



Jurnal Artikel

**Pengaruh Sudut Kemiringan Pin Metode Friction Stir Welding Pada Material Aa-1100 Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro**

**Matius Patrik Napiun<sup>1\*</sup>, Viktor Naubnome<sup>2</sup>, Oleh<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang

<sup>1</sup>matiusnapiun1@gmail.com, <sup>2</sup>Email

\*Corresponding author – Email : matiusnapiun1@gmail.com

Artikel Info - : Received : ; Revised : ; Accepted:

**Abstrak**

*Pengelasan dalam industri manufaktur memiliki peranan penting pada proses penyambungan logam. Tujuan dari penelitian ini untuk membuktikan bahwa kemiringan tool pin memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis pengelasan FSW pada aluminium 1100. Penelitian ini menggunakan metode pengelasan Friction Stir Welding dengan parameter kecepatan putar spindle 910 Rpm, kecepatan pengelasan 60 mm/menit, material yang digunakan adalah Aluminium 1100 (AA-1100) dengan ketebalan 5 mm. Pin yang digunakan berbentuk oval. Variasi kemiringan sudut tool pin 2°, 3°, dan 4°. Pada pengelasan FSW paduan aluminium AA-1100, hanya terjadi penghalusan partikel – partikel dan tidak terjadi perubahan fasa karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi. Hasil uji tarik kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut kemiringan 2°, yaitu sebesar 115,9 N/mm<sup>2</sup>, serta beban maksimumnya sebesar 3270,4 N. Kekuatan tarik terendah ditunjukkan pada sudut kemiringan 4° beban maksimum nya sebesar 1972,60 N. Hasil uji keras yang memiliki rata – rata hardness Vickers (HV) tertinggi terdapat pada kemiringan tool pin 2° yaitu sebesar 74,79 VHN, dan yang memiliki rata – rata HV terendah terdapat pada spesimen dengan kemiringan tool pin 4° yaitu sebesar 72,07 VHN. Pada sudut 2° memungkinkan kontak yang lebih baik antara alat dan logam kerja hal ini menghasilkan distribusi panas yang lebih merata selama proses pengelasan.*

**Kata kunci:** AA-1100, Friction Stir Welding, Kemiringan tool pin.

**Abstract**

*Welding in the manufacturing industry has an important role in the metal joining process. The purpose of this study was to prove that the tilt of the tool pin has an influence on the mechanical properties of FSW welding on aluminum 1100. This research uses the Friction Stir Welding method with the parameter spindle rotation speed of 910 Rpm, welding speed of 60 mm/minute, the material used is Aluminum 1100 (AA-1100) with a thickness of 5 mm. The pins used are oval in shape. Variations in the angle of the tool pin 2°, 3°, and 4°. In welding FSW aluminum alloy AA-1100, only the particles are refined and there is no phase change because this welding does not use filler metal. The tensile test results for the highest tensile strength were found at an angle of inclination of 2°, which was 115.9 N/mm<sup>2</sup>, and the maximum load was 3270.4 N. The lowest tensile strength was shown at an angle of inclination of 4° with a maximum load of 1972.60 N. The results of the hardness test which has the highest average Vickers hardness (HV) is found on the slope of the tool pin 2° which is 74.79 VHN, and which has the lowest average HV is found on the specimen with the slope of the tool pin 4° which is equal to 72.07 VHN. At an angle of 2° allows for better contact between the tool and the work metal this results in a more even distribution of heat during the welding process.*

**Keywords:** AA-1100, Friction Stir Welding, Tool tilt angle

## 1. PENDAHULUAN

Pengelasan dalam industri manufaktur memegang peran yang penting dalam menghubungkan logam. Pada dasarnya, pengelasan atau proses las merupakan metode penyambungan dua atau lebih bahan, umumnya logam, yang menghasilkan pelelehan antara bahan-bahan yang disatukan. Umumnya, proses ini melibatkan peleburan kedua bahan tersebut dan penambahan bahan tambahan pada daerah pelelehan, sehingga setelah mendingin, terbentuklah sambungan permanen yang kuat. Dengan demikian, pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih bahan, biasanya logam, yang menyebabkan terjadinya pelelehan antara bahan-bahan yang disatukan. (Prasetyana & Sugito, 2016)

