

EVALUASI KUALITAS SAMBUNGAN FRICTION STIR WELDING DENGAN VARIASI PENGULANGAN LINTASAN

Djarot B. Darmadi^{1,*}, Dannar Christyanto¹ dan A.A. Sonief¹

¹Fakultas Teknik – Universitas Brawijaya, Jln MT Haryono 167 Malang – INDONESIA
(65148)

*b_darmadi_djarot@ub.ac.id

Abstrak

Las gesek (Friction Stir Welding) sejak diperkenalkan oleh The Welding Institute pada tahun 1991, diharapkan dapat mengisi kelemahan dari proses las fusi dalam menyambung logam dengan sifat mampu las yang rendah semisal aluminium. Kualitas sambungan las gesek ditentukan oleh ikatan mekanik yang terjadi dan tentunya pengulangan lintasan mempengaruhi kualitas dari ikatan mekanik tersebut. Eksperimen dilakukan dengan mengaplikasikan las fusi pada plat aluminium dengan tebal 3,5mm dan jumlah pengulangan dilakukan mulai 1 (tanpa pengulangan) hingga 5 kali. Parameter lain dijaga konstan dan kualitas sambungan dievaluasi berdasar kekuatan tariknya. Evaluasi foto makro dan uji kekerasan dilakukan untuk memperdalam analisa. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada pengulangan lintasan 3 kali. Dengan pengulangan 3x diperoleh kekuatan tarik hingga 74,21 MPa yakni 99% kekuatan logam induk. Didukung data evaluasi foto makro dapat disimpulkan dengan peningkatan jumlah lintasan akan meningkatkan ikatan mekanik yang terjadi pada stir zone yang merupakan bagian kritis dari sambungan. Pada sisi lain, penerapan ulang FSW menyebabkan pengerasan regangan yang tidak homogen yang cenderung menurunkan kekuatan sambungan secara keseluruhan. Sehingga kualitas sambungan neto merupakan kompromi perbaikan ikatan mekanik dan ketidak homogenan tersebut.

Kata kunci : Friction stir welding, stir zone, ikatan mekanik.

Pendahuluan

Aluminium merupakan kandidat logam pengganti baja karena memiliki kekuatan persatuan berat bahkan diatas nilai kekuatan persatuan berat baja. Salah satu kendala penggunaan aluminium secara luas adalah kesulitannya untuk disambung khususnya dengan proses pengelasan. Untuk mengatasi hal tersebut Wayne Thomas mengembangkan proses pengelasan gesek (*Friction Stir Welding – FSW*).

Menurut Balasubramanian [1] keuntungan utama menggunakan FSW adalah efisiensi energi yang tinggi, ramah lingkungan, distorsi yang rendah dan terhindar dari cacat berkenaan dengan transformasi padat-cair seperti halnya pada

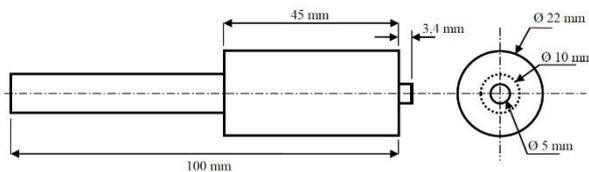
proses pengelasan konvensional (*fussion welding*). Pada prinsipnya, FSW memperoleh panas yang dihasilkan dari gesekan antara pahat (*tool*) dengan benda kerja. Suhu yang dihasilkan harus sedemikian sehingga mencukupi untuk menjadikan daerah sekitar sambungan melunak yang dengan aksi mekanis dan tekanan dari pahat menyebabkan bahan dari masing-masing bagian tercampur dan membentuk ikatan mekanik [2]. Mohanty *et.al.* [3] meneliti pengaruh bentuk *pin* dan *shoulder* terhadap kekuatan mekanik dan struktur mikro hasil proses FSW. Srinivas *et.al.* [4] mengevaluasi parameter proses FSW terhadap hasil lasan. Zhongfeng dan Hao [5] mengembangkan *probe* dengan poros ganda untuk menghilangkan bekas lubang pin proses FSW. Mohan *et.al.* [6]

menganalisa proses FSW dengan menggunakan metode elemen hingga. Hariharan dan Nimal mengaplikasikan FSW untuk menyambung dua jenis aluminium (seri 6061 dan 7075). Wook Baik *et.al.* [8] mengaplikasikan FSW sebagai las titik. Nandan *et.al.* [9] mengulas struktur mikro dan sifat mekanik hasil lasan dari proses FSW yang diaplikasikan pada berbagai logam induk.

