

## Analisis Pengaruh Variasi Putaran Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Dan Aluminium Cor Pada Pengelasan FSW

Azmal Azmal<sup>1,\*</sup>, Iyus Iyus<sup>1</sup>, Sutriyatna Sutriyatna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Pontianak, Jl. Ahmad Yani Pontianak, 78124

\*azmal@polnep.ac.id

Diterima: 18 12 2024

Direvisi: 24 12 2024

Disetujui: 30 12 2025

### ABSTRAK

*Friction stir welding (FSW)* adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid ataupun logam tidak meleleh saat dilakukan penyambungan. Metode ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Proses ini banyak digunakan pada material khususnya aluminium. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh variasi putaran (rpm) dimana putaran yang digunakan adalah 1115, 1750 dan 2720 rpm terhadap sifat mekanik dari material aluminium dan aluminium cor pada proses *friction stir welding (FSW)*. Pengujian yang dilakukan adalah kekuatan impak *charpy*, kekerasan *vickers* dan struktur mikro. Pada pengujian kekerasan *vickers* pada proses FSW putaran yang mempunyai kekuatan terbesar berada pada putaran rpm 1750 yaitu sebesar 93,46 HV, pada pengujian *impact* sudut akhir yang terbesar terjadi pada putaran rpm 1115, sudut yang terbentuk  $-0,55 = 1,24 \text{ J/mm}^2$ , patah getas terjadi pada bahan yang mempunyai temperatur rendah dan hal ini terlihat bahwa temperatur dan bentuk takikan berpengaruh terhadap kekuatan impak suatu material.

**Kata kunci:** *Friction stir welding*, impak *charpy*, kekerasan *vickers*.

### ABSTRACT

*Friction stir welding (FSW)* is a process of joining materials in solid condition or metal that does not melt when joining. This method is used so that the characteristics of the parent metal do not change much. This process is widely used in materials, especially aluminum. In this study, an analysis of the effect of rotation variations (rpm) will be carried out where the rotation used is 1115, 1750 and 2720 rpm on the mechanical properties of aluminum and cast aluminum materials in the *friction stir welding (FSW)* process. The tests carried out are *charpy impact strength*, *vickers hardness* and *microstructure*. In the *vickers hardness* test in the FSW process, the rotation that has the greatest strength is at 1750 rpm which is 93.46 HV, In the *impact* test, the largest final angle occurs at 1115 rpm, the angle formed is  $-0.55 = 1.24 \text{ J/mm}^2$ , brittle fracture occurs in materials that have low temperatures and it can be seen that temperature and notch shape affect the impact strength of a material.

**Keywords:** *Friction stir welding*, *charpy impact*, *vickers hardness*.

## PENDAHULUAN

Terdapat beberapa teknik pengelasan yang kita ketahui sekarang ini, seperti SMAW, GMAW, GTAW dan banyak lagi. Proses las tersebut pada dasarnya melelehkan dan menyatukan logam dengan panas yang terbentuk dari busur listrik. Seiring kemajuan zaman, teknik pengelasan terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan lapangan dan karakteristik sambungan yang diinginkan.

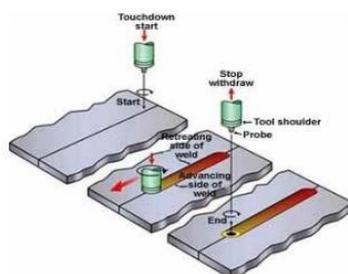
Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru adalah *friction stir welding* (FSW). Metode FSW ditemukan oleh W.Thomas dan rekan-rekannya dari *The Welding Institute* (TWI), Cambridge pada tahun 1991 [1]. Teknik pengelasan FSW sebetulnya berawal dari keingintahuan dan percobaan laboratorium, tetapi dalam perkembangannya FSW menjadi teknik pengelasan yang banyak sekali memberikan manfaat terutama untuk logam Aluminium.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi putaran pada proses *Friction Stir Welding* (FSW) terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro bahan aluminium dan aluminium cor.

*Friction Stir Welding* (FSW) adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid ataupun logam tidak meleleh saat dilakukan penyambungan. Metode ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Proses ini banyak digunakan pada material khususnya Aluminium yang biasanya harus di *heat treatment* terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan jika pengelasan dilakukan dengan pengelasan busur (*arc welding*).

Parameter proses yang penting adalah waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu, tekanan tempa dan kecepatan putar. Pada proses penyambungan ini terjadi proses deformasi plastis akibat tekanan tempa dan terjadi proses difusi karena adanya panas yang tinggi sehingga menghasilkan sambungan yang berkualitas tinggi antara bahan serupa maupun berbeda.

