

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* TERHADAP SIFAT FISIK
DAN SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN ALUMINIUM 6061
DENGAN METODE *DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh:
EKO PRASETYO
D200170017**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT
MEKANIK PADA PENGELASAN ALUMINIUM 6061 DENGAN METODE
*DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

EKO PRASETYO

D 200 170 017

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Ir. Agus Hariyanto, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT
MEKANIK PADA PENGELASAN ALUMINIUM 6061 DENGAN METODE
*DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING***

**OLEH
EKO PRASETYO
D200170017**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada hari Rabu, 04 September 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji :

1. **Ir. Agus Hariyanto, M.T.**
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Ir. Sunardi Wiyono, M.T.**
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. **M. Alfatih H. S.T., M.T.**
(Anggota 2 Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM.

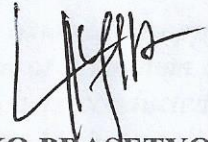
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak beneran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 04 Oktober 2019

Penulis



EKO PRASETYO

NIM : D 200 170 017

PENGARUH KECEPATAN SPINDLE TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN ALUMINIUM 6061 DENGAN METODE DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING

Abstrak

Aluminium adalah salah satu material yang memiliki sifat mampu las yang buruk, karena terdapat lapisan oksida pada permukaan aluminium yang membuatnya sulit untuk dilas. Hal ini dapat diatasi dengan pengelasan *solid state welding*, yaitu proses pengelasan yang dilakukan saat logam dalam kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya. Salah satu jenis pengelasan *solid state welding* adalah *friction stir welding* (FSW). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fisik dan mekanik pada sambungan las dengan cara pengujian bending, pengujian kekerasan *vickers*, dan pengamatan struktur mikro. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan aluminium seri 6061 dengan tebal 3mm, dengan jenis sambungan *double side square butt joint*. Dibuat dengan variasi kecepatan *spindle* 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm, dengan *feed rate* konstan 24 mm/menit dan tilt angle 3°. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* tertinggi terjadi pada variasi 1320 rpm sebesar 252,51 MPa. Nilai kekerasan pada area *weld nugget* tertinggi juga terdapat pada variasi 1320 rpm sebesar 49,3 HV. Hal ini disebabkan gesekan antara *tool* dengan material pada variasi 1320 rpm lebih sedikit sehingga panas yang diterima lebih kecil. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan daerah HAZ mengalami perubahan butiran menjadi sedikit lebih besar dan daerah *weld nugget* mengalami perubahan butiran lebih besar dan merata bila dibandingkan daerah *base metal*.

Kata Kunci : *Friction Stir Welding, Double side square butt joint, Aluminium 6061*

Abstract

Aluminum is one of material have bad weldability, because of the oxide layer appear on the aluminum surface and make it hard to welding. The problem of aluminum can be overcome with solid state welding, that is welding process wich is conducted when metal on the solid condition or metal didn't reach melting point. Such as solid state welding is friction stir welding (FSW). This research is aiming to find phisycal and mechanical characteristic on weld joint using bending test, vickers hardness test, and micro structur observation. Welding process on this research is using aluminum 6061 series with 3mm thickness, joint type using double side square butt joint. Various of spindle speed is 1320 rpm, 1750 rpm, and 2220 rpm, with constant feedrate 24 mm/minute and tilt angle 3°. The result of bending test shows the highest flexural strength is on 1320 rpm varian is 252.51 MPa. The highest hardness number on weld nugget is on 1320 rpm varian 49.3 HV. Its caused friction of tool and material on 1320rpm is less, so the thermal input for 1320 rpm is less too. The result of micro structur observation is shows the HAZ zone has been change grain structure bigger than base metal and weld nugget zone has been change grain structure biggest than base metal.

Keywords : *Friction Stir Welding, Double side square butt joint, Aluminum 6061*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri sekarang ini terdapat banyak sekali produk/komponen yang akan digunakan harus memiliki sifat yang kuat tetapi juga ringan. Aluminium termasuk logam ringan yang paling banyak digunakan untuk dunia industri, karena memiliki kekuatan yang cukup tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Tetapi Aluminium memiliki sifat mampu las (*weld ability*) yang kurang baik jika dibandingkan jenis logam lainnya. Hal ini dapat diatasi dengan pengelasan Solid State Welding.

