

Analisis Mekanik Sambungan Dissimilar Friction Stir Welding Antara High Density Polyethylene Dengan Polypropylene

Sugiartoa^{a,1}, Moch. Syamsul Ma'arif^a, Ari Wahjudi^a, Athabarani Luhur Ananto^a

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

¹sugik_mlg@ub.ac.id

ABSTRACT

An important problem with electric vehicles is the weight of the vehicle to reduce electricity consumption. Polymer materials and polymer composites have an important role in the aircraft industry and electric vehicle industry. Several types of thermoplastic polymers are widely used in the automotive industry, such as polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), and poly vinyl chloride (PVC). Popular methods used in the process of joining thermoplastic materials are adhesive bonding and mechanical joining methods. The disadvantage of adhesive bonding in polymer connections is the negative impact on the environment due to the use of chemicals and cannot be checked qualitatively including predicting failure. Thermoplastic polymers have low melt weldability properties because the melting temperature is low and softens easily with increasing temperature. Friction stir welding (FSW) is one solution for joining thermoplastic polymers. There are several advantages of FSW compared to fusion welding, because the process temperature is below the melting point of the material being welded, there is no need for gas shielding, low distortion and low residual stress. FSW is an energy-saving welding process that does not produce smoke, arc flash, or spatter. Several important parameters in FSW welding include spindle rotation speed, feed rate, shoulder pressure, material properties, pin dimensions and shoulder dimensions. In friction stir welding, welding heat is used to raise the temperature of the metal from its initial state to its solid state temperature. If welding is carried out on two different materials (dissimilar), it will produce different joint characteristics compared to welding a single material (similar). The aim of this research is to determine the effect of changing the spindle rotation speed with variations of 1200 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm and 2100 rpm on the mechanical properties of dissimilar FSW joints between HDPE and PP plates. Several other parameters are kept constant, such as workpiece thickness of 5 mm, welding speed of 3 mm/minute, pin diameter of 6 mm, shoulder diameter of 20 mm, pin length of 4.3 mm, welding angle of 0° and plunge depth of 0.3 mm. The result is that the faster the spindle rotates, the higher the welding center temperature. Hardness at the weld center and tensile strength of the joint increased from spindle rotation of 1200 rpm to 1800 rpm and decreased again at spindle rotation of 2100 rpm. The average tensile strength of the specimen at a spindle rotation of 1800 rpm is 19.05 MPa and the average hardness is 66 hs.

Keywords: Friction Stir Welding; dissimilar; High Density Polyethylene; Polypropylene; spindle speed.

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

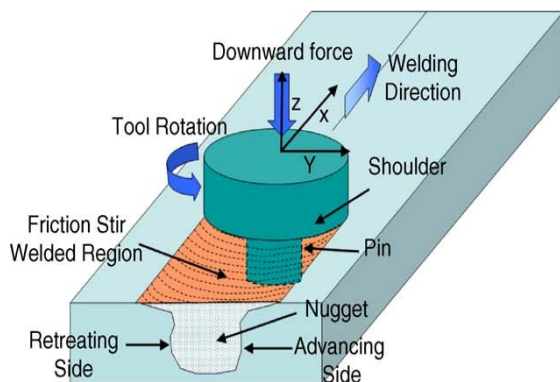
DOI: 10.71452/590657

PENDAHULUAN

Perkembangan produk otomotif saat ini mengarah pada kendaraan bermesin listrik. Permasalahan penting pada kendaraan listrik adalah bobot kendaraan untuk menekan konsumsi listrik. Material polimer dan komposit polimer memiliki peran penting pada industri pesawat terbang dan industri mobil listrik. Beberapa jenis polimer termoplastik banyak digunakan dalam industri otomotif seperti polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), dan poly vinyl chloride (PVC). *Friction stir*

welding (FSW) menjadi salah satu solusi dalam penyambungan polimer termoplastik. Sejak beberapa tahun, proses ini telah digunakan untuk mengelas bahan termoplastik [1]. Konsep pengelasan gesekan, awalnya digunakan untuk penyambungan logam, namun selanjutnya diterapkan pada komposit termoplastik sejenis [2]. Kemudian konsep ini digunakan untuk pengelasan polimer yang berbeda antara ABS ke HDPE [3]. Penyambungan FSW juga dilakukan untuk penyambungan poly(methyl methacrylate) and poly(methylmethacrylate)

