

SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS ALUMINIUM 6061 HASIL *FRICITION WELDING*

Hendry Wicaksana S¹, Santoso Mulyadi², Ahmad Syuhri²

¹ Alumni Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: Santosomulyadi32@yahoo.com

ABSTRACT

The study of the interface mechanical strength of metal alloy friction welded is essential for increasing of the quality of bonding between two materials. In the present study the material is 6061 aluminium alloy and the variation are friction time and chamfer angle. The purpose is to increase the mechanical strength of aluminium 6061 friction welded by combining friction time parameter and chamfer angle. The friction time variations were 60 and 120 second. Whereas the chamfer angles were 0°, 30°, 60°. The joined aluminium then tensile tested, hardness tested and also observed under microscope. The result of mechanical test shows that the variation 30°/120 second give the best result wick the Ultimate Tensile Strength as value as 15.86 N/mm² and the brinell hardness as value as 92 BHN on Zud areas, 99 BHN on Zpd areas and 91 BHN on Zpl areas. Microstructure observation shows that there were porosity and crack on some testing spesimen.

Keyword Chamfer angle, friction time, friction welding, mechanical test, microstructure

PENDAHULUAN

Aluminium paduan seri 6061 atau Al-Mg-Si adalah logam yang mempunyai sifat mampu las yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi, serta tahan korosi. Aluminium seri 6061 banyak digunakan sebagai komponen mesin, alat berat, serta material konstruksi gedung [1]. Namun penyambungan aluminium menggunakan metode las fusi menghasilkan efisiensi sambungan yang rendah [2]. *Friction welding* adalah proses penyambungan *solid state* dimana penyambungan terjadi akibat gerakan relatif antara dua benda kerja yang akan disambung [3]. Sambungan terjadi akibat kontak antara benda kerja yang diputar pada rpm tinggi yang digesekkan dengan benda kerja yang diam. Dengan penambahan tekanan *axial* selama fase gesekan, temperatur permukaan benda kerja akan meningkat hingga mencapai temperatur plastis. Setelah temperatur plastis tercapai maka putaran dihentikan dan tekanan *axial* ditambahkan pada benda kerja. Kombinasi antara tekanan dan temperatur tempa akan membuat benda kerja tersambung [4]. Dengan metode *friction welding* ini kita dapat melakukan penyambungan dalam waktu yang singkat dengan sedikit energi [5]. Dari penelitian *friction welding* yang sudah dilakukan sebelumnya, [6] peneliti menggunakan sudut *chamfer* pada satu sisi spesimen aluminium paduan (Al-Mg-Si) yang disambung dengan metal matriks komposit (Al-SiC). Hasilnya kekuatan tarik dari spesimen yang disambung dengan penambahan sudut *chamfer* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari pada spesimen yang disambung tanpa penambahan sudut *chamfer*. Terdapat juga penelitian lain yang meneliti tentang kekuatan tarik sambungan *friction welding* Aluminium A6061 dengan variasi sudut *chamfer* pada

dua sisi spesimen [7]. Dengan luas kontak permukaan yang berbeda kekuatan tarik maksimal dihasilkan dari spesimen dengan variasi sudut kontak 30°. Penelitian dengan variasi waktu gesek telah dilakukan oleh peneliti terdahulu [1]. Penelitian ini bertujuan meningkatkan kekuatan dari sambungan las aluminium 6061 dengan mengkombinasikan parameter waktu gesek dan sudut *chamfer*.

METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder pejal aluminium paduan seri 6061 dengan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1. Pembuatan spesimen dikerjakan dengan menggunakan mesin konvensional, dengan ukuran seperti pada Gambar 1. Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin bubut aciera dengan memodifikasi *chuck* pada kepala lepas yang berfungsi sebagai penahan sekaligus sebagai pengukur tekanan ketika kedua benda kerja digesek dan diberikan tekanan. Parameter penelitian ini disajikan pada Tabel 2. Untuk pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8. Sementara untuk pengujian kekerasan Brinell menggunakan standar ASTM E10 dengan alat uji *universal hardness tester*. Dilakukan tiga kali pengulangan untuk setiap variasi pengelasan pada pengujian tarik dan kekerasan. Pengamatan mikro dilakukan untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk pada bagian sekitar sambungan yang terbentuk dengan menggunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4 pada perbesaran 100X. Data hasil pengujian mekanik yang didapat dari alat uji diolah dengan

menggunakan *software* Microsoft Excel, kemudian untuk mempermudah dalam menganalisa maka data juga ditampilkan dalam bentuk grafik.