Pengelasan SSW sendiri adalah proses pengelasan yang dilakukan saat logam dalam kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya. Salah satu metode SSW yang sering digunakan adalah *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari *tool* yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan.

Friction Stir Welding sendiri adalah suatu proses pengelasan baru yang diciptakan oleh Wayne Thomas di TWI (*The Welding Institute*) pada Desember 1991. Pengelasan FSW sering diaplikasikan pada logam aluminium atau pada *dissimilar logam*. Kelemahan saat proses pengelasan FSW terjadi pada sambungan lasan yang mengalami pelunakan dan penurunan tegangan tarik akibat proses rekristalisasi di nugget zone selama proses pengelasan berlangsung.

Faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan FSW adalah *welding tool*, kecepatan putar *tool*, kecepatan pengelasan/ *feed rate*, dan gaya tekan *tool* terhadap benda kerja. Apabila dapat dilakukan pemilihan parameter FSW yang tepat, maka kekuatan sambungan akan meningkat dan cacat pengelasan dapat diminimalkan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahannya adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh kecepatan *spindle* terhadap kekuatan *bending* aluminium 6061 hasil pengelasan FSW dengan jenis sambungan *double side square butt joint*.
- 2) Bagaimana pengaruh kecepatan *spindle* terhadap nilai kekerasan *vickers* aluminium 6061 hasil pengelasan FSW dengan jenis sambungan *double side square butt joint*.

- 3) Bagaimana pengaruh kecepatan *spindle* terhadap perubahan struktur mikro aluminium 6061 hasil pengelasan FSW dengan jenis sambungan *double side square butt joint*.

1.3 Batasan Masalah

Melihat banyaknya masalah dalam penelitian ini, maka dapat dibuat batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Metode pengelasan dengan menggunakan metode *Friction stir welding* (FSW).
- 2) Material yang digunakan adalah aluminium 6061 dengan ketebalan 3 mm.
- 3) Sambungan las yang digunakan jenis sambungan *double side square butt joint*.
- 4) *Tool joint* yang digunakan jenis *taper cylindrical* dengan diameter *shoulder* 15 mm dan diameter pin 5 mm dengan *taper* 3mm.
- 5) Pengujian yang dilakukan mencakup tentang pengujian komposisi kimia dengan standar ASTM B209M, pengujian *bending* dengan standar yang digunakan ASTM D790, pengujian kekerasan *vickers* dengan standar yang digunakan ASTM E384 dan analisa struktur mikro dengan standar yang digunakan ASTM E3.
- 6) Sudut *spindle* yang digunakan adalah 87°
- 7) Variasi kecepatan *spindle* yang digunakan adalah 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm.