Jika ada dua buah benda yang bergesekan, maka akan timbul energy panas. Prinsip inilah yang mendasari pengelasan. Prinsip kerja dari *friction stir welding*, adalah sebuah mata pisau (*tools*) yang berputar kemudian ditekan diantara 2 material yang akan disatukan. Gesekan dari *tools* berbentuk silindris yang berputar dan dilengkapi dengan sebuah *pin/probe* mengakibatkan pemanasan setempat sehingga pada bagian yang bergesek tersebut melunak. *Tools* bergerak linier dengan kecepatan konstan dan bergerak pada daerah material yang akan disatukan (*joint line*). Dua parameter itu bergerak secara bersama untuk menjaga temperatur pada titik pengelasan.



**Gambar 1.** Prinsip *friction stir welding* (FSW)

Pada logam dasar temperaturnya dapat mencapai 80% dari titik leburnya sehingga dapat menjadi lunak sehingga mudah disambung. Gesekan yang ditimbulkan antara *tools* dan benda kerja dapat menghasilkan panas yang menyebabkan logam terbentuk sebuah aliran plastik yang efektif dari kedua buah logam yang akan disambung.

Aluminium adalah merupakan sebuah logam ringan yang dapat mempunyai ketahanan terhadap korosi dan penghantar listrik yang cukup baik. Kebanyakan logam Aluminium digunakan sebagai peralatan untuk rumah tangga, tetapi Aluminium juga digunakan untuk material pembuatan pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi lainnya. Penambahan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, atau Si dalam paduan Aluminium yang ditujukan untuk menambah sifat mekanik atau fisik sehingga didapat sifat-sifat yang lain, seperti koefisien pemuaian yang rendah [2].

Beberapa pustaka yang berhubungan dengan pengelasan friksi, pengaruh *feed rate* terhadap sifat mekanik pada *friction stir welding* aluminium, sifat mekanik dari hasil pengelasan dengan putaran pada mesin 3600 rpm dan variasi laju kecepatan proses (*feed rate*) 40 mm/min, 64 mm/min, 93 mm/min, 200 mm/min dan 320 mm/min dari pengujian didapat nilai tegangan dan regangan yang paling baik adalah pada variabel 320 (8,86 kg/mm<sup>2</sup>; 2,17%). Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada variabel 64 mm/min (5,75 kg/mm<sup>2</sup>) dan nilai regangan terendah terjadi pada variabel 200 mm/min (1,02%) [3].

Penerapan teknologi las gesek (*friction welding*) dalam rangka penyambungan dua buah logam baja karbon St 41 untuk produk *back spring pin* melakukan penelitian dengan menggunakan mesin las gesek dimana dilakukan variasi waktu gesek sebesar 35, 45, 55 dan 65 detik. Sedangkan parameter proses las gesek adalah kecepatan putarnya 4215 rpm, dan juga tekanan geseknya 127, 27 kg/cm<sup>2</sup> dan tekanan tempanya sebesar 1018,18 kgf/cm<sup>2</sup>. Sampel uji dibuat dari bahan baja karbon ST 41 didapat hasil panas tertinggi terjadi pada waktu gesek sebesar 45 detik. Waktu gesek lebih dari 45 detik menghasilkan panas yang cenderung menurun. Penurunan ini terjadi karena efek gesekan dua buah logam baja ST 41 menurun. Sifat mekanik tertinggi kekuatan tarik sebesar 414,54 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan puntir sebesar 16 kgf.m, kekerasan pada logam las 45,5 HRA dan pada HAZ sebesar 43 HRA terjadi pada proses operasional las gesek dengan waktu sebesar 45 detik [4].

Penelitian proses FSW dilakukan pada aluminium seri 5052 dengan bentuk sambungan tumpul sebanyak 9 pelat. Parameter yang divariasikan adalah design bentuk pin dengan bentuk segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir. Selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi pengamatan uji radiografi, uji tarik, uji keras dan pemeriksaan metalografi dari variasi ini hasil kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada silinder ulir sebesar 38,27 HV dan 120.442 MPa [5].

Karakterisasi sifat fisik dan mekanik sambungan las friksi aluminium seri 6063 T6 dengan variasi parameter pengelasan hasilnya dari uji ketangguhan terlihat kecepatan potong hasil pengelasan yang terbaik adalah 12,5 mm/min [6].