SiO₂ nanocomposite [4] dan pengelasan FSW antara plat polyethylene and polypropylene [5] serta penyambungan FSW antara Polymers UHMWPE and PP [6]. Pada *friction stir welding* tidak terjadi proses pencairan dan solidifikasi, sehingga tidak akan terjadi penyusutan atau retak panas [7]. Terdapat beberapa keunggulan *friction stir welding* dibandingkan pengelasan fusi, karena suhu proses berada di bawah titik lebur bahan yang dilas, maka tidak perlu pelindung gas, distorsi rendah dan tegangan sisa rendah. FSW adalah proses pengelasan hemat energi yang tidak menghasilkan asap, *arc flash*, ataupun *spatter* [8]. Beberapa parameter penting dalam pengelasan FSW antara lain kecepatan putaran *spindle*, *feed rate* (kecepatan transversal), tekanan *shoulder*, karakteristik material, dimensi pin dan dimensi *shoulder*. Prinsip kerja FSW terdiri dari beberapa tahapan yaitu seperti penyiapan dan pemasangan *tool* (pahat) pengelasan pada bahu pengecam. *Tool* yang digunakan dalam proses pengelasan ini dipilih material dengan titik lebur lebih tinggi dari material sambungan dimana terdapat *shoulder* dan *pin*. Setelah *tool* dipasang pada bahu pengecam, selanjutnya berikan putaran yang tetap terhadap *tool*. *Tool* yang telah berputar lalu ditempatkan pada daerah yang akan dilakukan pengelasan (*weld line*). Tahap terakhir yaitu pengelasan, tahap ini dilakukan setelah terjadi panas yang cukup untuk mencapai suhu sekitar 0.8-0.9 T_c (titik cair) logam induk (*base metal*) dan selanjutnya *tool* atau benda kerjanya digerakan mengikuti garis las. Proses *friction stir welding* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut [9].



Gambar 1 Proses *Friction Stir Welding*
Sumber: Mishra et. al. (2005: 2)

Dalam *friction stir welding*, panas pengelasan digunakan untuk menaikkan suhu logam dari kondisi awal menuju ke suhu *solid state*. Masukan panas pengelasan FSW dipengaruhi oleh koefisien

gesek (μ), gaya tekan (F_N), diameter *pin* (D_i), diameter *shoulder* (D_o), dan *rotational speed* dari *spindle* (ω) dengan persamaan: $Q = \frac{1}{2} \mu F_N (D_i + D_o) \omega$ [10]. Jika pengelasan dilakukan pada dua material yang berbeda (*dissimilar*) akan menghasilkan karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan pengelasan pada material tunggal (*similar*). Jika panas yang dihasilkan oleh gesekan dan deformasi plastik terlalu tinggi dapat menyebabkan sambungan las mengalami efek pelunakan termal, yang menyebabkan kekuatan HAZ lebih rendah dari material dasar [11 dan 12]. Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan sifat mekanik sambungan *dissimilar* FSW antara plat HDPE dengan PP akibat perubahan laju putaran *spindle*.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental skala laboratorium untuk proses *dissimilar friction stir welding* antara plat High Density Polyethylene (HDPE) dengan Polypropylene (PP) tebal 5 mm. Proses penyambungan menggunakan mesin CNC 3A HAAS VF2. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan putaran *spindle* yang divariasikan 1200 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, dan 2100 rpm terhadap sifat mekanik sambungan *dissimilar* FSW antara plat HDPE dengan PP. Sedangkan parameter lain dijaga konstan antara lain kecepatan pengelasan 3 mm/menit, diameter pin 6 mm, diameter *shoulder* 20 mm, panjang pin 4,3 mm, sudut pengelasan 0° dan *plunge depth* 0,3 mm. Material *shoulder* dan pin adalah baja SKD61 (standar JIS64404) atau H13 (standar ASTM). Untuk mengukur suhu pusat las menggunakan kawat termokopel tipe K. Sifat mekanik yang akan diuji adalah kekerasan pada pusat las dan kekuatan tarik sambungan.