Tabel 1. Komposisi kimia Al 6061

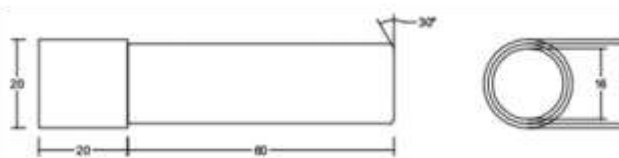
Al	Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Mn	Ti	Zn	Ni	Ga	Bal
96.0	2.1	0.95	0.33	0.17	0.066	0.04	0.022	0.014	0.014	0.013	<0.01

Tabel 2. Parameter percobaan *Friction welding*

Rotational speed	n (sec ⁻¹)	800
Friction pressure	P_1 (kg/cm ²)	15
Friction time	t_1 (sec)	60, 120
Upset pressure	P_2 (kg/cm ²)	75
Upset time	t_2 (sec)	30
Chamfer angle	A	0°, 30°, 60°



Gambar spesimen (a)



Gambar spesimen (b)



Gambar spesimen (c)

Gambar 1(a) Spesimen tanpa sudut *chamfer*, (b) Spesimen dengan sudut *chamfer* 30°, (c) Spesimen dengan sudut *chamfer* 60°

HASIL PENELITIAN

Tabel 3. Hasil pengujian tarik

Spesimen	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	Rata-rata ΔL (mm)	UTS (Kgf/mm ²)			Rata-rata σ (Kgf/mm ²)		Rata-rata ϵ (%)
				σ_1	σ_2	σ_3	Rata-rata σ	Rata-rata ϵ	
60 s	0°	122.65	100	5.0	7.1	7.9	6.7	7.2	0.05
	30°	122.65	100	7.2	6.8	7.5	8.3	7.5	0.07
	60°	122.65	100	7.3	4.6	5.6	5.1	5.1	0.07
120 s	0°	122.65	100	8.5	10.9	8.4	10.1	9.8	0.08
	30°	122.65	100	5.3	14.4	17.9	15.2	15.8	0.05
	60°	122.65	100	10.6	6.4	6.1	4.7	5.7	0.1
Al 6061	122.65	100	30.5		32.61		32.61	0.3	

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik untuk variasi parameter waktu gesek 60 detik mempunyai karakteristik yang sama dengan variasi parameter waktu gesek 120 detik. Rata-rata kekuatan

tarik maksimal spesimen dengan variasi parameter waktu gesek 120 detik lebih tinggi jika dibandingkan dengan rata-rata kekuatan tarik maksimal spesimen dengan variasi parameter waktu gesek 60 detik. Untuk variasi sudut *chamfer* nilai kekuatan tarik maksimal tertinggi dihasilkan dari spesimen dengan sudut *chamfer* 30°, kemudian sudut *chamfer* 0°, dan spesimen dengan sudut *chamfer* 60° menghasilkan rata-rata kekuatan tarik terendah.

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan

Friction Time	Chamfer	Nilai Kekerasan (BHN)		
		Zud	Zpd	Zpl
60 s	0°	85	97	84
	30°	86	99	86
	60°	79	80	74
120 s	0°	90	98	88
	30°	92	99	91
	60°	80	82	77

Tabel 4 menunjukkan bahwa rata-rata kekerasan spesimen dengan variasi parameter waktu gesek 120 detik lebih tinggi jika dibandingkan dengan rata-rata kekerasan spesimen dengan variasi parameter waktu gesek 60 detik. Untuk variasi sudut *chamfer* nilai kekerasan tertinggi dihasilkan dari spesimen dengan sudut *chamfer* 30°, kemudian sudut *chamfer* 0°, dan spesimen dengan sudut *chamfer* 60° menghasilkan rata-rata kekerasan terendah. Daerah pengelasan yang memiliki kekerasan rata-rata tertinggi adalah daerah Zpd, kemudian daerah Zud dan rata-rata kekerasan terendah berada di daerah Zpl.