Menurut Damas Prasetyana, dkk pada tahun 2016, Penggunaan Friction Stir Welding (FSW) di industri sangat umum, terutama untuk menyambung logam seperti aluminium dan paduannya. Di negara-negara maju, metode las FSW telah diterapkan pada pembuatan kapal, kereta api, pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, bahkan industri otomotif. Namun untuk mencapai kualitas dan kekuatan sambungan yang baik tidaklah mudah, karena parameter proses pengelasan harus disesuaikan dengan jenis sambungan yang diinginkan, bahan yang akan disambung, desain, dan peralatan las yang digunakan. (Prasetyana & Sugito, 2016)

Pada tahun 2020 sudah ada penelitian serupa terkait dengan proses pengelasan gesek (Friction Stir Welding) dengan material aluminium alloys 1100 yang dilakukan oleh Ramadhoni Fahmi Arianto Putra, dkk. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan antara  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ , dan  $2^\circ$ . Kecepatan las yang digunakan adalah 85 mm/menit, sedangkan kecepatan putaran spindle adalah 2800 rpm. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa ukuran butir pada zona aduk pada semua

variasi kecepatan putar peralatan las lebih kecil dibandingkan dengan logam dasar (BM) dan zona terkena panas (HAZ). Hal ini mengakibatkan nilai kekerasan di HAZ dan stir zone lebih tinggi dibandingkan BM. Kekerasan tertinggi terdapat pada zona pencampuran dengan sudut kemiringan pahat  $2^\circ$  yaitu 64,7 VHN, sedangkan kekerasan terendah terdapat pada sudut kemiringan pahat  $1^\circ$  yaitu 56,3 VHN. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa tegangan rata-rata tertinggi terdapat pada sudut kemiringan pahat  $2^\circ$  yaitu sebesar 111,36 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada sudut kemiringan pahat  $1^\circ$  yaitu sebesar 63,20 MPa. Pada sudut kemiringan pahat  $0^\circ$ , kekuatan tarik rata-rata adalah 75,69 MPa. (Putra, Rahman, & Nugroho, 2019)

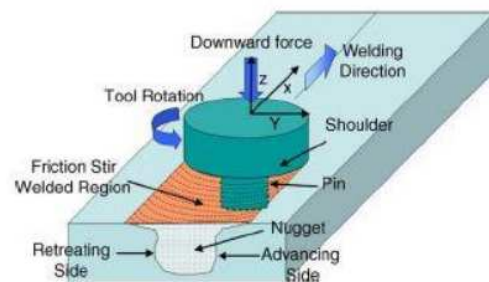
Pada tahun 2018 penelitian tentang kemiringan tool pin pada proses pengelasan FSW juga dilakukan oleh Bayu Prabandono dkk. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dampak sudut kemiringan tool dalam proses friction stir welding (FSW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari sambungan las pada pelat aluminium sheet 5083. Parameter yang digunakan meliputi kecepatan putaran spindle sebesar 1125 rpm, kecepatan pengelasan 30 mm/menit, dan kedalaman tool pin (depth of tool) sebesar 3,9 mm. Sudut kemiringan tool divariasikan antara  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $3^\circ$ , dan  $4^\circ$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi adalah 312,5 MPa pada sudut kemiringan  $3^\circ$ . Kekuatan tekuk uji face bending mencapai nilai tertinggi (655,1 MPa), sedangkan kekuatan tekuk uji root bending juga mencapai nilai tertinggi (651,8 MPa) pada sudut kemiringan  $2^\circ$ . Secara rata-rata, daerah retreating side memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada advancing side. Sudut kemiringan tool hingga  $3^\circ$  meningkatkan kekuatan tarik, namun di atas sudut tersebut, kekuatan tarik cenderung menurun. Sedangkan kekuatan tekuk optimal terjadi pada sudut  $2^\circ$ . Pada gambar mikro, semakin besar sudut

kemiringan tool, ukuran butir pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) cenderung lebih besar, meskipun tidak memiliki pengaruh signifikan pada nugget. (Prabandono, Wijayanto, & Nugroho, 2018)

