

Friction welding heating time adjustment using teak wood clamps

Rudianto Raharjo^{a,1}, Djarot Bangun Darmadi^a, Teguh Dwi Widodo^a, Redi Bintarto^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang

¹rudiantoraharjo@ub.ac.id

ABSTRACT

Due to their benefits, such as their lightweight, superior corrosion resistance, strength, and design flexibility, aluminium alloys and high-density polyethylene (HDPE) are employed in various applications, particularly in the industrial sector. This study aims to ascertain the Al-HDPE structure's shear strength. Friction spot welding, a different welding-based way of joining, is the method of connection used. The heating times used in this study were 10, 20, 30, and 60 seconds. The clamping frame material used was AISI 304 and teak wood. The aluminum surface is treated by grinding to create surface roughness, which increases shear strength. The ASTM D3163-01 standard was followed when conducting the shear strength test. According to the findings, the shear strength of the Al-HDPE structure peaked between 10 and 20 seconds into the heating process, and then it tended to decline until 60 seconds into the heating process. According to a study of macro pictures, HDPE absorbs little heat at a heating duration of 10 seconds, resulting in minor thermal degradation and low shear strength. The strength diminishes at a heating time of over 20 seconds due to too much heat being absorbed.

Keywords: Heating time, friction welding, teak wood

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Tuntutan masyarakat telah berubah, terutama dalam sektor manufaktur. Masyarakat saat ini menginginkan produk yang memiliki bobot ringan, keandalan tinggi, keamanan terjamin, serta ramah lingkungan, semuanya dengan kinerja optimal dan tanpa mengesampingkan kekuatan struktural. Di zaman yang baru ini, permintaan ini semakin menjadi [1].

Material plastik berbasis telah digunakan luas dalam industri otomotif, aerospace, dan elektronik karena karakteristiknya yang meliputi bobot ringan, kekuatan yang luar biasa, kemampuan desain yang fleksibel, dan faktor-faktor lainnya [2-4].

Sebagai contoh, dalam beberapa tahun terakhir, HDPE telah menarik perhatian signifikan di industri kedirgantaraan dan otomotif dikarenakan kemampuannya untuk dengan mudah dihasilkan dalam berbagai bentuk, memiliki sifat ketahanan terhadap korosi yang baik, serta sifat isolasi [5-8]. Pada tahun 1996, mobil Audi A6 pertama kali mengadopsi struktur hibrida dengan menggunakan ujung depan yang menggabungkan baja lembaran dengan poliamida. Saat ini, struktur hibrida logam-polimer menjadi pilihan utama untuk menggantikan struktur baja. Di samping penggunaan yang telah disebutkan, struktur logam-polimer kini digunakan dalam berbagai aplikasi seperti modul pintu, panel

instrumen, bumper, serta dalam fungsi-fungsi lainnya, mulai dari perkakas rumah tangga hingga rangka sepeda [9].

Namun, menggabungkan struktur hibrida logam-polimer sering kali rumit dan penuh tantangan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam sifat mekanik, fisik, dan termal antara logam dan polimer [10]. Saat ini, metode untuk menggabungkan struktur hibrida logam-polimer terbatas, termasuk metode tradisional seperti perekat dan pengikatan mekanis, hingga teknologi pengelasan terbaru [11]. Namun, metode-metode tradisional ini memiliki kelemahan dan keterbatasan.

Perekatan menggunakan perekat adalah teknik penggabungan yang sudah umum digunakan, bukan hanya sebagai aplikasi struktural, tetapi juga sebagai pelapis. Namun, perekatan memiliki kendala seperti batasan pada suhu tinggi yang dapat mengurangi kinerja perekat, ketahanan sambungan yang terikat terutama tanpa perlakuan permukaan yang tepat, dan waktu perawatan yang lama [12-14]. Penggabungan mekanis juga memiliki masalah serupa, termasuk kerumitan dalam pengeboran lubang untuk sambungan, tambahan berat sambungan, dan biaya produksi yang diperlukan untuk mur, baut, atau rivet [1].