Karena ikatan yang terbentuk pada sambungan adalah ikatan mekanik, dapat diduga jumlah ulangan tentu akan sangat mempengaruhi kekuatan sambungan. Oleh karenanya pada artikel kali ini dievaluasi pengaruh jumlah ulangan terhadap kekuatan sambungan FSW.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental murni. Variabel bebas adalah jumlah ulangan, variabel terikat adalah kekuatan tarik dan variabel terkontrol adalah berbagai parameter FSW seperti kecepatan putar pahat, laju pemakanan (*feed rate*), geometri dan bahan pahat dari pahat yang dijaga konstan. Kecepatan putar dari pahat dijaga pada 2257rpm, laju pemakanan 24mm/min dan pahat terbuat dari baja mampu keras S45C dengan diameter *shoulder* 22 mm, diameter dan kedalaman pin 5mm dan 3,4mm serta sudut pin 0° seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pahat untuk proses FSW

Tabel 1. Komposisi logam induk.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
%	%	%	%	%	%
0.134	0.576	0.0772	0.0060	0.0238	0.0012
Zn	Ti	Na	Ca	Ni	Pb

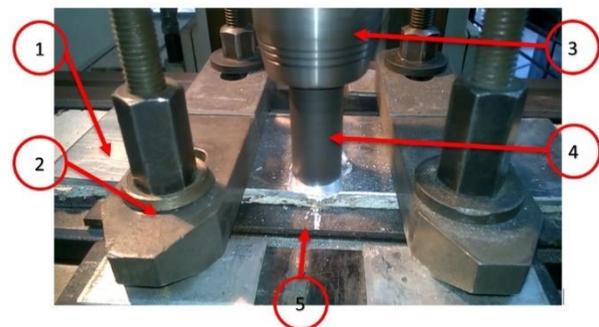
%	%	%	%	%	%
0.0080	0.0218	0.00025	<0.00010	0.0047	0.00097
P	Sn	Sb	Sr	Be	Zr
%	%	%	%	%	%
<0.00050	0.0038	0.0018	0.00016	0.00006	0.0014
Bi	Cd	Al			
%	%	%			
<0.00030	0.00054	99.1			

Tabel 2. Sifat mekanik logam induk.

Kekuatan tarik (MPa)	75
Kekerasan (VHN)	108,93
Perpanjangan (%)	2
Kekerasan <i>Brinell</i> (BHN)	50
Density (g/cm ³)	6,0

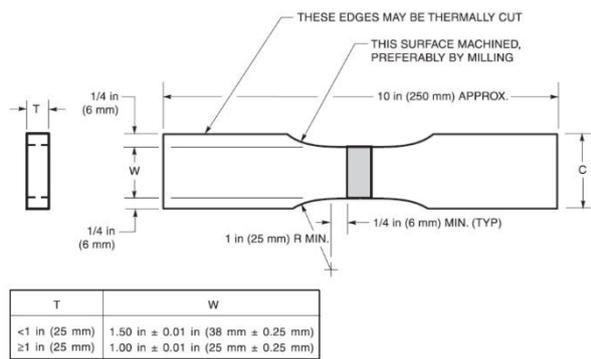
Logam induk dari bahan plat aluminium A1090 tebal 3,5mm dengan komposisi seperti terlihat pada Tabel 1, memiliki dimensi panjang 125mm x lebar 70mm yang disambung secara *butt joint* pada lebarnya. Sifat-sifat mekanik dari logam induk aluminium A1090 disajikan pada Tabel 2.

Proses FSW dilakukan menggunakan mesin milling *Universal X6328B* dengan pemegang (*jig & fixtures*) yang didesain untuk proses FSW ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



1. Logam induk
2. Penjepit benda kerja
3. Pencekam *tool*
4. *Tool*
5. Matras untuk FSW

Gambar 2. Instalasi FSW



Gambar 3. Spesimen uji tarik

Setelah selesai proses FSW, logam induk dengan sambungan ditengahnya dibentuk menjadi spesimen tarik mengikuti standar AWS B4.0; 2007 seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk tiap perlakuan (jumlah ulangan tertentu) dibuat tiga buah spesimen yakni spesimen A, B dan C. Data yang dicari dari uji tarik adalah kekuatan tarik ultimatnya (σ_u).