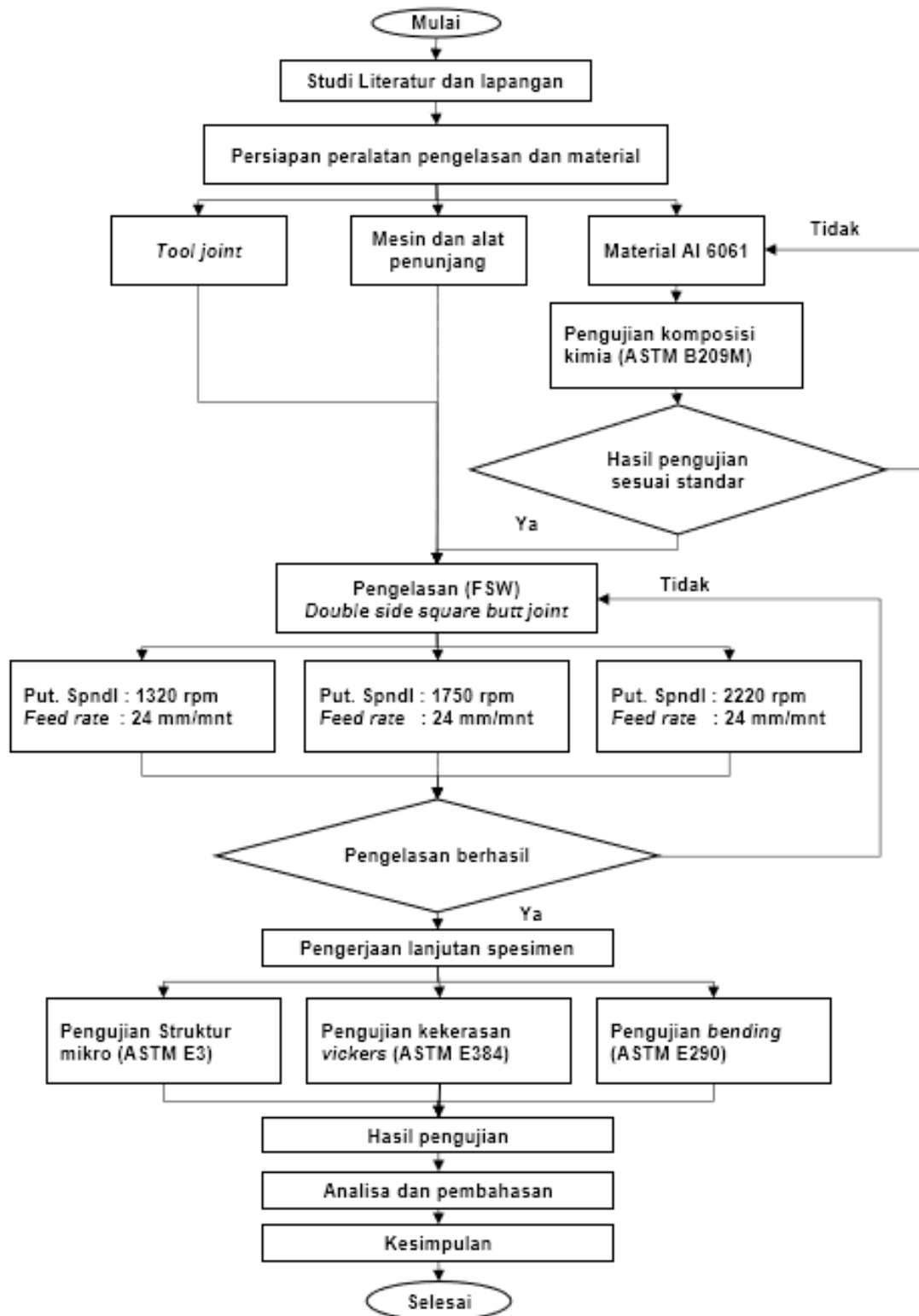
1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Memvalidasi nilai komposisi kimia dari *base metal* aluminium 6061 dibandingkan dengan standar ASTM B209M.
- 2) Mengetahui nilai kekuatan *bending* terhadap variasi kecepatan *spindle* 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm dengan standar ASTM D790 .
- 3) Mengetahui nilai kekerasan *vickers* terhadap variasi kecepatan *spindle* 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm dengan standar ASTM E384.
- 4) Mengetahui perubahan struktur mikro terhadap variasi kecepatan *spindle* 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm dengan standar ASTM E3.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) *Base Metal* (Aluminium 6061)
- 2) *Tool Joint*
- 3) *Backing Plate*
- 4) Mesin *Milling*
- 5) Jangka Sorong
- 6) Gergaji besi
- 7) Kikir dan amplas kertas
- 8) *Universal Testing Machine*
- 9) *Vickers Micro Hardness Tester*
- 10) Mikroskop Metalografi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia Menurut Standar ASTM B209M

Dari data hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa material *base metal* yang digunakan adalah aluminium 6061, dikarenakan dari hasil pengujian komposisi kimia diperoleh nilai dari kandungan silikon sebesar 0,49% dari standar 0,40%-0,80%, kandungan Magnesium sebesar 0,8229% dari batas standar 0,80%-1,20% dan kandungan Aluminium sebesar 98,05% dari batas standar yaitu sisa dari kandungan seluruhnya.