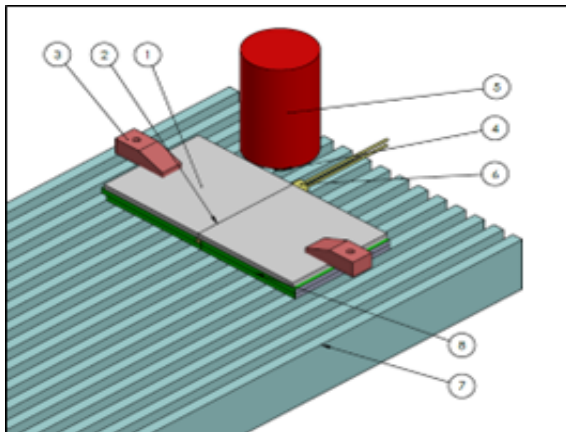
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan suhu yang terukur pada permukaan bawah pusat las selama proses pengelasan dengan penempatan termokopel sebagaimana gambar instalasi pengelasan FSW berikut ini.

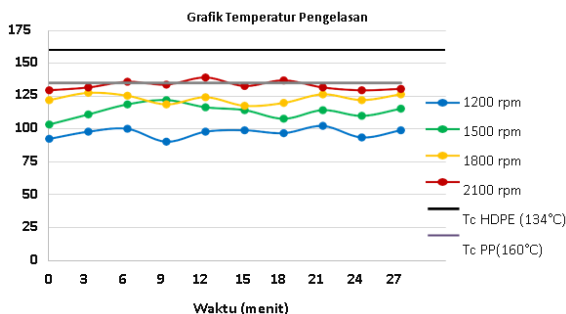
Keterangan gambar 2 :

1. Material dasar
2. Interface material yang dilas
3. Pengecam
4. *Tool*
5. *Spindle*

6. *Thermocouple*
7. Meja mesin
8. Alas benda kerja



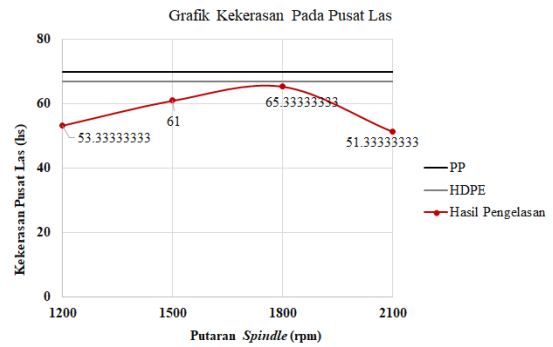
Gambar 2. Instalasi pengelasan FSW



Gambar 3. Data suhu pusat las (°C)

Dari gambar 3 nampak bahwa suhu pada pusat las selama proses pengelasan semakin meningkat akibat kenaikan putaran *spindle*. Pada putaran *spindle* 2100 rpm suhu pusat las mendekati, bahkan ada yang melebihi suhu cair HDPE (134°C).

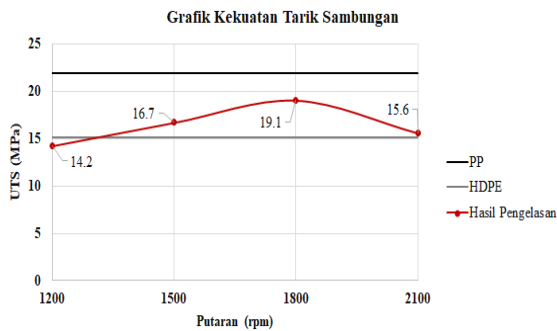
Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pengujian kekerasan pada pusat sambungan *dissimilar* FSW antara HDPE dengan PP pada variasi putaran *spindle* 1200 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm dan 2100 rpm. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Shore D Hardness Tester dengan satuan hs.



Gambar 4 Kekerasan rata-rata pada pusat las (hs)

