

Modifikasi Plunge Depth Pada Friction Spot Welding Al-HDPE Menggunakan Clamping Frame AISI 304

RUDIANTO RAHARJO, DJAROT B DARMADI, TEGUH DWI WIDODO, REDI BINTARTO, ARIF WAHYUDIONO

ABSTRACT

People's needs have changed, especially in the manufacturing sector. Making lightweight, reliable, safe and environmentally friendly products with high performance without compromising structural strength. Aluminum alloys and High Density Polyethylene (HDPE) are used in various applications, especially in the manufacturing industry because they have advantages such as: light weight, good corrosion resistance, strength, and design flexibility. This study aims to determine the shear strength of the Al-HDPE structure. The connection method used is friction spot welding which is an alternative welding method based on welding. Experiments were carried out on 1100 aluminum material connected to High - Density Polyethylene (HDPE) using the Friction Spot Welding (FSpW) method. This research was conducted by varying the plunge depth (1.5 mm and 2 mm), as well as the material of the clamping frame (AISI 304). The surface treatment of aluminum is carried out by a grinding process to increase the surface roughness so that the shear strength will increase. The shear strength test was carried out according to the ASTM D3163-01 standard. The results showed that the shear strength of the high Al-HDPE structure was also obtained at a plunge depth of 2 mm. A plunge depth of 2 mm has a higher shear strength when compared to a plunge depth of 1.5 mm. This is because the deeper the vertical motion of the probe, the higher the temperature and the deeper and more visible nub formation, causing macro mechanical interlocking.

Keywords: Friction Spot Welding, Al-HDPE, Shear strength

PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat mengalami perubahan khususnya dalam bidang manufaktur. Membuat produk yang ringan, andal, aman, dan ramah lingkungan dengan kinerja tinggi tanpa mengorbankan kekuatan struktur adalah beberapa permintaan masyarakat di era baru ini (Gaushegir,2015).

Bahan berbasis plastik telah banyak digunakan dalam industri automotif, *aerospace* (Liu *et al*,2014) dan elektronik karena beratnya yang ringan, kekuatan yang besar(Katayama *et al*,2008), fleksibilitas desain dan lain-lain (Messler,2004)

HDPE misalnya, dalam beberapa tahun terakhir, HDPE telah menarik banyak perhatian di industri kedirgantaraan dan otomotif karena fakta bahwa dapat dengan mudah diproduksi dalam berbagai

bentuk (Khodabakhsi *et al*, 2014), memiliki sifat ketahanan korosi yang baik(Olivera *et al*,2010), dan sifat insulasi (Garces *et al*, 200). Pada tahun 1996, ujung depan mobil Audi A6 diproduksi untuk pertama kalinya menggunakan struktur hibrida yang menggabungkan baja lembaran dengan poliamida. Saat ini, metal-polimer hibrida adalah kandidat terbaik untuk mengganti semua struktur baja. Selain penggunaan yang disebutkan di atas, metal-polimer saat ini digunakan dalam modul pintu, panel-instrumen dan bumper, dan aplikasi bak truk serta dalam fungsi-fungsi lainnya (Holbery *et al*,2006), bervariasi dari rumah alat hingga kerangka sepeda (Grujicic *et al*, 2008).

Penggabungan struktur hibrid logam-polimer seringkali sulit dan memiliki tantangan yang besar. Hal ini karena perbedaan dalam sifat mekanik, fisik, dan termal antara logam dan polimer (Mallick,2010). Metode penggabungan struktur hibrid logam-polimer saat ini sangat

terbatas, terdapat beberapa cara mulai dari metode tradisional (*adhesive bonding* dan *mechanical fastening*) sampai ke teknologi berbasis pengelasan baru (Amancio *et al.*, 2009). Namun metode tradisional menunjukkan kekurangan dan keterbatasan.

Adhesive bonding adalah teknologi penggabungan sambungan yang tradisional, tidak hanya digunakan sebagai aplikasi struktural, tetapi juga sebagai pelapis (Baldan, 2004). Tetapi *adhesive bonding* memiliki beberapa kendala, antara lain: keterbatasan pada suhu tinggi yang akan menghilangkan sifat perekatnya (Habenschicht, 2009), daya tahan dari sambungan yang terikat adalah masalah terutama ketika perlakuan permukaan yang sesuai tidak diterapkan, dan waktu pengawetan yang lama (Rotheiser, 1999). Metode penggabungan *mechanical fastening* juga memiliki beberapa masalah utama yaitu pekerjaan yang rumit karena diperlukan pengeboran terlebih dahulu untuk membuat lubang tempat sambungan dan itu akan membutuhkan waktu yang lama. Selain itu juga akan menambah berat dari sambungan dan membutuhkan biaya produksi lagi karena untuk menyambungkan diperlukan mur dan baut atau rivet [1].