3.2 Pengujian *Bending* Menurut Standar ASTM D790

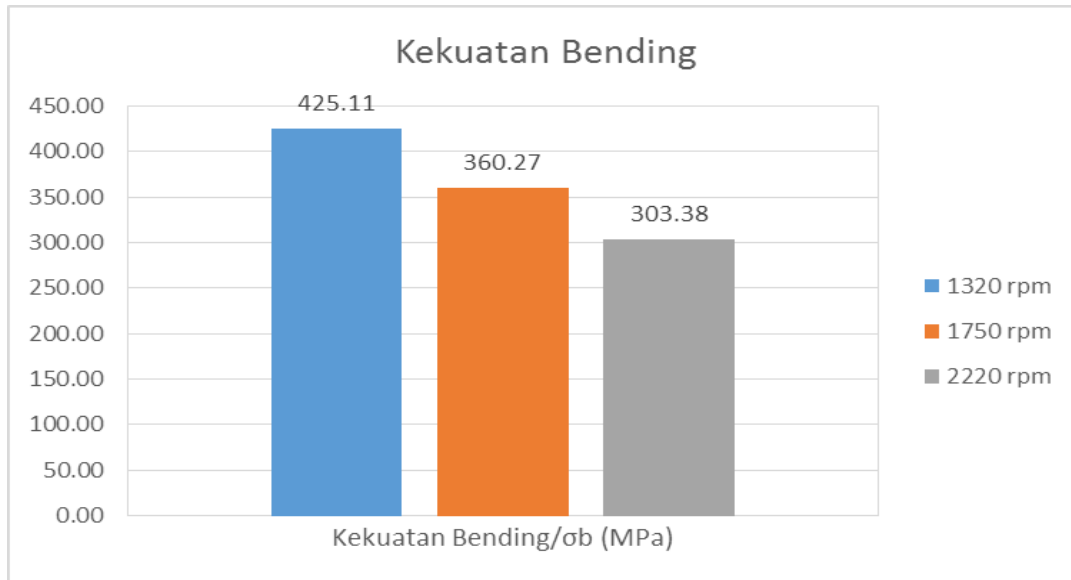
Pengujian *bending* pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan *bending* spesimen hasil pengelasan FSW. Dari hasil pengujian *bending* pada spesimen variasi kecepatan 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian *bending*

No.	Variasi Kecepatan <i>spindle</i>	Kekuatan <i>bending</i> (MPa)	Regangan <i>bending</i> (mm/mm)	Modulus Elastisitas <i>bending</i> (GPa)
1.	1320 rpm	425,11	0,18	22,67
2.	1750 rpm	360,27	0,19	21,62
3.	2220 rpm	303,38	0,20	13,48

3.2.1 Kekuatan Bending (σ_b)

Dari data hasil pengujian, nilai kekuatan bending dari ketiga variasi kecepatan *spindle* adalah sebagai berikut.