Dari gambar 4 tersebut nampak bahwa secara umum kekerasan daerah las masih berada di bawah kekerasan logam dasar HDPE dan PP. Hal ini sesuai dengan pernyataan [13], bahwa pengaruh panas akibat gesekan pengelasan dapat menurunkan kekerasan material yang dilas dibandingkan dengan material dasarnya. Kekerasan daerah lasan meningkat secara berturut-turut mulai kecepatan putaran *spindle* 1200 rpm, 1500 rpm sampai 1800 rpm kemudian kekerasannya turun kembali pada putaran 2100 rpm. Kekerasan pusat las pada putaran 1800 rpm didapatkan kekerasan rata-rata 66 hs atau sebesar 98.51% dari kekerasan HDPE dan 94.29% dari kekerasan PP. Meningkatnya kekerasan dari putaran 1200 rpm sampai 1800 rpm akibat gesekan yang terjadi pada permukaan lasan menghasilkan panas yang semakin tinggi menuju ke kondisi solid state material. Sedangkan penurunan kekerasan pada kecepatan putaran 2100 rpm disebabkan karena panas pengelasan terlalu tinggi menyebabkan pelunakan berlebih. Sebagaimana gambar 3 bahwa suhu akibat gesekan di pusat las pada putaran *spindle* 2100 hampir sama dengan suhu cair HDPE sehingga menyebabkan daerah las mengalami pelunakan yang berlebih sehingga kekerasannya turun.

Gambar 5 berikut menunjukkan grafik pengaruh perubahan kecepatan *spindle* terhadap kekuatan tarik hasil sambungan *dissimilar* FSW antara HDPE dengan PP. Kekuatan tarik terendah HDPE sebesar 15 – 20 MPa [14], sedangkan kekuatan tarik terendah PP sebesar 3200 – 5000 psi atau setara 22 – 34 MPa [15].



Gambar 5 Kekuatan tarik sambungan (MPa)

Dari gambar 5 nampak bahwa kekuatan tarik sambungan meningkat akibat meningkatnya putaran spindle dari 1200 rpm sampai 1800 rpm kemudian turun kembali pada putaran 2100 rpm. Kekuatan tarik sambungan pada putaran 1500 rpm, 1800 rpm dan 2100 rpm setara dengan kekuatan tarik material HDPE namun masih di bawah kekuatan tarik PP. Kekuatan tarik tertinggi sambungan didapatkan pada kecepatan putaran 1800 rpm dengan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 19.05 MPa setara dengan kekuatan tarik HDPE (15 – 20 MPa) dan 87.00 % lebih rendah dari kekuatan tarik terendah PP (22 MPa). Penurunan kekuatan tarik pada putaran 2100 rpm disebabkan karena panas pengelasan terlalu tinggi menyebabkan pelunakan daerah sambungan yang berlebih, yang menyebabkan kekerasannya turun (gambar 4) dan kekuatan tariknya juga turun.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perubahan kecepatan putaran spindle pada *dissimilar friction stir welding* antara HDPE dengan PP berpengaruh terhadap suhu pusat las, kekerasan pada pusat las dan hasil sambungan las. Suhu pada pusat las selama proses pengelasan semakin meningkat akibat kenaikan putaran spindle. Pada putaran spindle 2100 rpm suhu pusat las mendekati, bahkan ada yang melebihi suhu cair HDPE (134°C). Secara umum kekerasan daerah las masih berada di bawah kekerasan logam dasar HDPE dan PP. Kekerasan daerah las meningkat secara berturut-turut mulai kecepatan putaran spindle 1200 rpm, 1500 rpm sampai 1800 rpm kemudian kekerasannya turun kembali pada putaran 2100 rpm. Kekuatan tarik sambungan meningkat akibat meningkatnya putaran spindle dari 1200 rpm sampai 1800 rpm kemudian turun kembali pada putaran 2100 rpm. Kekuatan tarik sambungan pada putaran 1500 rpm, 1800 rpm dan 2100 rpm setara dengan kekuatan tarik material

HDPE namun masih di bawah kekuatan tarik PP

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan dan dibiayai melalui Kontrak Hibah Penelitian Terpadu Percepatan Professor yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Tahun Anggaran 2024