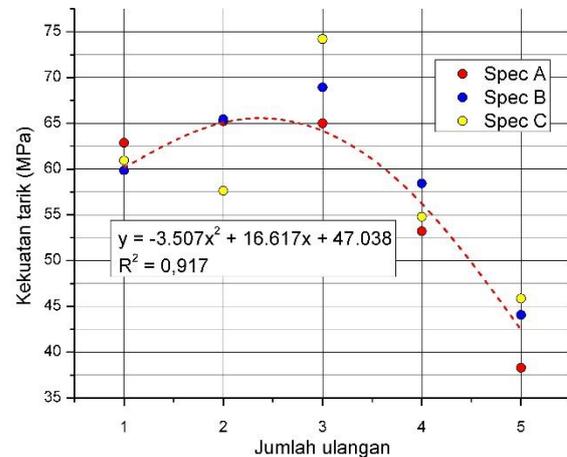
Hasil dan Pembahasan

Seperti telah didiskusikan pada bagian metode penelitian, data dari uji tarik adalah kekuatan tarik ultimate untuk tiap-tiap spesimen pada masing-masing perlakuan seperti ditampilkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 juga ditunjukkan data kekuatan tarik dari logam induk untuk perbandingan. Dari hasil uji tarik diketahui semua spesimen patah pada sambungannya. Hal ini mudah dipahami disebabkan kekuatan tarik dari logam induk selalu lebih tinggi dibanding kekuatan sambungan secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Jika Tabel 3 disajikan dalam grafik, maka terlihat seperti pada Gambar 4. Garis *trend* (*trend line*), atau kurva regresi, juga disajikan pada Gambar 4.

Tabel 3. Data kekuatan tarik spesimen uji.

Specimen	Kekuatan tarik (MPa)		
	A	B	C
Ulangan 1	62.86	59.86	60.93
Ulangan 2	65.21	65.43	57.64

Ulangan 3	65.00	68.93	74.21
Ulangan 4	53.21	58.43	54.79
Ulangan 5	38.29	44.07	45.86
Logam induk	75		



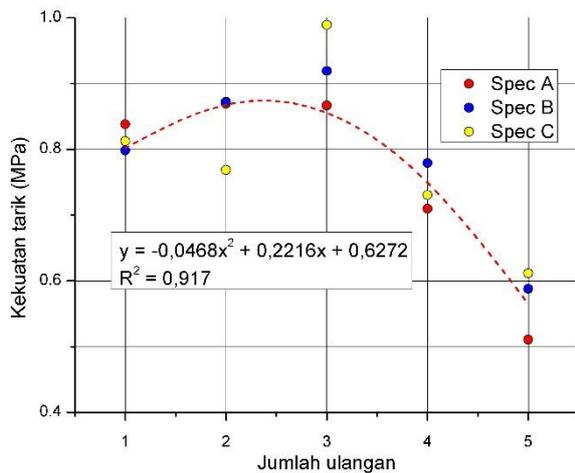
Gambar 4. Kekuatan tarik sambungan dengan berbagai variasi ulangan

Jika dinormalisasi dengan kekuatan tarik logam induk, maka Tabel 3 dapat disajikan sebagaimana Tabel 4 dan secara grafik ditampilkan pada Gambar 5. Seperti halnya pada Gambar 4, kurva regresi juga di plot pada Gambar 5.

Tabel 4. Data kekuatan yang dinormalisasi.

Specimen	Kekuatan tarik (MPa)		
	A	B	C
Ulangan 1	0,838	0,798	0,812
Ulangan 2	0,870	0,872	0,769
Ulangan 3	0,867	0,919	0,990
Ulangan 4	0,710	0,779	0,730
Ulangan 5	0,510	0,588	0,611

Dari grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dikatakan dengan peningkatan jumlah ulangan hingga 3 kali ulangan terjadi peningkatan kekuatan tarik. Penambahan ulangan setelah 3 kali akan menurunkan kekuatannya. Dari Gambar 5 untuk specimen C dengan 3 kali ulangan bahkan diperoleh kekuatan tarik dari sambungan mendekati kekuatan logam induk (99% = 74,21 MPa), sedang kekuatan rata-rata dari ulangan tiga kali adalah 92,5% (69,38 MPa).