Pada tahun 2019, Giyanda Vernoval dkk juga melakukan penelitian serupa yang mana tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kekuatan tarik dan kekuatan impak pada variasi sudut Tool Tilt Angle ( $3^\circ$ ,  $4^\circ$ , dan  $5^\circ$ ). Proses pengelasan Double Sided Friction Stir Welding dilakukan dengan putaran tool sebesar 1640 RPM dan feed rate (kecepatan pengelasan) sebesar 10 mm/menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las Double Sided Friction Stir Welding dengan sudut Tool Tilt Angle  $3^\circ$  memiliki kekuatan tarik sebesar 85,96 MPa dengan regangan sebesar 0,113% dan kekuatan uji impak sebesar 0,14 J/mm<sup>2</sup>. Pada sudut Tool Tilt Angle  $4^\circ$ , kekuatan tariknya adalah 57,25 MPa dengan regangan sebesar 0,087% dan kekuatan uji impak sebesar 0,11 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada sudut Tool Tilt Angle  $5^\circ$ , kekuatan tariknya adalah 50,52 MPa dengan regangan sebesar 0,076% dan kekuatan impak sebesar 0,13 J/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa dalam percobaan pengelasan Double Sided Friction Stir Welding dengan variasi Tool Tilt Angle, kekuatan tarik terbesar terdapat pada sudut  $3^\circ$  sebesar 85,96 MPa, sedangkan kekuatan impak terbesar terdapat pada sudut  $3^\circ$  sebesar 0,14 J/mm<sup>2</sup>. (Vernoval, Jokosisworo, & Adietya, 2019)

Friction stir welding melibatkan pelunakan material dasar melalui panas yang dihasilkan dari gesekan antara friction tool dan material dasar. Proses ini melibatkan pencampuran mekanis dan panas adiabatik di dalam material, sehingga menyebabkan material melunak tanpa mencapai titik lelehnya. Gambar 1 menunjukkan prinsip dasar fsw, di mana gesekan yang terus-menerus antara dua

benda menghasilkan panas. Pada proses fsw, sebuah tool berputar ditekan pada material yang akan disatukan. Tool tersebut memiliki bahu silindris dan dilengkapi dengan pin/probe yang berinteraksi dengan material, menyebabkan pemanasan lokal yang dapat melunakkan area tersebut. Tool bergerak dengan kecepatan konstan dan bergerak melintang sepanjang jalur pengelasan (joint line) material.



Gambar 1.1 Prinsip kerja pengelasan FSW  
Sumber: Rajiv S. Mirsha (2007)

Pada penelitian kali ini material yang digunakan adalah aluminium 1100 (AA-1100). Aluminium 1100 adalah salah satu paduan aluminium yang populer dan digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi. Berikut adalah spesifikasi umum dari aluminium 1100:

1. Komposisi Kimia: Aluminium (Al): 99,0% minimum; tembaga (Cu): 0,05% maksimum; Besi (Fe): 0,40% maksimum; Mangan (Mn): 0,05% maksimum; Silikon (Si): 0,95% maksimum; Seng (Zn): 0,10% maksimum; Zirconium (Zr): 0,15% maksimum; Titanium (Ti): 0,15% maksimum.
2. Sifat fisik: Kepadatan: 2,70 g/cm<sup>3</sup>; Titik Lebur: 660°C; Konduktivitas Termal: 235 W/(m·K); Koefisien Ekspansi Termal:  $23,1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  (20-100°C).
3. Sifat Mekanis: Kekuatan Tarik: 95 MPa (minimum); Batas Laju Penyambungan: 34 MPa (minimum) Elongasi: 5% (minimum).

4. Ketahanan terhadap Korosi: Aluminium 1100 memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi atmosferik dan korosi air laut. Namun, paduan ini tidak tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh lingkungan asam yang kuat.

5. Aplikasi: Aluminium 1100 sering digunakan dalam industri otomotif, konstruksi bangunan, peralatan dapur, panel reflektor, peralatan elektronik, dan berbagai komponen listrik dan elektronik lainnya. Paduan ini juga digunakan dalam pembuatan tangki penyimpanan kimia ringan dan peralatan yang memerlukan ketahanan terhadap korosi atmosferik. Penting untuk dicatat bahwa spesifikasi aluminium 1100 dapat bervariasi tergantung pada standar atau spesifikasi industri yang berlaku.