Pengukuran kekerasan pada penelitian ini akan menggunakan metode mikro *vickers* dan dilaksanakan berdasarkan standar ASTM E-9272. Pada pengujian *vickers*, dimana permukaan material diberi beban hanya dalam kisaran gram. Indentor biasanya terbuat dari baja yang dikeraskan, tungsten karbida atau intan yang berbentuk piramid beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136°. Pembebanan diberikan secara perlahan tanpa adanya beban kejut dan ditahan selama 10 – 15 detik. Setelah indentor terangkat, kedua diagonal bekas injakan diukur dan diambil rata-ratanya, kemudian harga kekerasan indentasi *vickers* (VHN) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$HV = \frac{1,854 P}{d^2} \quad (1)$$

P = Beban yang diberikan (kg)

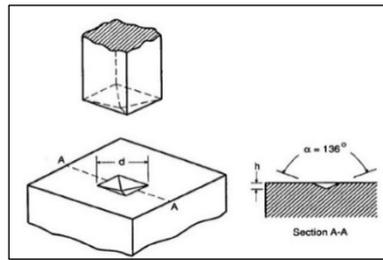
d = Diagonal bekas injakan (mm)

Volume 02 No. 01, bulan Januari, tahun 2025

DOI: <https://doi.org/10.32487/jab.v2i1.33>



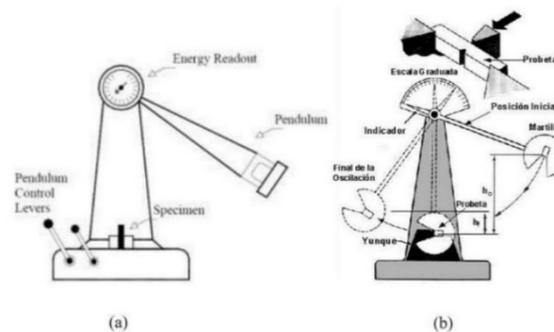
Disseminasikan di bawah lisensi CC BY-NC 4.0



**Gambar 2.** Metode pengujian kekerasan vickers

Pengujian struktur mikro (*metalography*) adalah suatu teknik persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada metalografi adalah pemotongan spesimen (*sectioning*), pembersihan (*mounting*), penggerindaan, abrasi dan pemolesan (*grinding, abrasion and polishing*), pengetsaan (*etching*) dan dilanjutkan dengan mengobservasi pada mikroskop optik. Pengamatan struktur mikro dapat menggunakan mikroskop.

Pengujian *Impact* adalah pembebanan yang sangat cepat. Uji pukul untuk mengukur ketangguhan suatu bahan atas pembebanan pukul/kejut. Uji pukul telah distandarkan oleh *charpy* dan *Izod*. Dalam uji tersebut sepotong spesimen ditabrak suatu ayunan bandul dan energi yang dibutuhkan untuk merusaknya adalah yang diukur. Kedua uji pukul melibatkan pengukuran yang sama, tetapi berbeda bentuk spesimennya [7].



**Gambar 3.** Mesin uji pukul (a) *izod*, dan (b) *charpy*

Pada pengujian metode *charpy*, beban diayun dari ketinggian tertentu untuk memukul benda uji, yang kemudian diukur energi yang diserap oleh perpatahannya. Batang uji *charpy* kemudian diletakkan *horizontal* pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi takik oleh pendulum berat berayun. Ilustrasi pengujian impak metode *charpy* diperlihatkan pada gambar 3.

Energi impak yang dihasilkan diperoleh berdasarkan perbedaan besarnya sudut yang dibentuk pada saat sebelum dan sesudah pengimpakkan. Energi sebelum pengimpakkan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$W = m \cdot L(1 - \cos\Delta\alpha) \quad (2)$$

dimana:

W = energi impak (J),

m = massa bandul (kg),

L = panjang lengan bandul (m)

$\Delta\alpha$  = perbedaan sudut ayunan bandul sebelum dan sesudah pengimpakan.

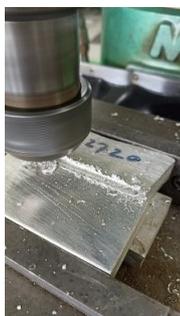
## METODE PENELITIAN

Langkah pertama mempersiapkan material aluminium dan aluminium cor dengan ukuran 5 cm x 10 cm dengan tebal 5 mm kemudian dilakukan penghalusan dan meratakan kedua permukaan dengan proses *milling/frais*.



