

Pengaruh Variasi Putaran Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Sambungan Las Tak Sejenis Paduan Aluminium 5083 dan 6061-T6 Pada Proses Las FSW

Riswanda^(a), Mochammad Noer Ilman^(b)

(a) Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung.

e-mail: risriswanda@gmail.com

(b) Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik

(c) Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK

Sambungan logam tak sejenis (*dissimilar*) seperti paduan aluminium 5083 dan 6061 - T6 banyak dijumpai pada struktur atau rangka kereta api, kapal laut, jembatan-jembatan serta *oil-platform* dan struktur bangunan-bangunan. Namun demikian pengelasan logam tak sejenis relatif lebih sulit dilakukan karena perbedaan metalurgi dan sifat termofisis (*thermophysical property*) dua logam yang berbeda. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh variasi putaran pada proses las FSW terhadap struktur mikro dan sifat mekanik sambungan las tak sejenis (*dissimilar weld*) antara paduan aluminium seri 5083 dan 6061-T6. Proses pengelasan FSW dilakukan pada sambungan tumpul (*butt joint*) pelat ukuran 300x100x3 mm sepanjang 300 mm. Variasi putaran pada proses ini antara lain 1200, 1400 dan 1600 rpm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan visual, foto mikro, kekerasan, serta uji tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk struktur mikro secara umum berubah sehingga mempengaruhi sifat mekanik. Kekerasan rata-rata tertinggi di logam las (*nugget*) terdapat pada spesimen putaran 1400 rpm yaitu 47,98 (kg/mm²). Nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada parameter putaran 1600 rpm yaitu 151 (Mpa).

Kata kunci : Variasi putaran, *dissimilar*, aluminium 5083 dan 6061-T6, las FSW.

1. PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan di bidang teknik karena memiliki berbagai 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. Kelebihan paduan aluminium dibandingkan dengan logam lainnya menyebabkan banyak digunakan di bidang struktur dan permesinan.

Dewasa ini proses las FSW (*friction stir welding*) banyak digunakan untuk menyambung paduan aluminium. Proses FSW telah dipatenkan

oleh TWI (*The Welding Institute*) di Inggris tahun 1991 (Freeman, 2003). Proses FSW adalah teknik las padat dengan menggunakan bantuan *tools* (*shoulder and pin*) yang berputar dengan gerak maju (*feeding*) tertentu sehingga logam mengalami pelunakan (lumer) di kedua sisi benda yang dilas dan terjadi penyambungan. Pemakaian las FSW pada pengelasan aluminium dan paduannya didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: tidak menimbulkan asap, peralatan yang sederhana serta tidak memerlukan operator yang bersertifikat. Kelebihan lain proses FSW yaitu dapat mengelas beberapa paduan aluminium yang sulit dilas (sifat mampu las rendah) termasuk menyambung jenis aluminium yang berbeda (*dissimilar joint*). Bahan yang diproses dalam penelitian ini adalah aluminium paduan tak sejenis (*dissimilar*) seri 5083 dan seri 6061-T6. Pada aplikasi teknik sambungan tak

sejenis aluminium paduan 5083 dan 6061 dapat dijumpai pada struktur-struktur lasan seperti pada I-beam dan batangan-batangan berongga (*hollow channels*) (Huskins, dkk, 2010, Dutta, 1990, Davis, 1998, dan Hatch, 1984).

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*) (Griffing, 1972). Disamping itu sifat mampu las aluminium paduan seri 5083 lebih baik dibanding seri 6061 karena pada aluminium paduan seri 6061 cenderung terjadi retak panas (Mandal, 2005). Variasi putaran pada proses las FSW merupakan salah satu faktor penentu untuk mendapatkan kualitas hasil las yang memenuhi persyaratan. Variasi putaran 1200, 1400 dan 1600 rpm, pada proses las FSW akan dilakukan dengan harapan mendapatkan hasil yang terbaik. Penelitian ini akan melakukan kajian struktur mikro dan sifat mekanik (kekerasan dan kekuatan tarik). Kajian dan pengamatan dari hasil proses las FSW dengan bahan yang berbeda (*dissimilar*) tersebut, diharapkan menghasilkan solusi alternatif yang bisa diaplikasikan dikalangan masyarakat.