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Zoltán Kiss and Tibor Czigány, 2007, Applicability of friction stir welding in polymeric materials, Research Article Eriodica Polytechnica, Mechanical Engineering, Vol. 51, No.1, pp:15-18, doi: 10.3311/pp.me.2007-1.02
- [2]. Kostka, R.S. Coelho, J. dos Santos, A.R. Pyzalla, 2009, Microstructure of friction stir welding of aluminium alloy to magnesium alloy, Scripta Materialia, Volume 60, Issue 11, , Pages 953-956.
- [3]. Jicheng Gao, Chao Li, Unisha Shilpakar, Yifu Shen, 2015, Improvements of mechanical properties in dissimilar joints of HDPE and ABS via carbon nanotubes during friction stir welding process, Materials & Design, Volume 86, Pages 289-296
- [4]. Wiebke S. Junior, Ulrich A. Handge, Jorge F. dos Santos, Volker Abetz, Sergio T. Amancio-Filho, 2014, Feasibility study of friction spot welding of dissimilar single-lap joint between poly(methyl methacrylate) and poly(methyl methacrylate)-SiO₂ nanocomposite, Materials & Design, Volume 64, Pages 246-250
- [5]. Zoltán Kiss and Tibor Czigány, 2007, Applicability of friction stir welding in polymeric materials, Research Article Eriodica Polytechnica, Mechanical Engineering, Vol. 51, No.1, pp:15-18, doi: 10.3311/pp.me.2007-1.02
- [6]. Kostka, R.S. Coelho, J. dos Santos, A.R. Pyzalla, 2009, Microstructure of friction stir welding of aluminium alloy to magnesium alloy, Scripta Materialia, Volume 60, Issue 11, , Pages 953-956.
- [7]. Jicheng Gao, Chao Li, Unisha Shilpakar, Yifu Shen, 2015, Improvements of

- mechanical properties in dissimilar joints of HDPE and ABS via carbon nanotubes during friction stir welding process, *Materials & Design*, Volume 86, Pages 289-296
- [8]. Wiebke S. Junior, Ulrich A. Handge, Jorge F. dos Santos, Volker Abetz, Sergio T. Amancio-Filho, 2014, Feasibility study of friction spot welding of dissimilar single-lap joint between poly(methyl methacrylate) and poly(methyl methacrylate)-SiO₂ nanocomposite, *Materials & Design*, Volume 64, Pages 246-250
- [9]. M.R Hajideh, M. Farahani, S.A. Davoud Alavi, 2017, Investigation on the effects of tool geometry on the microstructure and the mechanical properties of dissimilar friction stir welded polyethylene and polypropylene sheets, *Journal of Manufacturing Processes*, 26, pp. 269-279
- [10]. Mario A. Sánchez Miranda, Gonzalo M. Domínguez Almaraz, Juan J. Villalón López, Aymeric E. Dominguez, Julio A. Ruiz Vilchez, Julio C. Verduzco Juarez, 2023, Welding of Two Dissimilar Polymers UHMWPE and PP, Using Friction Stir Welding and Evaluation of Mechanical Properties, *Procedia Structural Integrity*, Volume 47, Pages 310-324.
- [11]. W. Tang. 1998. *Heat Input and Temperature Distribution in Friction Stir Welding*. Article in *Journal of Materials Processing and Manufacturing Science*. 10 (1): 1-6.
- [12]. Cook, G.E., Crawford, R., Clark, D.E., Strauss, A.M., 2002, *Robotic friction stir welding*, *Industrial Robot*, An International Journal, 31(1), pp. 55-63.
- [13]. Mishra, R.S., Z.Y. Ma, 2005. *Friction Stir Welding and Processing*. China: University of Missouri Rolla.
- [14]. N. Rajamanickan et al. 2016. *Effect of Process Parameters on Thermal History and Mechanical Properties of Friction Stir Welds*. India: Department of Mechanical Engineering PSG College of Technology.
- [15]. Fratini, L.; Buffa, G.; Shivpuri, R., 2009, *In-process heat treatments to improve FS-welded butt joints*. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 43, 664–670.
- [16]. Peng, G.; Ma, Y.; Hu, J.; Jiang, W.; Huan, Y.; Chen, Z.; Zhang, T., 2018, *Nanoindentation Hardness Distribution and Strain Field and Fracture Evolution in Dissimilar Friction Stir-Welded AA 6061-AA 5A06 Aluminum Alloy Joints*. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 1–11
- [17]. Seli, H., Ismail, A. I. M., Rachman, E., & Ahmad, Z. A. (2010). Mechanical Evaluation and Thermal Modelling Of Friction Welding Of Mild Steel And Aluminium. *Journal Of Materials Processing Technology*, 210(9), 1209–1216. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.03.007>
- [18]. Olam, M. (2023). *Mechanical And Thermal Properties Of Hdpe/Pet Microplastics, Applications, And Impact On Environment And Life*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110390>
- [19]. Patti, A., & Acierno, D. (2020). Thermal Conductivity Of Polypropylene-Based Materials. In *Polypropylene - Polymerization And Characterization Of Mechanical And Thermal Properties*. Intechopen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84477>