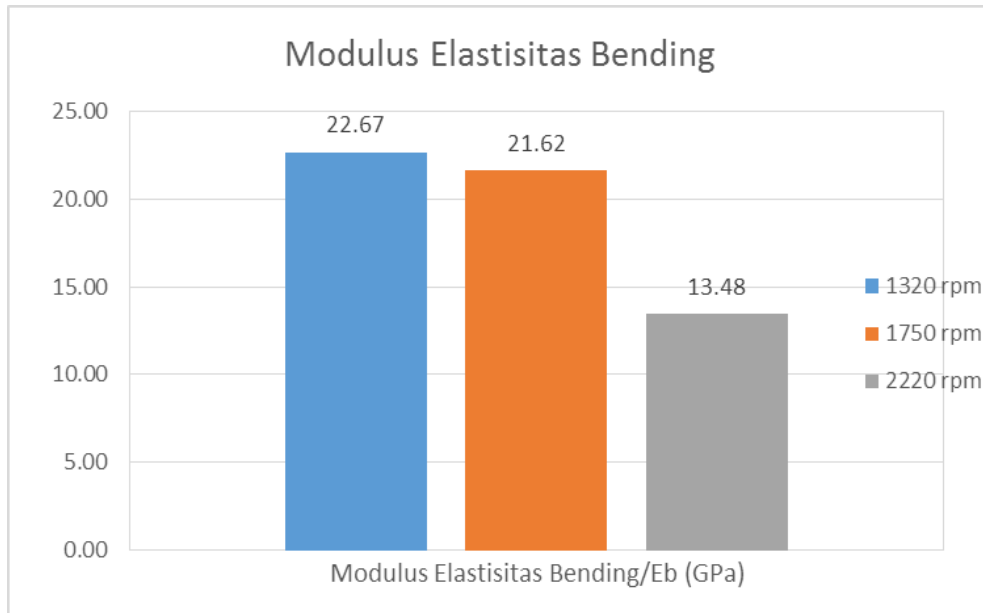


Gambar 2. Grafik Kekuatan *bending* pada tiap variasi kecepatan

Nilai kekuatan bending sendiri adalah sama dengan nilai tegangan maksimum. Pada grafik di atas diketahui bahwa nilai kekuatan bending pada variasi kecepatan 1320 rpm adalah yang paling tinggi dan kekuatan bending pada variasi kecepatan 2220 rpm adalah yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan *spindle* yang digunakan akan membuat nilai kekuatan *bending* pada hasil pengelasan FSW sambungan *double side* menjadi turun.

3.2.2 Modulus Elastisitas *Bending* (E_b)

Melalui kurva tegangan - regangan *bending* dapat dicari nilai modulus elastisitasnya dengan menggunakan metode *offset* sebagai berikut.

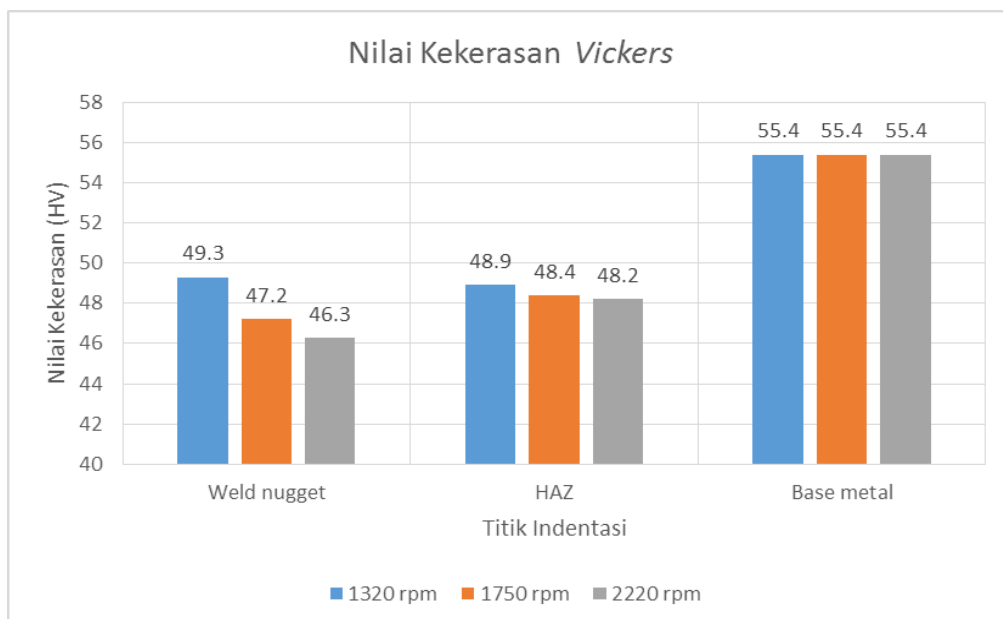


Gambar 3. Grafik Modulus elastisitas *bending*

Dari data gambar 3 diketahui bahwa nilai modulus elastisitas dari variasi kecepatan 1320 rpm yang paling besar sebesar 22,67 GPa, bila dibandingkan dengan variasi kecepatan 1750 rpm sebesar 21,62 GPa, dan variasi kecepatan 2220 rpm sebesar 13,48 GPa.

3.3 Pengujian Kekerasan *Vickers* Menurut Standar ASTM E384

Data nilai kekerasan dari penelitian yang sudah didapat bisa dibuat sebuah grafik hubungan antara nilai kekerasan dengan titik indentasi berikut.