PEMBAHASAN

PENGAMATAN VISUAL



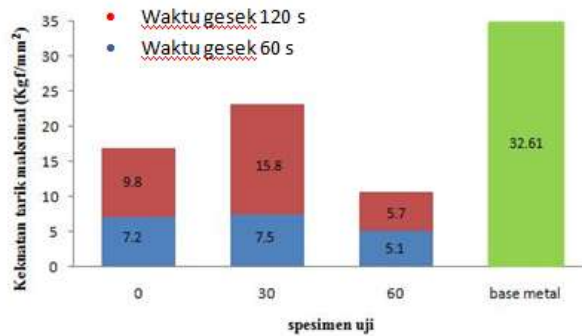
Gambar 2. Tampilan melintang dari hasil sambungan *Friction welding*

Hasil sambungan dari *Friction welding* ditampilkan pada Gambar 2. Dari pemeriksaan hasil penyambungan secara visual dapat diketahui bahwa hasilnya simetris. Dua buah benda kerja yang telah tersambung kaku seperti disambung dengan menggunakan metode pengelasan fusi.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada daerah lasan terbentuk *upset*. *Upset* adalah bagian logam yang mengalami deformasi plastis akibat terjadinya temperatur yang tinggi dari gesekan antar permukaan dan tekanan yang diberikan. Gambar 2 mengindikasikan bahwa *upset* terbentuk dengan bagus karena kedua permukaan spesimen mampu mengalir keluar. Besar kecilnya *upset* yang terbentuk juga

dapat mengindikasikan kondisi pengelasan dan hal ini juga berpengaruh pada kualitas sambungan. Selain itu makin besar *upset* yang terbentuk maka panjang sampel uji juga akan berkurang [2].

PENGUJIAN TARIK



Gambar 3. Grafik rata-rata UTS

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian tarik hasil sambungan *friction welding*. Spesimen yang menghasilkan kekuatan tarik maksimal (UTS) tertinggi adalah spesimen dengan variasi 30°/120 detik dengan nilai kekutan tarik maksimal sebesar 15.86 N/mm².



Gambar 4. Bentuk patahan spesimen hasil uji tarik



Gambar 5. Bentuk permukaan patahan hasil uji tarik

Spesimen yang tidak memiliki sudut *chamfer*, material plastis yang terjauh dari titik pusat akan terdorong keluar dan mengurangi luasan daerah lasannya. Peningkatan kekuatan tarik pada spesimen dengan sudut *chamfer* 30° diakibatkan karena material plastis hasil dari fase gesekan tidak seluruhnya terdorong keluar melainkan mengisi sudut *chamfer* sehingga akan meningkatkan daerah lasannya. Sementara pada sudut *chamfer* 60° terjadi penurunan kekuatan. Sudut *chamfer* yang semakin besar membuat material plastis semakin banyak terdorong ke belakang daerah pengelasan, sehingga daerah lasan yang terbentuk juga semakin sempit. Efisiensi kekuatan tarik maksimal tertinggi (UTS) yang didapatkan dari hasil pengelasan dengan metode *friction welding* ini mencapai 48% dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik maksimal (UTS) dari *base metal*. Nilai UTS dari

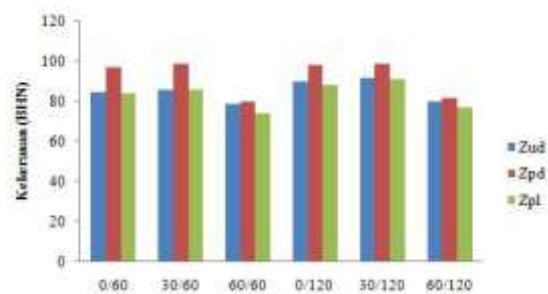
base metal mencapai 32.61 Kg/mm² sementara nilai UTS hasil pengelasan dengan metode *friction welding* menghasilkan kekuatan sebesar 15.8 Kg/mm². Penurunan kekuatan tarik spesimen hasil penyambungan ini diakibatkan oleh panas yang terjadi di daerah sambungan las pada saat proses pengelasan. Semakin tinggi panas yang dikenakan pada material aluminium 6061 maka kekuatan tariknya akan menurun [8]. Gambar 4 dan 5 menunjukkan karakteristik patahan spesimen uji tarik.