**Gambar 4.** Proses meratakan permukaan

Langkah kedua, proses pengelasan *friction stir welding* pada penelitian ini dilakukan menggunakan mesin *milling/frais* dengan variasi putaran 1115, 1750 dan 2720 rpm. Prinsip dasar dari proses pengelasan FSW yaitu dengan menggunakan sebuah *tools holder* dari bahan HSS dipasang pada *collet arbor* yang terdiri dari *pin* dan *shoulder* yang diputar pada kecepatan putaran tertentu. Kemudian melakukan penetrasi pada 2 buah ujung pelat atau lembaran logam dalam hal ini logam aluminium dan aluminium cor yang akan disambung. Setelah penetrasi pada tingkat kedalaman tertentu, *tools* akan bergerak sepanjang garis sambungan antara logam yang disambung.



**Gambar 5.** Proses pengelasan FSW

Langkah ketiga, finising dan pembuatan specimen uji sesuai standar. Pengujian yang dilakukan pengujian impak *charpy*, kekerasan *vickers* dan analisa metalografi.



**Gambar 6.** Benda uji untuk pengujian impak *charpy*, kekerasan *vickers*



**Gambar 7.** Benda uji untuk analisa metalografi.

Langkah keempat, pembuatan specimen uji kekerasan, uji *vickers* dan *metalografi* sesuai standar. Dari hasil pengujian dilakukan pengolahan data berupa hubungan variasi putaran terhadap harga kekerasan, kekuatan impact dan struktur mikro logam pada daerah logam induk, HAZ dan sambungan logam las.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

- Pengujian struktur mikro (*metalography*)

**Tabel 1.** Data komposisi aluminium.

	Komposisi kimia (%)						
	Al	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Ni
Aluminium Cor	87,5	0,538	1,85	0,285	0,0391	0,156	0,341
Aluminium Cetakan	69,4	0,0752	0,919	0,0471	0,0023	0,173	0,101

Pada tabel 1 merupakan hasil pengujian struktur mikro (*metalography*) untuk menjelaskan komposisi kimia yang terdapat pada aluminium cor dan aluminium cetakan, hal ini dilakukan karena aluminium cor tidak mempunyai kode tertentu.

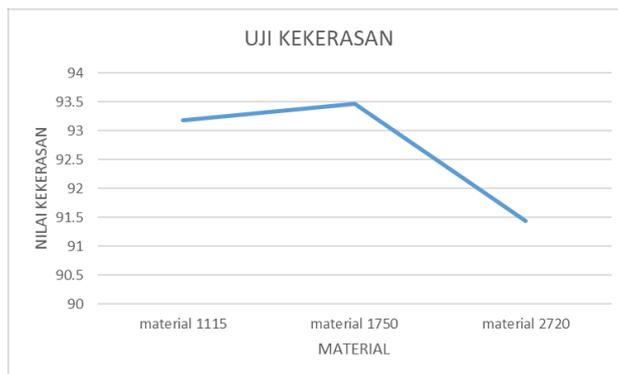
- Pengujian kekerasan *vickers*

Pada pengujian kekerasan *vickers* sampel bahan aluminium dan aluminium cor yang sudah mengalami proses FSW dibuat sebanyak 5 buah. Benda uji dibuat dengan panjang 50 mm dan lebar 5 mm. Sampel kemudian di ukur dan diberi tanda yang berjarak 10 mm, sehingga didapatkan 5 bagian. Kemudian dilakukan uji kekerasan *vickers* dan datanya dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut:

**Tabel 2.** Data kekerasan *vickers* bahan aluminium dan aluminium cor.

Nomor sampel	Kekerasan <i>vickers</i> (HV)		
	material 1115	material rpm 1750	material rpm 2720
1	92,88	92,18	103,48
2	106,42	102,82	96,32
3	80,8	92,24	78,36
4	94,2	87,48	90,86
5	91,62	92,58	88,16
	93,184	93,46	91,436

Dari data tabel 2 di atas maka dibuat grafik hubungan kekerasan *vickers* dan material hasil FSW seperti pada gambar 8. dibawah ini:



**Gambar 8.** Grafik hubungan kekerasan *vickers* dan hasil FSW

**Tabel 3.** Data uji *impact* bahan aluminium dan aluminium cor.

Uji impact

Nomor sampel	material rpm 1115		material rpm 1750		material rpm 2720	
	Sudut Akhir	Kekuatan <i>impact</i> (J/mm <sup>2</sup> )	Sudut Akhir	Kekuatan <i>impact</i> (J/mm <sup>2</sup> )	Sudut Akhir	Kekuatan <i>impact</i> (J/mm <sup>2</sup> )
1	-0,529	1,38983	-0,754	0,06671	-0,515	1,47742
2	-0,656	0,647374	-0,891	-0,735526	-0,469	1,745627
3	-0,601	0,966654	-0,777	-0,065343	-0,5	1,565937
4	-0,484	1,655348	-0,777	-0,065343	-0,829	-0,37077
5	-0,5	1,565937	-0,719	0,274903	-0,874	-0,639074
	-0,554	1,245029	-0,783	-0,104918	-0,619	0,861495