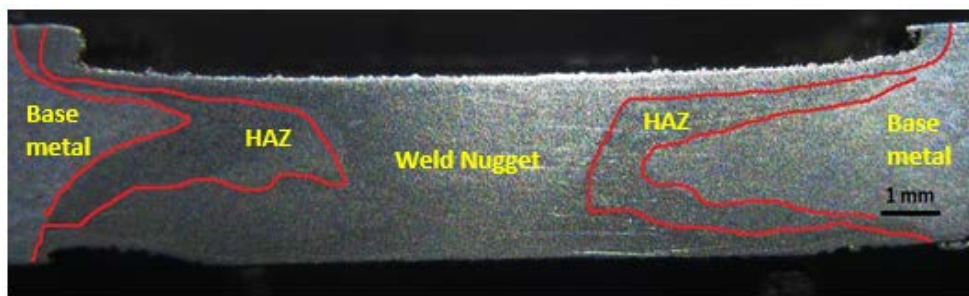
Gambar 4. Grafik nilai kekerasan

Pada grafik di atas, dapat dilihat pada area *weld nugget* pada variasi 1320 rpm nilai kekerasannya adalah 49,3 HV, pada variasi 1750 rpm nilai kekerasannya adalah 47,2 HV, dan pada variasi 2220 rpm nilai kekerasannya adalah 46,3 HV. Kemudian pada area HAZ pada variasi 1320 rpm nilai kekerasannya adalah 48,9 HV, pada variasi 1750 rpm nilai kekerasannya adalah 48,4 HV, dan pada variasi 2220 rpm nilai kekerasannya adalah 48,2 rpm. Sedangkan pada area base metal nilai kekerasannya adalah sama.

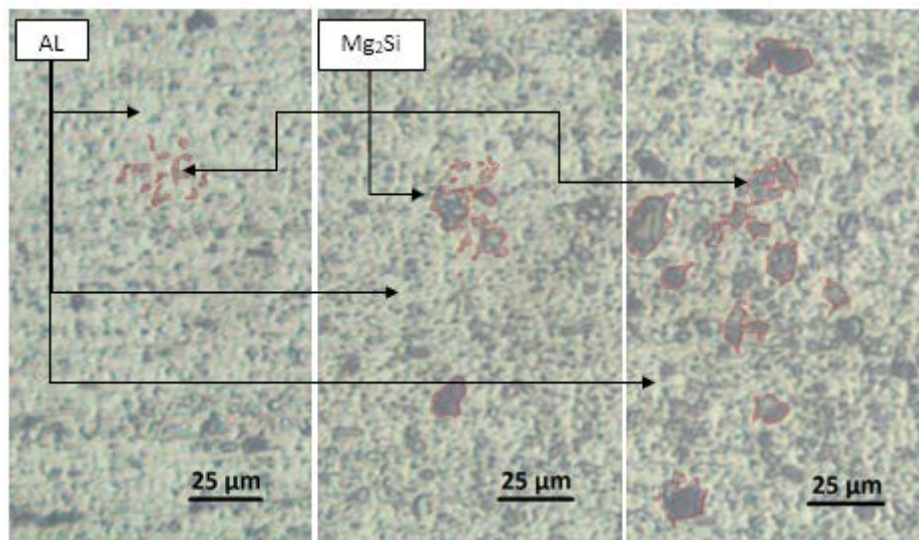
Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan *spindle* mempengaruhi nilai kekerasan pada area *weld nugget* dan HAZ, yaitu semakin tinggi kecepatan *spindle* maka akan semakin rendah nilai kekerasan pada area *weld nugget* dan HAZnya.

3.4 Analisa Struktur Mikro Menurut Standar ASTM E3

Analisa struktur mikro adalah proses pemeriksaan struktur kristal dengan menggunakan mikroskop metalografi.



Gambar 5. batas base metal, HAZ, dan *weld nugget*



Gambar 6. Foto mikro (a). *base metal*, (b). HAZ, dan (c). *weld nugget*

Hasil pengamatan struktur mikro untuk daerah *base metal* pada ke tiga variasi kecepatan *spindle* terlihat struktur butiran yang kecil dan rapat. Hal ini disebabkan karena daerah *base metal* tidak terpengaruh oleh panas yang ditimbulkan gesekan antara *tool joint* dan material spesimen, sehingga struktur mikro dan sifat mekanik dari material tersebut tidak berubah atau masih sama seperti semula.

Hasil pengamatan struktur mikro untuk daerah HAZ pada ke tiga variasi kecepatan *spindle* terlihat memiliki struktur butiran yang lebih besar dari *base metal*. Hal ini disebabkan daerah HAZ termasuk daerah yang terpengaruh panas, tetapi daerah tidak ikut teraduk oleh pin. HAZ sendiri merupakan daerah yang paling dekat dengan pusat (*center*) pengelasan, material pada daerah ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dari *base metal*.