Gambar 5. Grafik kekuatan tarik yang dinormalisasi terhadap logam induk

Pada paragraf-paragraf berikut akan dibahas kenapa dengan pengulangan tiga kali didapat hasil yang terbaik. Peningkatan kekuatan tarik hingga ulangan tiga kali sesuai dengan harapan semula, yakni dengan penambahan ulangan akan semakin meningkatkan ikatan mekanik yang terbentuk pada sambungan. Peningkatan ikatan mekanik ini pada gilirannya akan meningkatkan kekuatan tarik dari spesimen secara keseluruhan.

Pada sisi lain, material yang melunak selain mengalami pencampuran akibat *tool* yang berputar juga mengalami pemanasan ulang (*reheating*) dan peregangan ulang yang sangat mungkin melibatkan fenomena pengerasan regangan (*strain hardening*) saat dilakukan ulangan FSW. Jadi yang perlu ditekankan disini, selain mengalami pencampuran yang lebih yang diharapkan akan meningkatkan kekuatan ikatan mekanik, pengulangan FSW juga menyebabkan sifat material yang berubah dan perubahan ini cenderung tidak homogen.

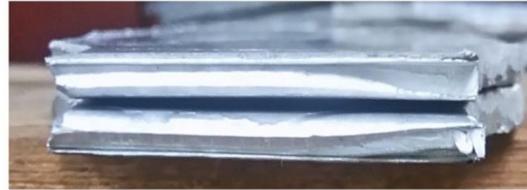
Foto makro dari patahan hasil uji tarik ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan foto makro untuk spesimen dengan ulangan berturut-turut 1 hingga 5. Untuk 1 hingga 3 ulangan masih didapat patahan yang halus yang menunjukkan homogenitas sifat sambungan yang dihasilkan sedang mulai 4 ulangan

nampak bagian patahan yang kasar yang menunjukkan ketidak homogenan sambungan dan untuk 5 ulangan lebih banyak lagi daerah dengan patahan kasar.

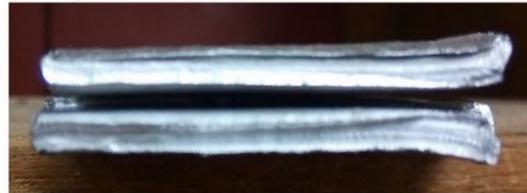
FSW dg 1x ulangan:



FSW dg 2x ulangan:



FSW dg 3x ulangan:



FSW dg 4x ulangan:



FSW dg 5x ulangan:



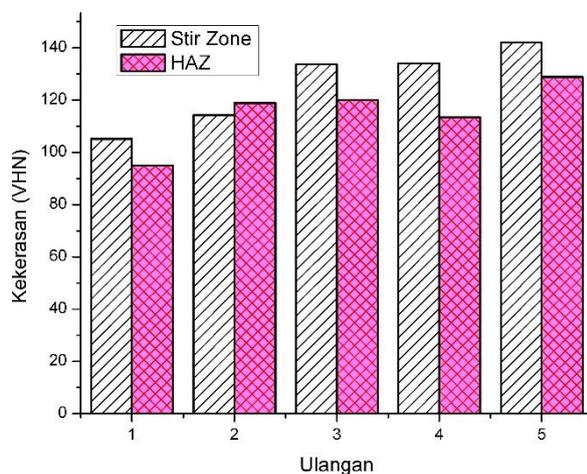
Gambar 6. Foto makro patahan spesimen dengan sambungan FSW

Untuk mendukung hipotesa terjadinya pengerasan regangan akibat pengulangan FSW disajikan hasil uji kekerasan yang disajikan pada Tabel 5. Kekerasan di uji pada daerah *stir zone* dan *Heat Affected Zone*. Pada Gambar 7, angka-angka pada Tabel 5 disajikan dalam bentuk grafik batang. Dari Gambar 7 dapat dikatakan jumlah ulangan dari proses FSW cenderung

meningkatkan kekerasannya yakni sesuai dengan hipotesa bahwa pada daerah pin dan shoulder terjadi pengerasan regangan.