Friction Spot Welding (FSpW) adalah alternatif teknologi penggabungan untuk sambungan

logam-polimer [15]. Metode FSpW memiliki potensi untuk mengatasi masalah yang terkait dengan penggabungan mekanis, seperti pengurangan berat karena tidak memerlukan bahan tambahan seperti baut atau paku keling, serta tidak perlu melakukan pengeboran awal. Selain itu, FSpW juga dapat mengatasi keterbatasan penggabungan perekat dengan siklus penggabungan yang lebih singkat [1].

FSpW, yang merupakan turunan dari Friction Stir Welding (FSW), mengadopsi prinsip yang serupa, di mana panas dihasilkan melalui gesekan antara probe dan material yang sedang dihubungkan [16]. Kekuatan sambungan yang dihasilkan dari FSpW sangat dipengaruhi oleh suhu yang dihasilkan [17]. Parameter pengelasan seperti waktu pemanasan dan kedalaman penurunan mempengaruhi hasil pengelasan. Waktu pemanasan memengaruhi masukan panas sementara kedalaman penurunan mengontrol interlocking makro karena mempengaruhi pembentukan "nub" [18].

METODE PENELITIAN

Percobaan dilaksanakan pada bahan aluminium tipe 1100 yang dihubungkan dengan High-Density Polyethylene (HDPE) menggunakan pendekatan Friction Spot Welding (FSpW). Informasi yang menjelaskan karakteristik mekanis dan fisik dari materi tersebut telah disusun dalam Tabel 1.

Proses penggabungan material dilakukan dengan memanfaatkan mesin milling universal yang mengatur putaran pada tingkat 4800 rpm. Ilustrasi mengenai kerangka penelitian tersedia dalam gambar 1.

Probe silindris dengan pin berdiameter 5 mm dan bahu berdiameter 15 mm dipakai dalam proses pengelasan. Eksperimen dilakukan dengan mengubah waktu pemanasan (10 detik, 20 detik, 30 detik, dan 60 detik) serta kedalaman pengeboran (1,5 mm dan 2 mm). Di samping itu, dua bingkai penjepit dengan material kayu jati digunakan. Tabel 2 menunjukkan karakteristik termal dari material bingkai penjepit, sementara skema bingkai penjepit bisa dilihat di gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 memperlihatkan korelasi antara waktu pemanasan terhadap kekuatan geser dalam struktur sambungan Al-HDPE selama proses Friction Spot Welding (FSpW), dengan variasi kedalaman pengeboran 1,5 mm dan 2 mm serta penggunaan bingkai penjepit berbahan kayu jati.

Pada grafik ini, sumbu x mewakili waktu pemanasan, sementara sumbu y menggambarkan kekuatan geser. Sementara itu,

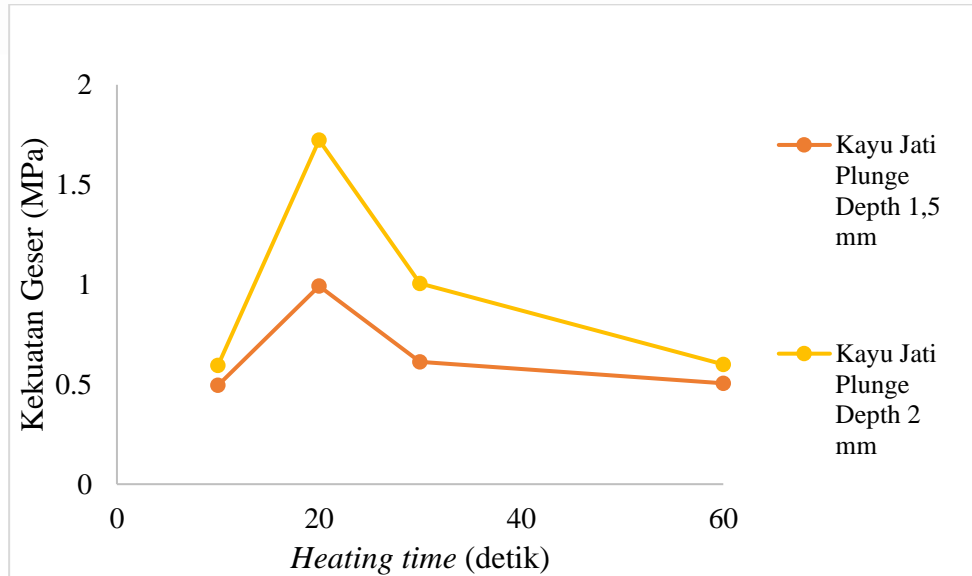
Hasil dari Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai tertinggi kekuatan geser adalah sekitar 1,723 MPa tercapai ketika proses Friction Spot Welding menggunakan kedalaman pengeboran 2 mm dan bingkai penjepit berbahan kayu jati. Terlihat bahwa pada waktu pemanasan sekitar 20 detik, nilai rata-rata kekuatan geser tertinggi terjadi untuk semua variasi kedalaman pengeboran. Grafik menunjukkan kecenderungan peningkatan kekuatan geser antara 10 hingga 20 detik, dikarenakan panas yang diserap oleh polimer HDPE dari aluminium terus meningkat, menghasilkan lebih banyak interlocking mekanis dan, pada akhirnya, peningkatan kekuatan geser pada waktu pemanasan 20 detik.