Hasil pengamatan struktur mikro untuk daerah *weld nugget* pada ke tiga variasi kecepatan *spindle* terlihat memiliki butiran struktur mikro yang paling besar bila dibandingkan area *base metal* dan HAZ. Hal ini disebabkan karena daerah *weld nugget* adalah daerah yang terdampak oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan mengalami deformasi plastis pada suhu tinggi. Namun pada daerah ini sudah mengalami rekristalisasi secara lengkap/utuh. Perubahan struktur mikro yang terjadi pada daerah ini berbentuk lebih besar dan penuh/merata apabila dibandingkan dengan daerah HAZ dan *base metal*.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- 1) Hasil pengujian komposisi kimia untuk spesimen *base metal* adalah aluminium 6061, dikarenakan nilai komposisi kimia yang terdapat dalam spesimen sesuai dengan standar ASTM B209M.
- 2) Nilai kekuatan *bending* dari variasi kecepatan 1320 rpm adalah 425,11 MPa, sedangkan variasi kecepatan 1750 rpm adalah 360,27 MPa dan variasi kecepatan 2220 rpm adalah 303,38 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan *spindle*, maka nilai kekuatan *bending* pada hasil pengelasan FSW *double side square butt joint* akan semakin rendah.

- 3) Nilai kekerasan dari ketiga variasi kecepatan *spindle* mengalami penurunan pada daerah HAZ dan *weld nugget* bila dibandingkan dengan daerah *base metal*. Hasil pengujian pada variasi kecepatan 2220 rpm memiliki nilai kekerasan 46,3 HV, variasi kecepatan 1750 rpm dengan nilai kekerasan 47,2 HV, dan variasi kecepatan 1320 rpm dengan nilai kekerasan 49,3 HV. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan *spindle* maka nilai kekerasan pada daerah HAZ dan *weld nugget* akan menjadi semakin rendah.
- 4) Struktur mikro pada daerah HAZ dan *weld nugget* mengalami perubahan bentuk butiran menjadi lebih besar. Pada daerah *weld nugget* variasi kecepatan 2220 rpm terlihat memiliki struktur butir yang paling besar bila dibandingkan dengan variasi kecepatan 1750 rpm dan variasi kecepatan 1320 rpm.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengelasan FSW yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain:

- 1) Spesimen harus dicekam dengan kencang saat akan dilakukan proses pengelasan FSW, agar saat awal proses pengelasan spesimen tidak bergeser karena tekanan *tool joint*.
- 2) *Tool joint* perlu dicek tingkat keausannya saat proses pengelasan selesai, agar saat akan digunakan kembali untuk pengelasan selanjutnya dapat menghasilkan hasil lasan yang maksimal.
- 3) Menunggu sesaat setelah *tool joint* melakukan penetrasi ke dalam spesimen, agar suhu pengelasan merata dan tidak menimbulkan cacat pada hasil lasan.

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials. 2014. *Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate (Metric)*. ASTM. B209M-14

American Society for Testing and Materials. 2001. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM. E3-01

American Society for Testing and Materials. 2011. *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. ASTM. E407-07

American Society for Testing and Materials. 2002. *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*. ASTM. E384-99

- American Society for Testing and Materials. 2003. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. ASTM. D790-03
- Megantoro, L. 2010. *Pengaruh Pengelasan Aluminium 5083 Terhadap Sifat Mekanis Dan Biaya Pengelasan Dengan Perbedaan Diameter Shoulder Pada Friction Stir Welding (FSW)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mishra, RS, Kumar, N, De, PS. 2014. *Friction stir welding and Processing: Science and Engineering*. Springer International Swiss
- Rao, KM. 2017. *Studies On Friction Stir Welding Of Aluminium Alloys 6061- To- 6061 Similar Metals*. IJMET.
- Padmanaban G, Balasubramanian V. 2009. *Selection of FSW Tool Pin Profile, Shoulder Diameter and Material for Joining AZ31B Magnesium Alloy – An Experimental Approach*
- Nandan, R., DebRoy, T., dan Bhadeshia, H. K. D. H. 2008. *Recent Advances in Friction Stir Welding – Process, Weldment Structure and Properties*. Cambridge: University of Cambridge.