Paduan aluminium yang dimaksud adalah paduan Aluminium Alloy 1100, yang merupakan jenis aluminium murni komersial. Paduan ini memiliki sifat yang lembut dan ulet, serta menunjukkan kemampuan kerja yang sangat baik. Selain itu, paduan ini juga memiliki ketahanan korosi yang cukup baik, serta karakteristik yang memuaskan dalam pelapisan anodisasi dan konversi. Tidak ada paduan aluminium komersial lain yang dapat menandingi kemampuan kerja dari paduan Aluminium Alloy 1100 ini, sehingga paduan ini sangat ideal untuk aplikasi yang melibatkan pembentukan yang sulit. Paduan ini dapat dilas dengan berbagai metode pengelasan, namun tidak dapat diolah dengan menggunakan panas. Selain itu, paduan ini juga menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, sehingga sering digunakan dalam industri kimia dan pengolahan makanan. (Shanghai Bozhong Group, 2014)

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah metode eksperimental. Adapun penelitian ini menggunakan metode pengelasan Friction

Stir Welding dengan parameter kecepatan putar spindle 910 Rpm, kecepatan pengelasan 60 mm/menit, material yang digunakan adalah Aluminium 1100 (AA-1100) dengan ketebalan 5 mm. Probe/pin yang digunakan berbentuk oval. Variasi kemiringan sudut tool pin 2°, 3°, dan 4°.



Gambar 2.1 Tool Pin yang digunakan pada pengelasan FSW

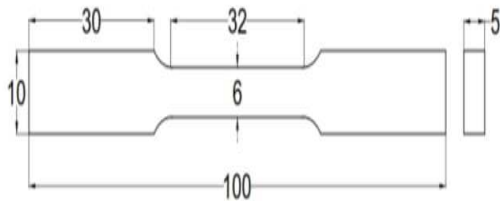
Adapun tahapan yang perlu dilakukan dalam penelitian ini, pertama proses pengelasan yang digunakan menggunakan mesin milling vertikal.



Gambar 2.2 Mesin Milling Vertikal

Tahap kedua adalah melakukan melakukan uji tarik, yang bertujuan untuk mengukur kekuatan suatu bahan terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Uji tarik ini dilakukan sesuai standar ASTM E8. Proses uji tarik dilakukan di PT

Guna Sukses Inti, yang berlokasi di Cikarang.

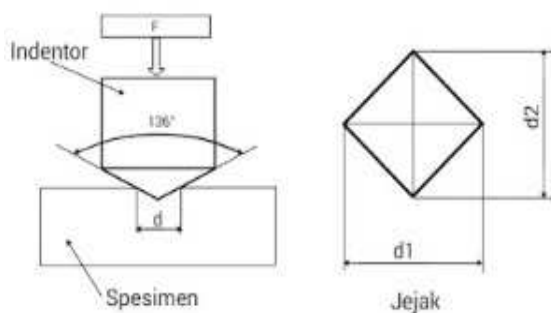


Gambar 2.3 Skema dan ukuran ASTM E8



Gambar 2.4 Spesimen uji tarik

Tahap ketiga adalah melakukan uji kekerasan (Hardness Test). Pengujian kekerasan menggunakan pengujian Vickers, dilakukan di PT Techno Metal Industri, Cikarang. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan logam terhadap deformasi plastis, pada hasil lasan. Mesin uji yang digunakan adalah mesin uji micro Vickers dengan model FM - ARS9000.

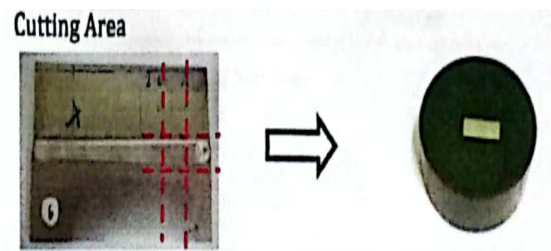


Gambar 2.5 Skema pengujian Vickers



Gambar 2.6 Mesin uji keras Vickers

Tahap keempat, melakukan pengujian metalografi, dilakukan untuk melihat karakteristik hasil lasan welding (Friction Stir Welding) aluminium 1100. Adapun cutting area yang digunakan untuk pengujian metalografi pada daerah HAZ dan nugget seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.7 Cutting area pengujian metalografi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Uji Metalografi (Struktur Mikro)

Pada setiap variasi sudut kemiringan pin tool sebesar 2°, 3°, dan 4°, dilakukan pengujian struktur mikro. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati perubahan yang terjadi pada struktur mikro sebagai hasil dari proses pengelasan FSW, terutama di daerah Heat Affected Zone (HAZ) dan nugget. Pada pengelasan FSW menggunakan paduan aluminium AA-1100, pengujian menunjukkan adanya proses penghalusan partikel-partikel, sedangkan tidak terjadi perubahan fase karena dalam pengelasan ini tidak digunakan logam pengisi.