Tabel 5. Kekerasan spesimen FSW.

Ulangan	Kekerasan (VHN)	
	Stir zone	HAZ
1 x	105,20	94,98
2 x	114,20	118,90
3 x	133,70	120,00
4 x	134,10	113,50
5 x	142,10	128,90



Gambar 7. Kekerasan spesimen FSW

Kekuatan tarik final merupakan hasil neto dari perbaikan ikatan mekanik dan ketidak homogenan yang timbul sebagai akibat bertambahnya jumlah ulangan. Penambahan ulangan di atas 3x menyebabkan faktor ketidak homogenan lebih menonjol seperti ditunjukkan pada evaluasi foto makro patahan hasil uji tarik (Gambar 6).

Kesimpulan

Dari diskusi terutama pada bagian hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Dengan penambahan jumlah ulangan hingga 3 kali ulangan perbaikan ikatan mekanik merupakan faktor yang dominan yang pada akhirnya meningkatkan kekuatan sambungan.

2. Pengulangan diatas 3 kali ulangan menyebabkan faktor fenomena pengerasan regangan yang tidak homogen lebih dominan sehingga mengakibatkan turunnya kekuatan sambungan.

Saran

Ketidak homogenan dari sambungan juga sangat mungkin disebabkan oleh fenomena transportasi masa (*mass transfer*) dari logam yang melunak akibat gaya sentripetal yang diberikan oleh *pin* serta *shoulder* dari *tool*. Evaluasi terhadap fenomena transportasi masa tersebut diyakini memberi mempertajam pemahaman terhadap proses FSW terutama pengaruh jumlah ulangan terhadap kekuatan tarik sambungan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai fenomena transportasi masa ini.

Referensi

- [1] V. Balasubramanian, Friction Stir Welding: an Environmentally Cleaner Welding Process, Centre for Materials Joining & Research (CEMAJOR), Annamalai University.
- [2] Alexander Beckman & Marcus Sundstrom, Development of stationary Shoulder for Friction Stir Welding, a Thesis, Department of Product Development, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden(2014).
- [3] H.K. Mohanty, M.M. Mahapatra, P. Kumar, P. Biswas & N.R. Mandal, Effect of Tool Shoulder and Pin Probe Profiles on Friction Stirred Aluminum Welds – a Comparative Study, J. Marine Sci. Appl., vol. 11(2012), pp. 200 – 207.
- [4] V.L. Srinivas, M. Zammerudhin, M. Ravi Kumar, B. Ravi Sankar and K. Ravindra, Parametric Analysis of Friction Stir Welding on AA6061 Aluminum Alloy, International Journal of Mechanical

Engineering and Research, vol.3
No.5(2013), pp. 557 – 564.

[5] Xu Zhongfeng & Lu Hao,
Experimental and numerical study of
friction stir welding with double-shaft stir
probe, Transaction of JWRI, vol.39
no.2(2010), pp. 22 – 24.

[6] Renju Mohan, N.R. Rajesh and
Satheesh Kumar S., Finite element
modeling for maximum temperature in
friction stir welding of AA 1100 and
optimization of process parameter by
Taguchi method, Int. J. of Research in
Engineering and Technology, vol. 3, Issue
5(2014), pp. 728 – 733.

[7] R. Hariharan dan RJG. Renjith Nimal,
Friction stir weld of dissimilar aluminium
alloys (6061 & 7075) by using
computerized numerical control machine,
Middle-East Journal of Scientific Research,
vol. 20 no.5 (2014), pp. 601 – 605.

[8] Seung-Wook Baek, Don-Hyun Choi,
Chang-Yong Lee, Byung-Wook Ahn, Yun-
Mo Yeon, Keun Song and Seung-Boo Jung,
Structure-properties relations in friction stir
spot welded low carbon steel sheets for
light weight automobile body, Materials
Transactions, vol. 51, no.2(2010), pp. 399-
403.

[9] R. Nandan, T. DebRoy and HKDH.
Bhadeshia, Recent advances in friction stir welding
process, weldment structure and properties,
Progress in Materials Science, vol. 53 (2008), pp.
980 – 1023