PENGUJIAN KEKERASAN

Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga daerah pengelasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Sementara hasil pengujiannya ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 7.



Gambar 6. Ilustrasi daerah pengujian kekerasan



Gambar 7. Grafik hasil pengujian kekerasan

Gambar 7 menunjukkan rata-rata kekerasan spesimen. Secara keseluruhan hasil pengujian kekerasan tertinggi terdapat pada variasi parameter pengelasan 30°/120 detik. Sementara hasil pengujian kekerasan terendah terdapat pada variasi pengelasan 60°/60 detik. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* yang tepat dan waktu gesek yang semakin lama akan menghasilkan nilai kekerasan yang optimal. Hal ini dapat terjadi karena *heat input* yang terjadi selama proses pengelasan akan mempengaruhi struktur metalurgi AA 6061 terutama di daerah Zpd. Struktur mikro pada daerah Zpd akan mengalami penghalusan butir (*grain growth*), dimana butir akan semakin rapat dan jumlah batas butir meningkat, secara tidak langsung mengakibatkan butir-butirnya jadi lebih halus dibandingkan dengan butir pada AA 6061 sebelum dilakukan proses pengelasan.

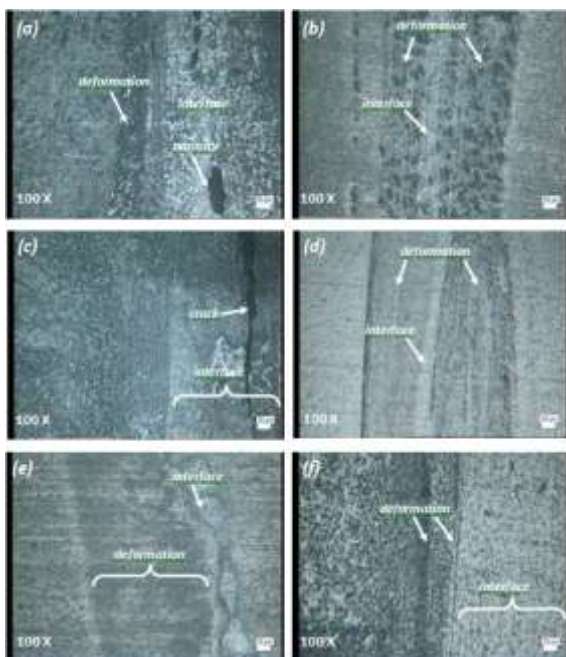
Peningkatan nilai kekerasan pada daerah sekitar sambungan las disebabkan karena mikrostruktur yang terbentuk lebih kecil daripada mikrostruktur *base metal*. Semakin kecil ukuran butir berarti semakin banyak jumlah butir. Jumlah butir yang semakin banyak mengakibatkan area

batas butir semakin luas sehingga semakin banyak terjadi mekanisme *pile up* atau penumpukan dislokasi pada batas butir akibatnya material menjadi semakin keras. Semakin banyak batas butir maka pergerakan dislokasi akan semakin sulit atau terhambat [4].

PENGAMATAN MIKRO

Mikrostruktur dari setiap daerah pengelasan diamati menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100 X. Pengamatan mikro ini dilakukan pada daerah sambungan las dan daerah sekitarnya. Hasil foto mikro masing-masing hasil pengelasan dari setiap variasi ditampilkan pada Gambar 8.

Dari hasil foto mikro terlihat daerah gelap disekitar daerah sambungan lasannya. Daerah gelap tersebut merupakan bagian dari spesimen yang mengalami deformasi. Pada Gambar 8a terlihat adanya porositas pada daerah lasan. Hal ini disebabkan karena gas hidrogen tidak dapat terdorong keluar pada saat pengelasan terjadi. Pada saat temperatur pengelasan tinggi, gas hidrogen yang berasal dari sekeliling akan mudah larut ke dalam logam pada daerah lasan. Apabila logam pada daerah lasan ini membeku, gas hidrogen yang terlarut akan terjebak di dalam daerah lasan sehingga menyebabkan timbulnya porositas.