Gambar 3.1 Struktur mikro variasi 2°



Gambar 3.2 Struktur mikro variasi 3°



Gambar 3.3 Struktur mikro variasi 4°

Pada sudut kemiringan tool sebesar 2°, terdapat banyak butiran halus yang lebih signifikan dibandingkan dengan sudut 4°. Penyebabnya adalah adanya pengadukan partikel oleh probe di daerah nugget zone, serta panas yang dihasilkan dalam proses tersebut. Hal ini mengakibatkan pembentukan struktur butiran yang lebih kecil dan lebih banyak, seperti yang dijelaskan oleh Sumarji (2011). Jika diperhatikan dari ketiga variasi tersebut, semakin kecil sudut tool pin, semakin banyak dan halus pula butiran yang dihasilkan.

Struktur butiran juga memiliki batas-batas butir, yang merupakan penghalang bagi pergerakan dislokasi. Semakin halus butiran, cenderung semakin banyak batas butir yang terbentuk. Banyaknya batas butir akan menyulitkan pergerakan dislokasi, yang pada akhirnya akan meningkatkan sifat mekanik material tersebut, sesuai penjelasan Fajar Nugroho (2022). (Nugroho, Ahmadi, & Hidayat, 2022)

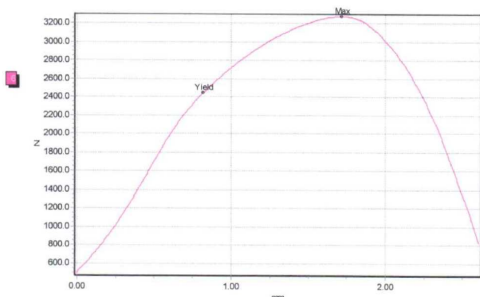
### 3.2 Analisis Uji Tarik

Dari hasil uji tarik yang tercantum dalam tabel 1, ditemukan bahwa parameter dengan kecepatan spindle 910 rpm dan sudut kemiringan 2°, dengan kecepatan feed rate 60 mm/menit (2-60), menunjukkan kekuatan tarik tertinggi. Kekuatan tarik tersebut mencapai 115,9 N/mm<sup>2</sup>, sementara beban maksimum yang dapat ditahan mencapai 3270,4 N. Di sisi lain, parameter dengan kecepatan spindle 910 rpm dan sudut kemiringan 4° menunjukkan kekuatan tarik terendah, dengan beban maksimum sebesar 1972,60 N.

Kemiringan tool pin (°)	Kekuatan tarik maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
2	115,9	11,52%
3	112,4	8,28%

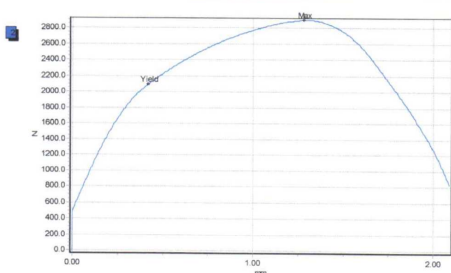
Table 3.1 Tabel hasil uji tarik

No	Dimensi (mm)		Ao (mm <sup>2</sup> )	Yield (N)	Y' S (N/mm <sup>2</sup> )	Max Force (N)	T'S (N/mm <sup>2</sup> )
	Lebar	Tebal					
4	5,89	4,79	28,21	2440,90	86,53	3270,40	115,93



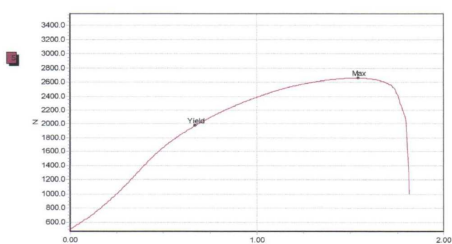
Gambar 3.4 Grafik uji tarik variasi 2°

No	Dimensi (mm)		Ao (mm <sup>2</sup> )	Yield (N)	Y' S (N/mm <sup>2</sup> )	Max Force (N)	T'S (N/mm <sup>2</sup> )
	Lebar	Tebal					
2	5,50	4,69	25,80	2090,20	81,02	2900,30	112,41



Gambar 3.5 Grafik uji tarik variasi 3°

No	Dimensi (mm)		Ao (mm <sup>2</sup> )	Yield (N)	Y' S (N/mm <sup>2</sup> )	Max Force (N)	T'S (N/mm <sup>2</sup> )
	Lebar	Tebal					
6	5,64	5,03	28,37	1972,60	69,53	2660,10	93,76