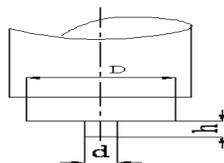
2. Metodologi

Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah pelat aluminium paduan seri 5083 dan 6061-T6. Uji komposisi material dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui unsur kimia dan spesifikasi material yang digunakan.

Proses Pengelasan

Proses las yang dilakukan dalam penelitian ini adalah FSW (*friction stir welding*), dengan parameter antara lain: kecepatan las 4 mm/menit dan variasi putaran 1200, 1400 dan 1600 rpm serta spesifikasi *tools* yang digunakan seperti Gambar 1.



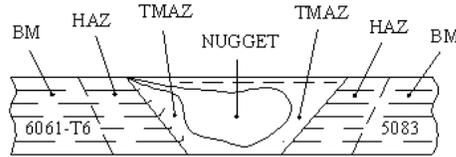
Gambar 1 Spesifikasi *tools*

Dimana:

- D = diameter shoulder (mm)
- d = diameter pin (mm)
- h = tinggi pin (mm)

Karakterisasi Mikrostruktur

Struktur makro dan mikro hasil pengelasan dapat dianalisa dengan pengamatan pada arah transversal. Spesimen disiapkan melalui tahapan sebagai berikut: pemotongan, penggerindaan, pemolesan (*polishing*) dan dietsa menggunakan cairan HF, kemudian diamati dengan mikroskop optik. Posisi pemotretan struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 2.

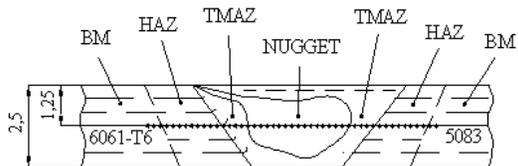


Gambar 2. Posisi pengambilan foto spesimen uji struktur mikro

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro untuk mengetahui distribusi kekerasan didaerah *base metal (unaffected zone)*, *heat affected zone (HAZ)*, *thermomechanically affected zone (TMAZ)* dan *weld metal (WM)* dari masing-masing hasil proses pengelasan, dilakukan dengan metoda pengujian *Vickers* menggunakan beban 100 gr dengan jarak antara titik pengujian 500 µm, ditunjukkan pada Gambar 3. Kekerasa Vickers dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$VHN = \frac{2.P.\sin(\theta/2)}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \left(\frac{kg}{mm^2} \right) \dots\dots 1$$



Gambar 3. Posisi uji kekerasan

Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan pada arah transversal dan spesimen dibuat sesuai dengan standar *JIS non-ferrous metal Z2201 No. 6* seperti terlihat pada Gambar 4. Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari material awal (logam induk) dan material setelah proses pengelasan. Data hasil pengukuran uji tarik selanjutnya diolah dengan menggunakan persamaan 2 dan 3.

Tegangan Teknik (*Engineering Stress*):

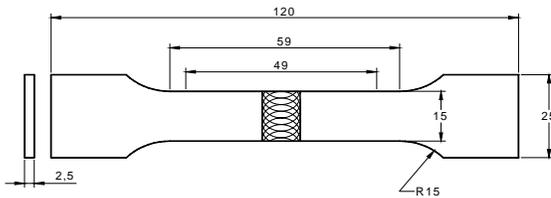
$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots 2)$$

Regangan Teknik (*Engineering Strain*):

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots 3)$$

dimana :

- σ = Tegangan tarik (MPa)
- ϵ = Regangan (%)
- F = Beban (N)
- A_0 = Luas penampang mula-mula (mm²)
- L_0 = Panjang spesimen mula-mula (mm)
- L = Panjang spesimen setelah pengujian (mm)



Gambar 4. Spesimen uji tarik standar JIS Z2201

3. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Material

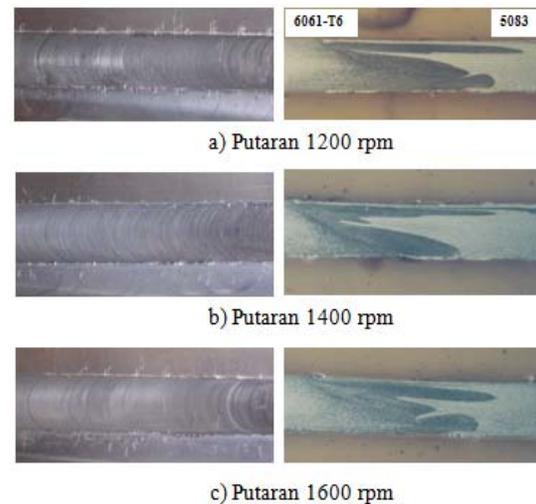
Uji komposisi pada material dilakukan untuk memastikan bahan yang akan diteliti sesuai atau mendekati dengan standar material tersebut. Tabel 1. merupakan komposisi kimia bahan dasar dan logam las hasil pengujian.