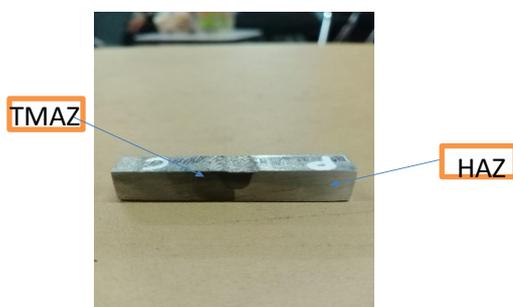
## Pembahasan

### a). Pengujian Kekerasan Vickers.

Berdasarkan tabel 2 serta grafik 1 dapat dilihat bahwa pada proses FSW, hasil pengujian *vickers* pada putaran rpm 1115 menunjukkan hasil 93, 184 HV, pada putaran rpm 1750 hasilnya 93, 46 HV, dan putaran rpm 2720 hasilnya 91,436 HV. Ini berarti dari putaran rpm 1115 ke putaran rpm 1750, hasil pengujian *vickers* mengalami kenaikan, setelah itu pada putaran 2720, hasil *vickers* mengalami penurunan.

### b). Pengujian Impact.

Untuk pengujian impact, berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa pada proses FSW dengan putaran rpm 1115, sudut yang terbentuk  $-0,55 = 1,24 \text{ J/mm}^2$ , pada putaran rpm 1750, sudut yang terbentuk  $-0,78 = -0,10 \text{ J/mm}^2$ , dan putaran 2720 sudut yang terbentuk  $-0,61 = 0,86 \text{ J/mm}^2$ . Sudut yang terbesar terjadi pada rpm 1750. Semakin besar sudut yang terbentuk semakin besar usaha yang dilakukan.



**Gambar 9.** Hasil akhir FSW

HAZ = merupakan daerah yang paling dekat dengan lokasi pengelasan.

TMAZ = merupakan daerah yang terdeformasi plastis oleh *tools*.

Berdasarkan data-data di atas menunjukkan bahwa hasil pengujian kekerasan *vickers* dan pengujian *impact* untuk proses FSW putaran yang mempunyai kekuatan terbesar berada pada putaran rpm 1750. Sedangkan untuk daya yang diberikan dalam proses *impact* putaran rpm 1750 mengalami daya yang terkecil dan bahkan mendekati tidak ada daya yang dilakukan.

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil suatu kesimpulan bahwa pengujian kekerasan *vickers* pada proses FSW putaran yang mempunyai kekuatan terbesar berada pada putaran rpm 1750 yaitu sebesar 93,46 HV, sedangkan pada pengujian *impact* sudut akhir yang terbesar terjadi pada putaran rpm 1115, sudut yang terbentuk  $-0,55 = 1,24 \text{ J/mm}^2$ , patah getas terjadi pada bahan yang mempunyai temperatur rendah dan hal ini terlihat bahwa temperatur dan bentuk takikan berpengaruh terhadap kekuatan impak suatu material.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tarmizi, B.P. "*Analisa Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Proses Friction Stir Welding Aluminium 5052.*" Jurnal Riset Industri Vol. 10 No. 2, 2016: 70-82.
- [2] Teuku Haikal Derniawan, N., "*Analisa Pengaruh Pengaruh Putaran Spindel Pada Friction Welding Terhadap Tensile Strength Aluminium 6061.*" Jurnal Mesin Sains Terapan Vol. 5 No. 1, 2021: 46-51.
- [3] Wijayanto, J. "*Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pada Friction Stir Welding Aluminium.*" Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III. Yogyakarta: IST AKPRIND, 2012. A-325 - A-331.
- [4] Hadi, Syamsul. *Teknologi Bahan*. Yogyakarta: Andi, 2016.
- [5] Purwaningrum, Y. "*Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Las Friksi Aluminium Seri 6063 T6 Dengan Variasi Parameter Pengelasan.*" Jurnal Teknik Mesin, Volume 12, Nomor 1, 2012: 8 -16.
- [6] Husodo, Nur. "*Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) Dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 Pada Produk Back Spring Pin.*" Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6, No.1, 2013: 43-52.
- [7] Murjito, A. M. "*Optimasi Sambungan Friction Welding Pada Aluminium Dengan Model Sambungan Chamfer.*" Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA). Malang: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang, 2016. 109-117.