Selanjutnya, kekuatan geser cenderung menurun seiring dengan peningkatan waktu pemanasan dari 20 hingga 60 detik. Ini disebabkan oleh penyerapan panas berlebihan yang melelehkan polimer dengan lebih banyak, melemahkan ikatan.

Gambar 1 juga menunjukkan bahwa pada waktu pemanasan 20 detik, penggunaan bingkai penjepit kayu jati pada kedalaman pengeboran 2 mm menghasilkan kekuatan geser sebesar 1,723 MPa, sementara pada kedalaman pengeboran 1,5 mm hanya sebesar 0,992 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman pengeboran berpengaruh signifikan pada kekuatan geser sambungan Al-HDPE dalam proses Friction Spot Welding. Kekuatan geser yang lebih tinggi pada kedalaman pengeboran 2 mm disebabkan oleh penetrasi probe yang lebih dalam, menghasilkan lebih banyak gesekan dan panas, serta membentuk makro interlocking mekanis yang kuat, sehingga meningkatkan kekuatan geser.

Dari Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa suhu tertinggi tercapai ketika menggunakan bingkai penjepit berbahan kayu jati dengan kedalaman pengeboran 2 mm, mencapai 255,6 °C pada waktu pemanasan 5 detik. Tanpa memandang variasi kedalaman pengeboran atau jenis bingkai penjepit, suhu maksimum terjadi pada waktu pemanasan 5 detik. Ini disebabkan oleh fakta bahwa dalam periode 0-5 detik, proses plunging masih berlangsung, yang mengakibatkan kenaikan suhu yang sangat cepat, yang dikenal sebagai "temperature jump". Setelah 5 detik, suhu mulai turun karena proses plunging telah selesai, dan panas yang dihasilkan hanya berasal dari

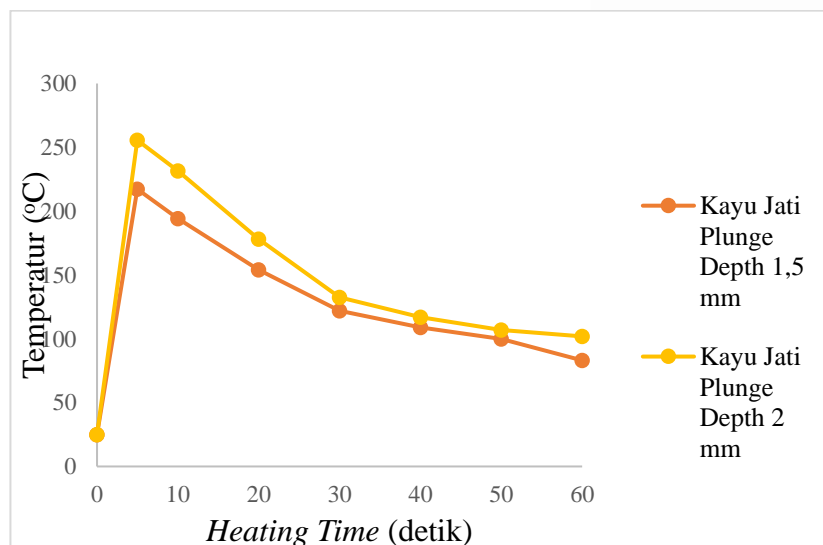
gesekan, yang secara bertahap berkurang, dan panas mulai merambat ke bingkai penjepit.