Friction Spot Welding (FSpW) merupakan teknologi penggabungan alternatif untuk sambungan hibrid logam-polimer [15]. Metode *friction spot welding* berpotensi untuk dapat mengatasi masalah yang ada dalam metode *mechanical fastening* yaitu dengan penghematan berat, karena tidak ada bahan tambahan (seperti baut, mur atau paku keling). Selain itu juga tidak ada pengeboran awal untuk membuat lubang. Serta mengatasi masalah juga pada metode *adhesive bonding* siklus penggabungan lebih singkat (Gaushegir, 2015).

Friction Spot Welding (FSpW) sebagai turunan dari *Friction Stir Welding* (FSW) memiliki prinsip yang mirip yaitu sumber panas berasal dari gesekan antara *probe* dan material yang dilas (Dashatan *et al.*, 2012). Oleh karena itu, kekuatan sambungan dari FSpW sangat dipengaruhi oleh temperatur yang dihasilkan (Lambiase *et al.*, 2017). Parameter pengelasan *plunge depth* memiliki pengaruh yang besar pada pengelasan. *Plunge depth* mengontrol *macro-mechanical interlocking* karena mempengaruhi pembentukan *nub* (Gaushegir *et al.*, 2015).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental untuk mencari data sebab-akibat melalui proses eksperimen. Kajian literatur dari berbagai sumber dilakukan untuk mendukung penelitian ini sehingga penelitian ini menghasilkan informasi mengenai kekuatan geser dari sambungan Al-HDPE dan analisis temperatur

1. Material

Eksperimen dilakukan pada material aluminium 1100 disambungkan dengan *High-Density Polyethylene* (HDPE) menggunakan metode *Friction Spot Welding* (FSpW). Pada tabel 1 merangkum sifat mekanik dan fisik dari material.

Tabel 1
Sifat Mekanik dan Fisik Material

Material	AA1100	HDPE
Modulus elastisitas (GPa)	70-80	1,25
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	110	32
<i>Thermal conductivity</i> (W/m.K)	218	0,40 - 0,47
Ketebalan (mm)	3	4

Pada penelitian ini sebelum dilakukan pengelasan, permukaan aluminium diperlakukan dengan melakukan pengkasaran permukaan menggunakan *grinding* dengan kertas gosok *grade* 80.

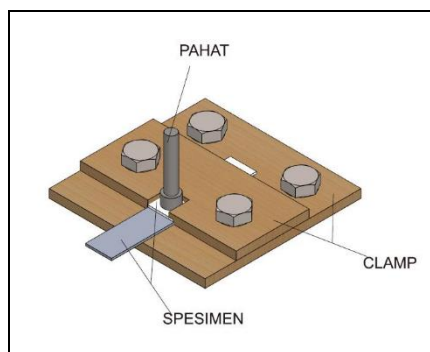
2. Prosedur Pengelasan

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin *milling universal* dengan mengontrol kecepatan putaran 4800 rpm. *Probe* silindris dengan diameter *pin* 5 mm dan diameter *shoulder* 15 mm digunakan dalam pengelasan. Penelitian dilakukan dengan bervariasi *heating time* (10 detik, 20 detik, 30 detik, dan 60 detik) dan *plunge depth* (1,5 mm dan 2 mm). disisi lain, dua *clamping frame* dengan material yang berbeda (AISI 304 dan kayu jati) digunakan. Karakteristik termal dari material *clamping frame* ditunjukkan pada tabel 2 dan skema *clamping frame* dapat dilihat pada gambar 1.

Tabel 2

Karakteristik Termal Material *Clamping Frame*

Material	Thermal conductivity (W/m.K)
AISI 304	16,2
Kayu jati	0,86

Gambar 1. Skema *clamping frame*

Spesimen sambungan yang digunakan sesuai standar ASTM D3163-01 untuk pengujian kekuatan geser. Pengujian kekuatan geser menggunakan metode *Single Lap Shear* (SLS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Hasil Pengujian Kekuatan Geser Struktur Al-HDPE

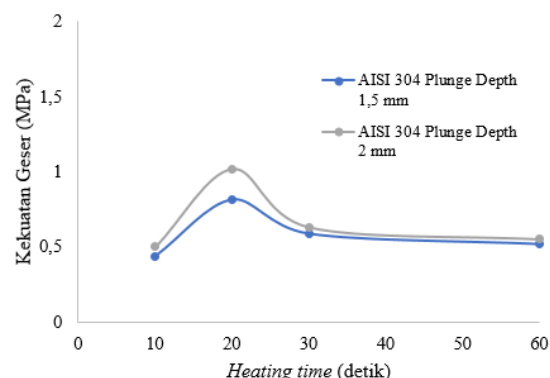
Berikut adalah data kekuatan geser pada sambungan Al-HDPE yang disajikan dalam bentuk tabel. Dimana *heating time*, *plunge depth*, serta material *clamping frame* mempengaruhi nilai dari kekuatan geser.

