan saling mengikat ditunjukkan dengan garis gelap yang memanjang.

Dari data tabel 1. di bawah dapat dijelaskan kandungan Al 5083 memiliki kadar magnesium (Mg) yang cukup tinggi yaitu 4,45% jika dibandingkan dengan Al 6061 yang hanya sebesar 1,0%. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan mesin *spectrum* komposisi kimia *Optical Emission Spectrometer* atau OES dan memberikan hasil pembacaan secara otomatis kandungan unsur-unsur yang terdapat pada logam Al 5083 dan Al 6061 yang telah disambungkan dengan metode *friction stir welding*. Pembacaan kandungan unsur-unsur kimia pada logam hasil pengelasan menggunakan sampel berukuran 4x4 cm dengan ketebalan 5mm. Dapat dilihat pada tabel 4.6 di atas ditunjukkan hasil pengujian komposisi kimia logam Al 5083 dan Al 6061 dengan menggunakan bentuk pin tirus beralur.

Data hasil OES *Spectromaxx* untuk uji komposisi di bawah dapat dilihat terjadi perubahan kadar unsur-unsur kimia pada logam aluminium seri 5083 dan 6061 yang telah disambungkan dengan metode FSW. Beberapa perubahan nilai unsur kimia terjadi pada kadar Al yang memiliki nilai 97,02% lebih tinggi dari Al 5083 dan Al 6061. Perubahan yang terjadi cukup signifikan dari kadar magnesium (Mg) dari Al 5083 sebesar 4,45% dan Al 6061 sebesar 1,0% menjadi 1,985% dari logam perpaduan Al 5083 dan Al 6061. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh siklus termal yang terjadi pada saat pengelasan yang menyebabkan perubahan karakteristik pada material aluminium seri 5083 dan 6061.

Tabel 5. Data hasil pengujian komposisi kimia

Element	Material		
	Al 5083	Al 6061	LAS
Si	0,105	0,64	0.131
Fe	0,26	0,2	0.585
Cu	0,025	0,166	<0,0020
Mn	0,547	0,06	0.012
Mg	4,45	1,0	1.985
Cr	0,061	0,15	0.195
Ni	-	-	0.011
Zn	0,016	0,05	0.012
Ti	0,014	0,07	0.023

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini nilai tegangan tarik maksimum rata-rata, tegangan luluh maksimum rata-rata, regangan maksimum rata-rata dan ketangguhan impak rata-rata berturut-turut terjadi pada bentuk pin tirus beralur sebesar 210,6 Mpa, 117,3 Mpa, 8 Gpa dan 0,58 J/mm². Nilai kekerasan terbesar dimiliki pada daerah lasan aluminium seri 5083 dan 6061 dengan bentuk pin tirus beralur sebesar 56,7 HV. Hasil pengamatan foto struktur makro patahan las bentuk pin tirus beralur dibuktikan pada struktur yang halus. Pada bentuk pin segi empat mempunyai nilai kekerasan terendah pada daerah las dengan nilai 54,1 HV serta pengamatan foto struktur mikro patahan las bentuk pin tirus beralur menunjukkan butiran kecil dan rapat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mansyur Abdul Shaleh, Wijoyo, Rohmadi, “Pengaruh Variasi *Metal Transfer* Terhadap Karakteristik Sambungan Las Pada Proses Pengelasan Gmaw Dengan Pelindung Gas Argon”. *Journal Of Metallurgical Engineering And Processing Technology*, Vol. 3, No. 2, February 2023, pp. 139 – 145, 2023, doi: <https://doi.org/10.31315/jmept.v3i2.8764.g5162>
- [2] Dedi Triyoko, “Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Beda properties Aluminium Dengan Metode *Friction Stir Welding*”. Universitas Muhamadiyah Surakarta, 2016.
- [3] Mandal. 2005. *Aluminium Welding* 2 ed. Kharagpur, India.
- [4] Sugianto, Riswanda, Harlian Kadir. “Kaji Numerik Sifat Fisika-Mekanik Paduan Aluminium Hasil FSW”. Seminar Nasional – XX Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, 2018.
- [5] Galih Edi Widodo. “Analisis Kekuatan Las Berbahan Aluminium Mampu Las Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis”. Universitas Muhamadiyah Surakarta, 2013
- [6] Eki Afifuddin dan M. N. Iman. “Analisis Mikrostruktur dan Sifat Mekanis Sambungan Las Tak Sejenis Aluminium Paduan AA5083-H112/AA6061-T6”. Seminar Nasional – XX Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, 2021.
- [7] Aji Nurhafid, Sarjito Jokosisworo, Untung Budiarto, “Analisa Pengaruh Perbedaan *Feed Rate* Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan *Friction Stir Welding*”. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 5 No. 2, 2017
- [8] Prasanna, P., PENCHALLAYA, Ch., ANANDAMOHANA RAO, D. “Effect Tool Pin Profiles and Heat Treatment Process in The Friction Stir Welding of AA 6061 Aluminium Alloy”. *American Journal of Engineering Research*. Volume-02, Issue-01, pp-07-15, 2013.
- [9] Griffing, L., 1972, *Welding Handbook*, 6 ed., Published by American Welding Society, 2501 N.W. 7th Street Miami, Florida 33125.
- [10] Ivan Aji Kuntar. “*Experimental Study Of Friction Stir Welding Aluminum 5083 Variations On Rotation Speed And Tilt Of Tool*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016
- [11] Erik Kurniawan Widyantoro. “Pengaruh Variasi Temperatur Aging pada Aluminium 6061 Terhadap Uji Impak, Kekerasan dan Struktur Mikro”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [12] Irfan Helmi dan Tarmizi. “Pengaruh Bentuk Pin terhadap Sifat Mekanik Aluminium 5083 – H112 Hasil Proses Friction Stir Welding”. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, Vol. 11 No. 1, 2017