Gambar 4. Hubungan heating time terhadap kekuatan geser

Tabel 1 Sifat Mekanik dan Fisik Material

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



Gambar 2. Hubungan heating time terhadap temperatur spesimen

Kedalaman pengeboran 2 mm menghasilkan suhu spesimen yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedalaman pengeboran 1,5 mm dalam proses Friction Spot Welding (FSpW). Ini karena kedalaman pengeboran 2 mm memungkinkan probe untuk bergerak lebih dalam secara vertikal, yang menghasilkan panas yang lebih tinggi. Kayu jati memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah, yang mengakibatkan panas tidak cepat merambat ke bingkai penjepit.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada waktu pemanasan selama 20 detik, tercapai nilai tertinggi dalam hal kekuatan geser sambungan Al-HDPE melalui proses Friction Spot Welding (FSpW). Ini disebabkan oleh fakta bahwa saat pemanasan berlangsung lebih dari 20 detik, terjadi peningkatan jumlah lelehan polimer HDPE, yang pada gilirannya mengakibatkan penurunan kekuatan. Sebaliknya, pada pemanasan kurang dari 20 detik, panas yang diserap oleh HDPE masih terlalu sedikit, sehingga interlocking mekanis juga belum terbentuk dengan baik.

Ketika membandingkan kedalaman pengeboran 2 mm dengan kedalaman pengeboran 1,5 mm, kedalaman pengeboran yang lebih dalam menghasilkan kekuatan geser yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh pergerakan vertikal probe yang lebih dalam, yang menghasilkan suhu yang lebih tinggi dan pembentukan nub yang lebih dalam dan jelas, sehingga menghasilkan interlocking mekanis yang lebih kuat secara makro.

Selain itu, penggunaan bingkai penjepit berbahan kayu jati berhasil meningkatkan kekuatan sambungan Al-HDPE dalam proses Friction Spot Welding (FSpW). Kayu jati memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah, sehingga panas diserap lebih lama, menjaga suhu spesimen lebih seragam, dan akhirnya meningkatkan kekuatan geser.

Hasil terbaik dalam hal kekuatan geser sambungan Al-HDPE diperoleh pada waktu pemanasan 20 detik dengan kedalaman pengeboran 2 mm, menggunakan bingkai penjepit kayu jati, dengan nilai mencapai 1,723 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Goushegir, S.M. 2015. *Friction Spot Joining of Polymer-Metal Hybrid Structures*. *Welding in the World*, 60(6), 1073-1093.

- [2] Liu, F.C., Liao, J., & Nakata, K. 2014. *Joining of Metal to Plastic Using Friction Lap Welding*. *Materials and Design*, 54, 236-244.
- [3] Katayama, S., & Kawahito, Y. (2008). *Laser Direct Joining of Metal and Plastic*. *Scripta Materialia*, 59(12), 1247-1250.
- [4] Messler, R.W. (2004). *Joining composite materials and structures: some thought provoking possibilities*. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 17(1), 51-75.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Garces, J.M., Moll, D.J., Bicerano, J., Fibiiger, R., & McLeod, D.G. 2000. *Polymeric nanocomposites for Automotive Applications*. *Advanced Materials*, 12(23), 1835-1839.
- [8] Holbery, J., & Houston, D. 2006. *Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications*. Richland: Energy Science and Technology Department at Pacific Northwest National Laboratory.
- [9] 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.
- [10] Mallick, P.K. 2010. *Joining for light vehicles, in materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. Elsevier Ltd., 275-308.
- [11] 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.
- [12] Baldan, A. 2004. *Review adhesively bonded joints and repairs in metallic alloys*,

polymers and composite materials: Adhesives, adhesion theories and surface pre-treatment. Journal of Materials Science. p. 1-49.

- [13] Habenicht, G. 2009. *Applied Adhesive Bonding, A Practical Guide for Flawless Results.* Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- [14] Rotheiser, J. 1999. *Joining of Plastics – Handbook for Designers and Engineers.* Munich: Carl Hanser.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.