Tabel 3
Tabel Kekuatan Geser AISI 304

Heating Time (detik)	Kekuatan Geser (MPa)	
	Plunge depth 1,5 mm	Plunge depth 2 mm
10	0,436	0,502
20	0,817	1,017
30	0,586	0,631
60	0,516	0,552

Gambar 2 menunjukkan hubungan *heating time* terhadap kekuatan geser sambungan struktur Al-HDPE pada proses *Friction Spot Welding* (FSpW) dengan menggunakan *plunge depth* 1,5

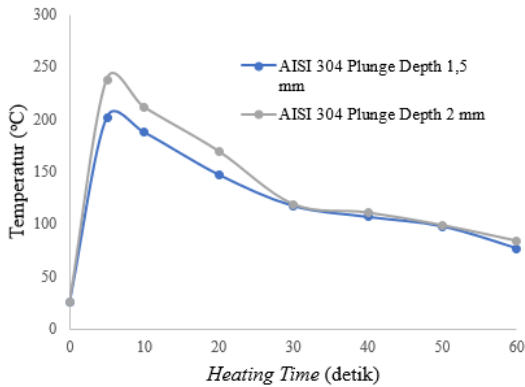
mm dan 2 mm dan *clamping frame* AISI 304. Dimana sumbu x merupakan *heating time* dan sumbu y merupakan kekuatan geser.

Gambar 2. Hubungan *heating time* terhadap kekuatan geser

Dari Gambar 2 didapat hasil nilai kekuatan geser tertinggi sebesar 1,017 MPa pada saat proses *friction spot welding* menggunakan *plunge depth* 2 mm. Dapat dilihat bahwa rata-rata nilai kekuatan geser tertinggi terdapat pada *heating time* detik ke 20 untuk semua variasi *plunge depth*. Kecenderungan dari grafik kekuatan geser mengalami kenaikan pada detik ke 10 sampai detik ke 20, hal ini dikarenakan panas dari aluminium yang diserap oleh polimer HDPE akan terus naik dan optimum sehingga *mechanical interlocking* yang terjadi juga banyak dan kekuatan geser juga akan naik pada *heating time* 20 detik. Kemudian kecenderungan grafik kekuatan geser akan turun seiring semakin lama *heating time* pada detik ke 20 sampai detik ke 60, dikarenakan kelebihan panas yang diserap sehingga menyebabkan lelehan polimer terlalu banyak yang melemahkan ikatan. Pada Gambar 2 diatas menunjukkan nilai kekuatan geser pada *heating time* 20 detik pada *plunge depth* 2 mm didapat nilai sebesar 1,017 MPa sedangkan *plunge depth* 1,5 sebesar 0,817 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa *plunge depth* berpengaruh pada nilai kekuatan geser sambungan Al-HDPE pada proses *friction spot welding*. Nilai kekuatan geser yang dihasilkan *plunge depth* 2 mm lebih tinggi jika dibandingkan dengan *plunge depth* 1,5 mm, dikarenakan penetrasi *probe* yang lebih dalam mengakibatkan gesekan yang terjadi akan semakin banyak sehingga akan menghasilkan panas yang lebih besar dan juga *plunge depth* 2 mm akan menyebabkan pembentukan *nub* yang semakin dalam sehingga terbentuk makro *mechanical interlocking* yang meningkatkan kekuatan geser (Yusof et al, 2016)

2. Analisis Temperatur Pengelasan

Selama proses *Friction Spot Welding* (FSpW) akan menghasilkan panas pada spesimen. Dimana *plunge depth*, *heating time*, serta *clamping frame* dapat mempengaruhi temperatur yang akan berpengaruh juga pada kekuatan geser. Hubungan *plunge depth*, *heating time*, serta *clamping frame* disajikan dalam bentuk grafik.