Gambar 3.6. Grafik uji tarik variasi 4°

Dapat diamati bahwa terdapat perbedaan kekuatan tarik antara base material (187,81 N/mm<sup>2</sup>) dan sambungan hasil pengelasan menggunakan metode friction stir welding pada paduan aluminium 1100. Kekuatan tarik pada sambungan aluminium tersebut menunjukkan penurunan dibandingkan dengan kekuatan tarik base material. Penyebab penurunan ini adalah adanya perubahan struktur mikro pada bagian

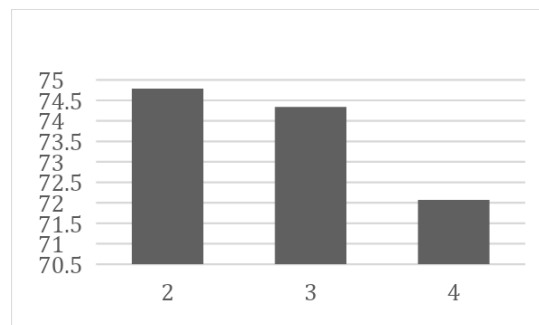
logam yang dilas akibat proses penempaan selama pengelasan.

### 3.3 Analisis Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan yang terdokumentasikan dalam tabel 3.2, terlihat bahwa nilai rata-rata kekerasan Vickers (HV) tertinggi terjadi pada sudut kemiringan tool pin 2°, dengan nilai sebesar 74,79 VHN. Sementara itu, nilai rata-rata kekerasan Vickers terendah terjadi pada spesimen dengan sudut kemiringan tool pin 4°, dengan nilai sebesar 72,07 VHN.

Tabel 3.2 Hasil uji kekerasan

Kemiringan sudut tool pin (°)	HV A	HV B	HV C	Average
2	74,59	77,07	72,72	74,79
3	71,94	75,39	75,69	74,34
4	70,19	71,44	74,57	72,07



Gambar 3.7 Grafik rata-rata hasil uji kekerasan

## 4. PENUTUP

### KESIMPULAN

Pada proses pengelasan Friction Stir Welding (FSW), sudut kemiringan tool pin mempengaruhi sifat mekanis aluminium 1100. Pada sudut 2°, hasil pengelasan menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, yaitu sebesar 74,79 VHN,

sementara pada sudut 4° nilai kekerasan terendah, yaitu sebesar 72,07 VHN. Selain itu, pada sudut 2°, terdapat kekuatan tarik paling besar, yaitu sebesar 115,9 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini membuktikan bahwa kemiringan sudut tool pin memiliki pengaruh pada sifat mekanis dalam pengelasan FSW.

Pada uji metalografi, terlihat bahwa variasi sudut tool 2° memiliki butiran yang lebih halus dan jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan sudut 4°. Hal ini disebabkan oleh adanya pengadukan partikel oleh probe dan panas yang dihasilkan di daerah nugget zone, sehingga terbentuklah struktur butiran kecil. Semakin halus butiran, cenderung semakin banyak batas butir yang terbentuk. Kehadiran banyak batas butir ini menghambat gerakan dislokasi, yang pada akhirnya juga akan meningkatkan sifat mekanis material tersebut.

Sifat Fisis Dan Mekanis Pada Sambungan Aluminium 1100 2019 *JMTM*  
Shanghai Bozhong Group 2014 *Bozhong Metal Group* Bozhong Metal Group

## DAFTAR PUSTAKA

- Pengaruh Kecepatan Feedrate Friction Stir Welding (Fsw) Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan Aa 2024-T3 2022 *Vortex III* 2 116-123
- Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Pengelasan Adukan Gesek Sisi Ganda (Double Sided Friction Stir Welding) Aluminium Seri 5083 2016 *Universitas Muhammadiyah Surakarta* 3 - 17
- Pengaruh Perbedaan Tool Tilt Angle terhadap Kekuatan Tarik, Impak, Pada Aluminium 6061 dengan Pengelasan Double Sided Friction Stir Welding 2019 *Jurnal Teknik Perkapalan* 74 168-175
- Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Friction Stir Welding terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Plat AA 5083 2018 *JMPM* 2 2 96-104
- Pengaruh Sudut Kemiringan Tool Micro Friction Stir Welding Terhadap