Gambar 8. Foto mikro sambungan spesimen (a) 0°/60 detik, (b) 30°/60 detik, (c) 60°/60 detik, (d) 0°/120 detik, (e) 30°/120 detik, (f) 60°/120 detik

Gambar 8 menunjukkan terdapat material yang mengalami *crack* (retak). *Crack* dapat terjadi karena pemanasan awal yang kurang atau laju pendinginan yang cepat. Paduan aluminium seri 6061 akan menghasilkan senyawa karbida Mg_2Si . Mg_2Si adalah senyawa yang tidak dapat larut dan tampak sebagai partikel hitam yang terdispersi merata pada matrik aluminium yang berwarna putih. Dari hasil foto mikro dapat diketahui bahwa senyawa partikel Mg_2Si banyak tersebar pada daerah HAZ dan daerah *base metal*.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061. Hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi 30°/120 detik dengan nilai sebesar 15.86 Kgf/mm². Sementara hasil pengujian tarik terendah diperoleh dari variasi 60°/60 detik sebesar 5.16 Kgf/mm².
2. Waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekerasan hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061. Hasil pengujian kekerasan tertinggi diperoleh dari variasi 30°/120 detik dengan nilai masing-masing *Zud* 92 BHN, *Zpd* 99 BHN dan *Zpl* 91 BHN. Sementara hasil pengujian kekerasan terendah diperoleh dari variasi 60°/60 detik sebesar dengan nilai masing-masing *Zud* 79 BHN, *Zpd* 80 BHN dan *Zpl* 74 BHN.
3. Pada struktur mikro hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061 untuk variasi waktu gesek 60 detik menunjukkan adanya *crack*. Hal ini menandakan bahwa pemanasan untuk waktu gesek 60 detik masih kurang.
4. Secara keseluruhan sifat mekanis yang paling baik dari hasil penelitian pengelasan Aluminium 6061 dengan metode *Friction welding* terjadi pada variasi 30°/120 detik.

SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Perlu adanya pengembangan penelitian lanjutan untuk metode lain dari aspek termodinamika, manufaktur, desain dan material.
2. Perlu dilakukan pengujian lain seperti pengamatan SEM/TEM, uji *impact*, uji *bending*, uji XRD dan lain-lain.
3. Disarankan menggunakan mesin kerja dan alat bantu dengan kemampuan yang lebih tinggi agar mampu mencapai hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darsin, M., Sutjahjono, H., Hadi A. 2013. "Mechanical Properties and Micro Structure of Aluminum Alloys [Al-Mg-Si] as Results of Variation Time in *Friction welding*". International Symposium on Mechanical and Maritime Engineering 2013.
- [2] Kato H, K dan Tokisue, H. 1994. "Properties of 6061 aluminium alloy friction welded joints". *Welding International* 1994 8(11)863-8
- [3] Uday, M. B., et. al. 2011. "Effect of welding speed on mechanical strength of friction welded joint of YSZ-alumina composite and 6061 aluminum alloy".

- Materials Science and Engineering A528 (2011) 4753–4760.
- [4] Ahmad Fauzi, M. N., et. al. 2009. “Microstructure and mechanical properties of alumina-6061 aluminum alloy joined by *Friction welding*”. *Materials and Design* 31 (2010) 670–676.
- [5] Isshiki, Y., et. al. 2007. “Numerical analysis of transient temperatur characteristic of *Friction welding* in 6061 aluminium alloy”. *Welding International* Vol. 22, No. 10, October 2008, 693–700.
- [6] Lin, C.B., et. al., 1999. “The Effect of Joint Design and Volume Fraction on *Friction welding* Properties of A360/SiC Composites”. *Welding Journal* 78(3), (1999), 100-108.
- [7] Irawan, Y.S., Wirohardjo, M., Syamsul M, M. 2012. “Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning *Friction welding* of Round Aluminum A6061 with Various *Chamfer* Angles”. *Advanced Materials Research* Vol. 576 (2012) pp 761-765
- [8] Maissonette, D., et. al. 2010. “Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of 6061 aluminium alloy”. *Materials Science and Engineering Axxx* (2010) xxx–xxx.