Tabel 1. Komposisi kimia dalam % bahan dasar dan logam las

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
6061-T6	0,769	0,366	0,073	0,088	1,11	0,013	0,024	0,277	97,110
5083	0,390	0,333	0,094	0,465	4,800	0,061	0,020	0,121	93,016
Logam las	0,798	0,393	0,074	0,367	1,240	0,024	0,020	0,162	96,750

Analisa secara visual

Hasil proses las pada Gambar 5, secara visual nampak perbedaan bentuk manik-manik (permukaan las) dari masing-masing parameter. Pada putaran 1200 rpm manik-manik las cenderung kasar. Hal ini terjadi karena putaran *tools* terlalu rendah. Hasil pada parameter putaran 1600 rpm menghasilkan manik-manik las yang tidak stasbil, ini disebabkan putaran terlalu cepat. Gambar 5b dengan putaran 1400 rpm menunjukkan hasil yang paling halus (*smoth*). Hal ini terjadi karena putaran yang paling optimal dengan kecepatan pemakanan 4 mm/menit. Hasil foto makro pada Gambar 4 secara umum menunjukkan warna yang berbeda dikarenakan sifat dan unsur bahan yang berbeda. Pada Gambar 5a menunjukkan ikatan las yang kurang kuat. Hal tersebut terlihat dari bentuk cabang kedua bahan minim dan lurus. Pada parameter putaran 1400 rpm menunjukkan cabang yang lebih banyak ini menunjukkan ikatan las lebih kuat jika dibandingkan dengan putaran 1200 rpm. Pada Gambar 5c parameter putaran 1600 rpm lasan berbentuk lengkungan ini menunjukkan ikatan yang paling kuat dibandingkan dengan parameter lainnya.



Gambar 5. Bentuk manik-manik dan penampang las a) 1200 rpm, b) 1400 rpm, c) 1600 rpm.

Analisa struktur mikro

Gambar 6 memperlihatkan profil sambungan las dengan struktur mikro pada masing-masing zona. Gambar 6(a) menunjukkan bahwa logam induk tidak terpengaruh panas struktur mikro berupa butiran memanjang sesuai arah rol. Daerah HAZ 6061-T6 ditunjukkan pada Gambar 6(b), bentuk butiran mengalami perubahan cenderung menjadi besar. Gambar 6(c) menunjukkan daerah TMAZ 6061-T6 (*thermomechanically affected zone*) dan terlihat batas antara logam induk Al 6061-T6 dan 5083. Gambar 6(d) adalah daerah las atau (*nugget*) mengindikasikan campuran antara dua logam induk oleh pin yang berfungsi sebagai pengaduk (*mixer*). Daerah TMAZ 5083 ditunjukkan pada Gambar 6(e) terlihat warna yang berbeda kearah nugget cenderung terang sedangkan kearah Al 5083 terlihat gelap. Gambar 6(f) adalah daerah HAZ 5083 terlihat bentuk butiran membesar akibat waktu proses. Logam induk 5083 ditunjukkan pada Gambar 6(g) daerah ini indikasi tidak mengalami perubahan atau dinamakan daerah tidak terpengaruh panas (*unaffected zone*).

Analisa hasil uji kekerasan

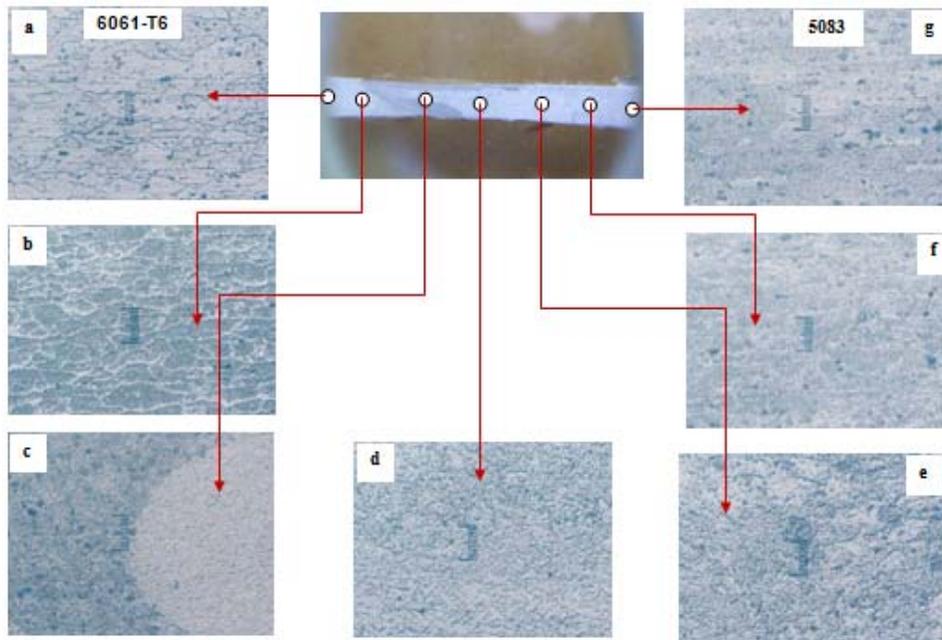
Gambar 7, memperlihatkan grafik hasil uji kekerasan dari pusat las, HAZ dan logam induk. Secara umum terlihat perbedaan distribusi kekerasan pada kedua lasan akibat sifat metalurgi bahan yang berbeda. Distribusi kekerasan secara umum berbentuk busur

dengan kekerasan dibagian tengah (daerah las) lebih rendah dibanding daerah TMAZ, HAZ dan logam induknya. Hal ini akibat panas yang terjadi pada proses las. Rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah *nugget* terjadi pada parameter putaran 1400 rpm yaitu 47,98 (kg/mm^2), sedangkan rata-rata kekerasan terendah terdapat pada spesimen putaran 1600 rpm yaitu 45,52 (kg/mm^2). Kekerasan daerah las HAZ Al 6061-T6 lebih tinggi dibanding daerah las dekat HAZ Al 5083.

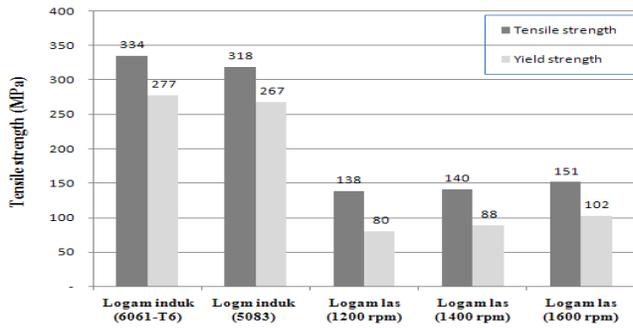
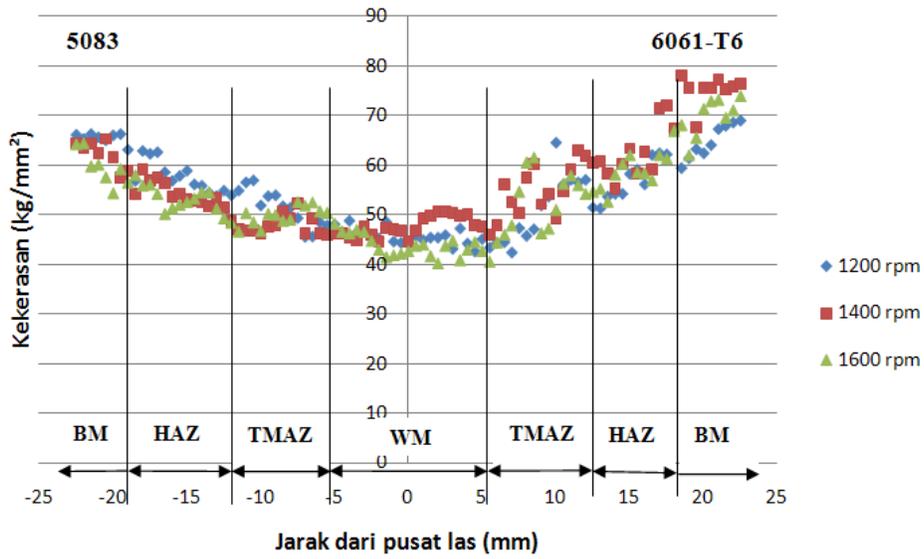
Analisa hasil uji kekuatan tarik

Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan perbedaan dari masing-masing parameter seperti terlihat pada Gambar 8. Hasil pengujian kekuatan tarik tertinggi terdapat pada parameter putaran 1600 rpm, dengan nilai 151 MPa sedangkan kekuatan tarik terendah pada parameter putaran 1200 rpm yaitu 138 MPa.

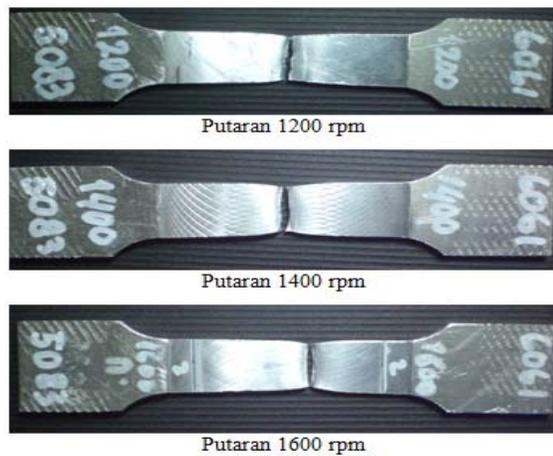
Gambar 9, memperlihatkan posisi patah hasil uji tarik. Posisi patahan terjadi pada daerah las (*nugget*) untuk semua parameter. Hal ini menunjukkan bahwa proses las FSW masih perlu pengkajian ulang guna memperbaiki kualitas hasil las dan sifat mekanik



Gambar 6. Photo struktur makro dan mikro hasil proses las



Gambar 8. Grafik kekuatan tarik



Gambar 9. Posisi patah hasil uji tarik

4. Kesimpulan

Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut antara lain:

1. Parameter putaran 1200 rpm, bentuk manik-manik las kasar dan ikatan las kurang. Hal ini terjadi karena putaran kurang, dan menunjukkan konsistensi terhadap hasil uji kekuatan tarik yang rendah 138 MPa.
2. Hasil uji kekerasan pada daerah las parameter 1400 rpm, menghasilkan nilai rata-rata tertinggi 47,98 (kg/mm²),
3. Putaran 1600 rpm, menghasilkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 151 Mpa.

5. Daftar Pustaka

- Davis, J.R., 1998, "Aluminium and Aluminium Alloys", 4 ed., ASM International, United States of America.
- Dutta, I. & Allen, S.M., 1990, "A calorimetric study of precipitation in commercial alloy 6061" *Journal of Materials Science Letters*, vol. 10, no. 1991, pp. 323-326.
- Freeman, R., 2003, "Friction Stir Welding (FSW)", *TWI Bulletin*, September - October 2003, The Welding Institute (TWI) Inggris.
- Griffing, L., 1972 "Welding Handbook" 6 ed., Published by AMERICAN WELDING SOCIETY, 2501 N.W. 7th Street Miami, Florida 33125.
- Hatch, J.E., 1995. "Properties and Physical Metallurgy", American Society for Metal, American.
- Henny, S.N., 2010, "Pengaruh suhu preheat terhadap perilaku laju perambatan retak patik pada FSW aluminium 6061-T6", Tesis, Teknik Mesin, UGM. Yogyakarta.
- Huskins, EL, Cao, B & Ramesh, K.T., 2010, "Strengthening mechanisms in an Al-Mg alloy". *Materials Science and Engineering Journal*, vol. 527, no. 6, pp. 1292-1298.
- JIS, 1973," *Non Ferrous Metal* ", Japanese International Standar.
- Kou, S, 2003, "Welding Metallurgy", 2 ed., John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Liu, L., Nakayama, H., Fukumoto, S., Yamamoto, A., and Tsubakino, H., 2004, "Microstructure of Friction Stir Welded 6061 Aluminum Alloy", *MATERIALS FORUM VOLUME 28* - Published 2004, Japan.
- Mandal.,2005, "Aluminium welding", 2 ed., Kharagpur, India.