Gambar 3. Hubungan *heating time* terhadap Temperatur

Pada gambar 3 menunjukkan hubungan antara variasi *heating time* dengan temperatur spesimen selama proses *friction spot welding* dengan menggunakan *plunge depth* yang berbeda 1,5 mm dan 2 mm. Dimana sumbu x merupakan *heating time*, sedangkan sumbu y merupakan temperatur spesimen.

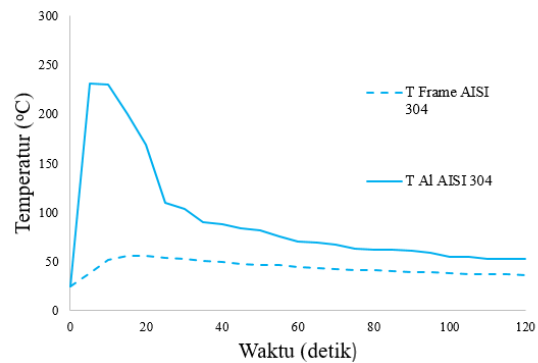
Dari gambar 3 dapat dilihat temperatur maksimum didapat pada saat menggunakan *clamping frame* kayu jati dengan *plunge depth* 2 mm yaitu sebesar 238 °C pada *heating time* 5 detik. Hal ini dikarenakan pada waktu 0-5 detik masih dalam proses *plunging*. Setelah waktu yang lebih lama (>5 detik) temperatur mengalami penurunan dikarenakan proses *plunging* sudah selesai yang mana panas yang dihasilkan hanya dari gesekan yang semakin lama akan semakin berkurang dan disertai dengan berpindahnya panas ke *clamping frame*.

Plunge depth 2 mm menghasilkan temperatur spesimen yang lebih tinggi dibandingkan dengan *plunge depth* 1,5 mm pada proses *Friction Spot Welding* (FSpW). hal ini dikarenakan *plunge depth* 2 mm, *probe* melakukan pergerakan vertikal lebih dalam sehingga panas yang dihasilkan akan semakin tinggi (Yusof et al, 2016).

Analisis Temperatur Clamping Frame

Pada gambar 4 menunjukkan titik dimana temperatur titik pusat pengelasan spesimen dan temperatur *clamping frame* diambil. Titik pusat pengelasan spesimen (T Al) dan titik *clamping frame* (T Frame) ditunjukkan dengan tanda

panah. Titik temperatur *clamping frame* diambil pada jarak 20 mm dari titik pusat pengelasan spesimen



Gambar 4. Grafik temperatur pada titik berbeda

Gambar 4 menunjukkan grafik variasi temperatur pada titik yang berbeda selama waktu proses 120 detik pada *heating time* 20 detik dan *plunge depth* 2 mm pada proses *Friction Spot Welding* (FSpW). Dimana sumbu x merupakan waktu proses dan sumbu y merupakan temperatur. Garis putus-putus menunjukkan temperatur (*clamping frame*) dengan menggunakan AISI 304 (biru), sedangkan garis yang tidak putus-putus menunjukkan temperatur titik pusat pengelasan spesimen dengan menggunakan AISI 304 (biru).

Pada awal proses *friction spot welding* (<5 detik) temperatur titik pusat pengelasan menunjukkan peningkatan yang tajam. Hal ini dikarenakan *probe* melakukan gerakan vertikal (*plunging*) seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Setelah waktu (>5 detik sampai 20 detik) temperatur akan turun dikarenakan kehilangan panas yang berpindah ke *clamping frame*. Sehingga temperatur *clamping frame* mulai mengalami kenaikan. Temperatur spesimen pada detik ini belum mengalami penurunan yang signifikan dikarenakan masih ada sedikit panas yang masuk diakibatkan adanya gesekan *probe* dengan aluminium. Setelah waktu (>20 detik) *heating time* berakhir, temperatur mengalami penurunan yang signifikan dikarenakan sudah tidak ada gesekan sehingga tidak ada panas yang masuk pada spesimen hanya panas yang keluar yang berpindah ke *clamping frame* (Yusof et al, 2016).

KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa pada *heating time* 20 detik dicapai nilai kekuatan

geser tertinggi pada sambungan Al-HDPE dengan proses *Friction Spot Welding* (FSpW) dikarenakan semakin lama *heating time* >20 detik lelehan polimer HDPE akan semakin banyak sehingga kekuatan menurun. Sedangkan *heating time* <20 detik panas yang diserap oleh HDPE masih sedikit sehingga *mechanical interlocking* juga belum banyak. *Plunge depth* 2 mm memiliki kekuatan geser lebih tinggi jika dibandingkan dengan *plunge depth* 1,5 mm. Hal ini dikarenakan semakin dalam gerakan vertikal dari *probe* sehingga temperatur semakin tinggi dan juga pembentukan *nub* akan lebih dalam dan terlihat jelas sehingga menyebabkan makro *mechanical interlocking*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amancio-Filho, S.T. & dos Santos, J.F. (2009). *Joining of polymers and polymer-metal hybrid structures*. *Polymer Engineering and Science*, 49(8), 1461-1476.
- Amancio-Filho, S.T., Bueno, C., dos Santos, J.F., Huber, N., & Hage, E. (2011). *On the feasibility of friction spot joining in magnesium/fiber-reinforced polymer composite hybrid structures*. *Materials Science and Engineering A*, 528(10-11), 3841-3848.
- Baldan, A. (2004). *Review adhesively bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: Adhesives, adhesion theories and surface pretreatment*. *Journal of Materials Science*. p. 1-49.
- Dashatan, Saeid Hoseinpour., Azdast, Taher. Ahmadi, Samrand Rash., & Bagheri, Arvin. (2012). *Friction stir spot welding of dissimilar polymethyl methacrylate and acrylonitrile butadiene styrene sheets*. *Materials and Design*, 45, 135-141.
- Garces, J.M., Moll, D.J., Bicerano, J., Fibiger, R., & McLeod, D.G. (2000). *Polymeric nanocomposites for Automotive Applications*. *Advanced Materials*, 12(23), 1835-1839.
- Goushegir, S.M. (2015). *Friction Spot Joining of Polymer-Metal Hybrid Structures*. *Welding in the World*, 60(6), 1073-1093.
- Goushegir, S.M., dos Santos, J.F., & Amancio-Filho, S.T. (2015). *Influence of process parameters on mechanical performance and bonding area of AA2024/carbon-fiber-reinforced poly (phenylene sulphide) friction spot single lap joints*. *Materials and Design*, 83, 431-442.
- Grujicic, M., Sellappan, V., Omar, M.A., Seyr, N., Obieglo, A., Erdmann, M., & Holzleitner, J. (2008). *An overview of the polymer-to-metal direct-adhesion hybrid technologies for load-bearing automotive components*. *Journal of Material Processing Technology*, 197(1-3), 363-373.
- Habenicht, G. (2009). *Applied Adhesive Bonding, A Practical Guide for Flawless Results*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Holbery, J., & Houston, D. (2006) *Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications*. Richland: Energy Science and Technology Department at Pacific Northwest National Laboratory.
- Katayama, S., & Kawahito, Y. (2008). *Laser Direct Joining of Metal and Plastic*. *Scripta Materialia*, 59(12), 1247-1250.
- Khodabakhshi, F., Haghshenas, M., Sahraeinejad, S., Chen, J., Shalchi, B., Li, J., & Gerlich, A.P. (2014). *Microstructure-property characterization of a friction-stir welded joint between AA5059 aluminum alloy and high density polyethylene*. *Materials Characterization*, 98, 73-82.
- Lambiase, Fransesco. Paoletti, Alfonso., Grossi, Valentino, & Genna, Silvio. (2017) *Improving energy efficiency in friction assisted joining of metal and polymer*. *Journal of Materials Processing Technology*, 250, 379-389.
- Liu, F.C., Liao, J., & Nakata, K. (2014). *Joining of Metal to Plastic Using Friction Lap Welding*. *Materials and Design*, 54, 236-244.
- Mallick, P.K. (2010). *Joining for light vehicles, in materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. Elseiver Ltd., 275-308.
- Messler, R.W. (2004). *Joining composite materials and structures: some thought provoking possibilities*. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 17(1), 51-75.
- Oliveira, P.H.F., Amancio-Filho, S.T., dos Santos, J.F., Huber, N., & Hage, E. (2010). *Preliminary study on the feasibility of friction spot welding in PMMA*. *Materials Letters*, 64(19), 2098-2101.
- Rotheiser, J. (1999). *Joining of Plastics – Handbook for Designers and Engineers*. Munich: Carl Hanser.
- Yusof, Farazila., Muhamad, Mohd., Mozhwan, Raza., Jamaludin, Mohd., & Miyashita, Yukio. (2016). *Effect of surface states on*

joining mechanisms and mechanical properties of aluminium alloy (A5052) and polyethylene terephthalate (PET) by dissimilar friction spot welding. Metals, 6(5), 101

PENULIS:

Rudianto Raharjo

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Email: rudiantoraharjo@ub.ac.id

Djarot Bangun Darmadi, Teguh dwi Widodo, Redi Bintarto

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Arif Wahyudiono

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang