

## ANALISIS NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PENGELASAN *FRICION STIR WELDING* SAMBUNGAN *T-JOINT* ALUMINIUM 5052-H32 DAN ALUMINIUM 7075-T651

\*Filbert Manggala Sulianto<sup>1</sup>, Sulardjaka<sup>2</sup>, Norman Iskandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [filbertms21@gmail.com](mailto:filbertms21@gmail.com)

### Abstrak

Penyambungan dua aluminium berbeda jenis dengan konfigurasi T-joint antara AA7075-T651 dan AA5052-H32 dilakukan dengan metode friction stir welding. Fokus dari penelitian ini adalah melihat persebaran dari nilai kekerasan vickers dan struktur mikro dari tiap tiap zona hasil pengelasan. Pengujian struktur mikro difokuskan pada aliran material dan tampilan visual zona hasil pengelasan. Nilai kekerasan dan struktur mikro keduanya menunjukkan hasil yang berbeda di masing masing zona pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan di zona pengadukan sebesar 129 HV dan nilai terendah didapatkan di zona TMAZ sebesar 50 HV. Hasil pengamatan struktur mikro didapatkan tampilan struktur yang lebih halus pada zona aduk, struktur terelongasi pada zona TMAZ, dan struktur HAZ yang tidak jauh berbeda dari logam induk.

**Kata kunci:** AA5052-H32; AA7075-T651; *friction stir welding*; kekerasan; struktur mikro; *T-joint*

### Abstract

*The dissimilar aluminum alloy of the T-joint configuration between AA7075-T651 and AA5052-H32 is friction stir welded. The focus of this research is to look at the distribution of Vickers hardness values and the microstructure of each welding zone. Microstructural testing focuses on material flow and the visual appearance of the weld zone. The hardness and microstructure values both show different results in each welding zone. The highest hardness value was obtained in the stirring zone at 129 HV and the lowest value was obtained in the TMAZ zone at 50 HV. The results of microstructure observations showed a smoother structure in the stir zone, an elongated structure in the TMAZ zone, and a HAZ structure that was not much different from the base metal.*

**Keywords:** AA5052-H32; AA7075-T651; *friction stir welding*; hardness; microstructure; *T-joint*

### 1. Pendahuluan

FSW adalah variasi dari *friction welding* dengan generasi panas dan pengadukan material diakibatkan oleh gerakan rotasi dan translasi alat ketiga berupa pahat yang bergerak sepanjang jalur pengelasan [1]. Penggunaan metode FSW yang awalnya ditemukan pada tahun 1991 ini semakin banyak digunakan dalam dunia industri mulai dari industri kereta api, otomotif, kelautan, penerbangan dan lain lain. Penggunaan metode FSW yang semakin luas ini dikarenakan keuntungan yang diberikan metode ini dibanding metode pengelasan lainnya seperti dapat menyambung dua material berbeda, dapat menyambung material yang sulit disambung dengan metode las fasa cair, minim distorsi, penampilan las yang rapih rata dan halus, mengeliminasi kebutuhan material dan gas pengisi, serta memiliki kualitas sambungan yang sangat baik [2]. Konfigurasi sambungan tipe T belum cukup banyak dipelajari sebagai konfigurasi sambungan dua bahan berbeda terutama dalam pengelasan metode FSW. Pengembangan metode pengelasan FSW jenis material berbeda dengan konfigurasi sambungan yang luas beragam memungkinkan jaungkauan implementasi yang lebih luas. Hal ini juga memungkinkan untuk mempercepat pengantian material konvensional dengan material logam ringan seperti aluminium, titanium, dan lain lain dikarenakan metode FSW menunjukkan hasil sambungan yang sangat baik saat digunakan untuk menyambung berbagai logam ringan [3].

Tantangan dari sebuah perancangan struktur adalah mencapai keunggulan dalam hal kinerja struktur dan nilai ekonomis. Kedua hal ini dapat dicapai dengan memadukan pemilihan & penggunaan bahan yang berbeda dan juga dengan mempertimbangkan parameter proses. Oleh karena itu, penulis tertarik meneliti berkaitan analisis distribusi nilai kekerasan dan struktur mikro pada tiap tiap zona pengelasan FSW untuk dua material aluminium berbeda seri yaitu AA5052-H32 dan AA7075-T651 dengan konfigurasi sambungan *T-joint*.

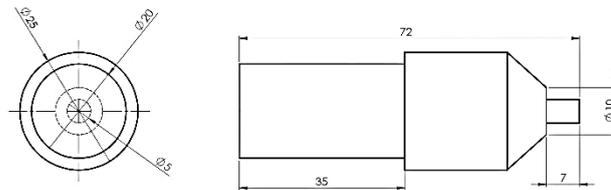
## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### 2.1 Aluminium Paduan AA7075-T651 dan AA5052-H32

Aluminium paduan seri AA7075-T651 termasuk dalam kategori *heat treatable aluminium*. Aluminium jenis ini mendapat perlakuan panas dan juga artificial aging membuatnya menjadi salah satu aluminium terkuat. Aluminium paduan seri AA5052-H32 termasuk dalam kategori *non heat treatable aluminium*. Aluminium jenis ini mendapat penguatan regangan pada suhu ruang. Pada penelitian kali ini digunakan AA7075-651 dengan ukuran 200x100x6mm dan AA5052-H32 dengan ukuran 200x100x3mm. Aluminium seri 5 digunakan sebagai plat horizontal (*skin*) dan aluminium seri 7 digunakan sebagai plat vertikal (*stringer*).

### 2.2 Pahat SKD11

Bahan dasar pembuatan pahat pengelasan FSW yang digunakan pada penelitian kali ini adalah seri JIS SKD11. Diameter material SKD11 mentah adalah 25mm lalu di machining membentuk pahat dengan pin berbentuk silinder polos dengan diameter pin 5 mm, panjang pin 5 mm, dan diameter shoulder 10 mm berjenis *flat shoulder* yang ditunjukkan pada Gambar 1. kemudian pahat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan pahat sehingga pahat tidak cepat terkikis, pahat setelah diberi perlakuan panas memiliki kekerasan 62 HRC.



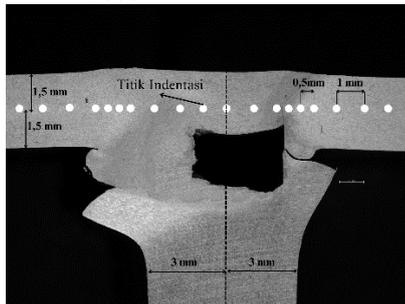
Gambar 1 Dimensi pahat

### 2.3 Mesin Friction Stir Welding

Alat utama yang digunakan adalah mesin pengelasan FSW. Mesin yang digunakan untuk melakukan proses FSW adalah mesin Yeong Chin. Mesin ini terdiri motor listrik, bed untuk meletakkan pencekam material, spindel untuk mencekam pahat dan panel kontrol untuk mengatur kerja mesin. Parameter pengelasan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah kecepatan rotasi pahat sebesar 1700 RPM, kecepatan pengelasan sebesar 20 mm/menit, sudut yang dibentuk pahat sebesar 2 derajat, dan arah putaran dari pahat adalah searah jarum jam.

### 2.4 Pengujian Kekerasan

Kekerasan material diartikan sebagai kemampuan material untuk menahan keausan, goresan, penetrasi, ataupun kemampuan memotong. Pada pengujian kali ini digunakan metode *Vickers* untuk mengukur kekerasan pada sambungan las FSW dengan beberapa pertimbangan dari keunggulan yang dimiliki metode *Vickers* seperti dapat dilakukan indentasi dengan beban yang kecil sehingga tidak merusak spesimen sehingga dapat digunakan untuk tujuan lainnya [4]. Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan berdasarkan standar ASTM E384 dengan di semua zona pengelasan spesimen dengan jarak antar titik indentasi sebesar 0,5 – 1,0 mm ditunjukkan pada Gambar 2. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan spesimen dihaluskan menggunakan amplas sampai nomor 2000. Indentasi dilakukan dengan beban 10gf dan *dwell time* 10 detik.



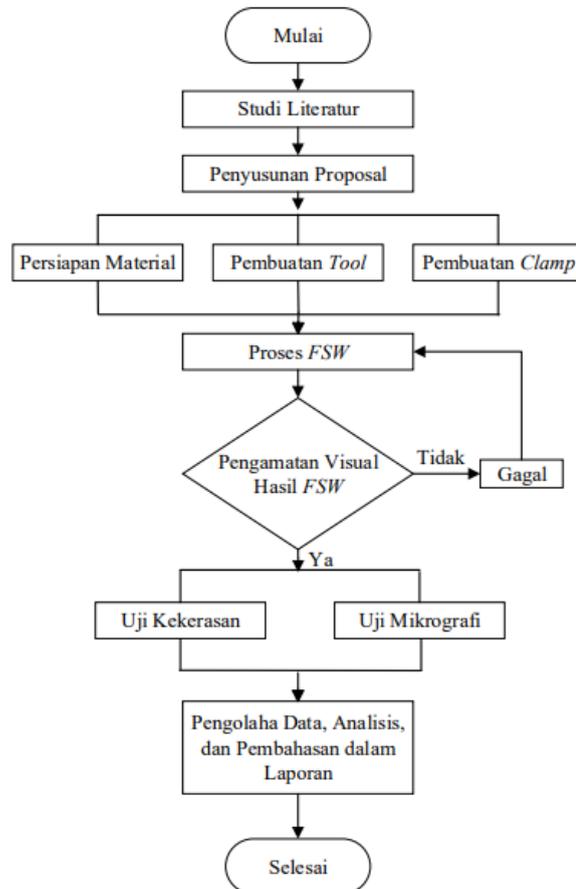
Gambar 2 Ilustrasi titik indentasi

### 2.5 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro sangat berguna untuk mempelajari dan mengkarakterisasi material. Beberapa tujuan dari dilakukannya pengujian struktur mikro adalah untuk memprediksi dari sifat sifat material yang diamati, untuk mengetahui jenis patahan atau cacat yang ada. Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, permukaan spesimen dihaluskan menggunakan amplas sampai nomor 2000, lalu permukaan dipoles dengan pasta khusus menggunakan kain beludru sampai mengkilap, dan selanjutnya di etsa menggunakan campuran 3 ml HF dan 200 ml air. Spesimen diamati dibawah mikroskop mikro dengan tujuan mengamati aliran material dan tampilan visual zona hasil pengelasan. Nilai kekerasan dan struktur mikro keduanya menunjukkan hasil yang berbeda di masing masing zona pengelasan.

## 2.6 Diagram Alir

Adapun diagram alir metodologi penelitian *friction stir welding* aluminium 5052-H32 dan aluminium 7075-T651 dapat dilihat pada Gambar 3.

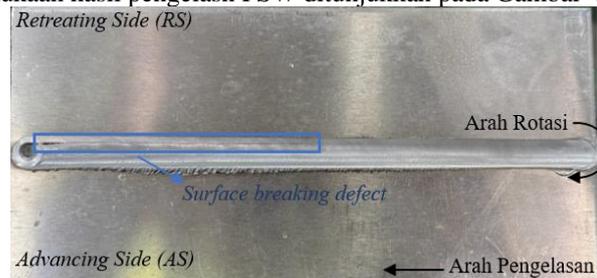


**Gambar 3** Diagram alir penelitian

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Pengelasan

Tampilan tampak atas permukaan hasil pengelasan FSW ditunjukkan pada Gambar 4

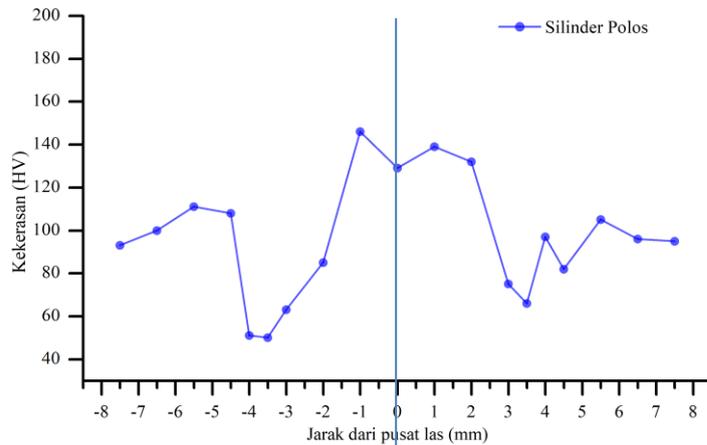


**Gambar 4** Tampak atas spesimen hasil pengelasan

Dari Gambar 4 dapat dilihat tampilan visual tampak atas permukaan FSW. Pada tampilan visual sambungan dapat diidentifikasi cacat yang muncul yaitu *Surface breaking defect*. Cacat ini disinyalir akibat dari kurangnya generasi panas pada saat pengelasan sehingga material tidak teraduk sempurna dan juga karena pergerakan aliran material yang tidak baik sehingga tidak mendukung untuk terjadinya pengabungan material. Acevedo dalam eksperimennya juga mendapati hal yang sama dimana didapati cacat *surface breaking defect* di sisi RS yang ia sebut hal ini bisa disebabkan oleh kurangnya generasi panas pada saat FSW dan juga kurangnya kontak antara *shoulder* pada pahat dengan material benda kerja [5].

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Setelah dilakukan pengujian kekerasan didapatkan data kekerasan sambungan las FSW untuk tiap titik pengujian, selanjutnya data dituangkan dalam bentuk grafik kekerasan vs jarak. Grafik kekerasan di garis horizontal ditunjukkan pada Gambar 5.

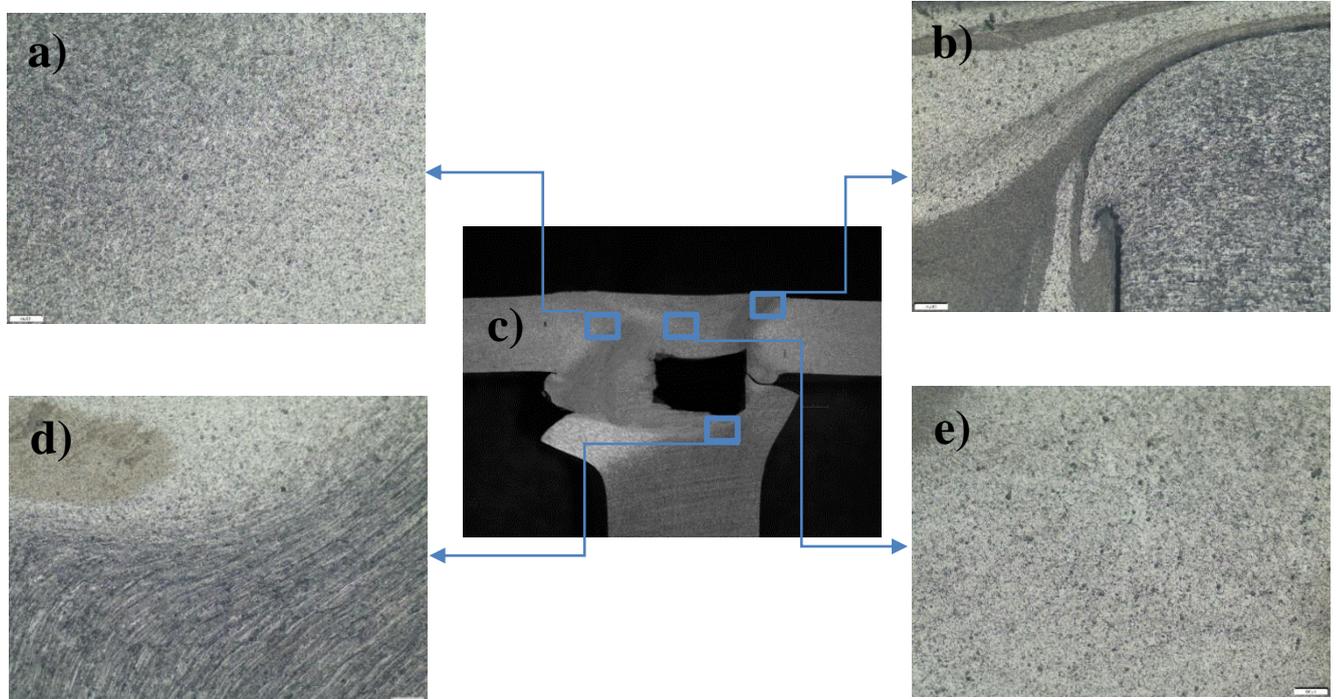


**Gambar 5** Hasil pengujian kekerasan

Nilai kekerasan paling besar terletak di daerah pengadukan atau disebut juga *stir zone* yang letaknya berada di tengah. zona pengadukan mengalami rekristalisasi dinamik yang intens dan sempurna efek dari pengadukan dan gesekan pahat pada benda kerja, membuat pemurnian atau penghalusan butir, fasa endapan/presipitasi/penguat pada daerah stir zone juga mengalami pelarutan dan pengendapan kembali akibat fenomena yang terjadi tersebut sehingga berujung pada efek penguatan di zona aduk. Efek penguatan di daerah HAZ terjadi lebih sedikit dibanding zona aduk dikarenakan tidak adanya efek rekristalisasi akibat adukan dan gesekan pahat pada benda kerja. Nilai kekerasan paling kecil sebesar 50-70 HV terdapat pada rentang 3 – 4 mm dari pusat las yang mana zona ini diperkirakan adalah zona TMAZ karena berada sedikit diluar dari diameter pahat. Rekristalisasi dinamik yang tidak sempurna mengakibatkan butir mengalami pemanjangan yang bervariasi, ditambah dengan panas gesekan menyebabkan fasa penguat mengalami perkembangan/pertumbuhan/perubahan dan mengarah pada penurunan dalam efek penguatan sehingga terjadi penurunan nilai kekerasan di sekitar zona TMAZ ini [6].

### 3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Hasil pengujian struktur mikro *friction stir welding* dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.

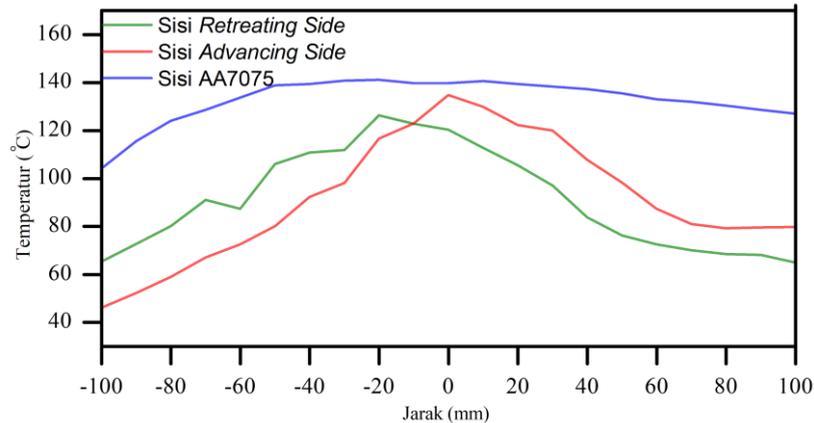


**Gambar 6.** Struktur Mikro a) zona TMAZ AS, b) zona TMAZ RS, c) foto makro spesimen, d) zona TMAZ AA7075, e) zona aduk

Gambar 6. menunjukkan struktur mikro dari tiap zona hasil FSW mulai dari tengah zona aduk, zona TMAZ, zona HAZ, dan zona logam induk. Struktur mikro dari logam zona aduk untuk tiap variasi geometri pahat menunjukkan struktur yang halus, hal ini dikarenakan siklus termal yang mencukupi dan pengadukan mekanis oleh pin pahat terhadap material di zona aduk dan terjadinya rekristalisasi dinamik [7], [8]. Fenomena yang sama juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh [9]. dimana terdapat butiran halus dan merata pada zona aduk yang diakibatkan oleh rekristalisasi dinamik yang terjadi selama FSW, saat terjadi pengadukan di zona aduk deformasi plastis yang besar dimulai dan terjadi peningkatan suhu maka terjadi rekristalisasi dinamik yang menyebabkan penghalusan butir di sepanjang zona aduk. Pada umumnya struktur mikro dari zona aduk lebih kecil dibanding zona lainnya seperti TMAZ, HAZ, dan logam induk, hal ini sejalan dengan pengujian kekerasan *vickers* yang dilakukan sebelumnya dimana nilai kekerasan paling tinggi berada di zona aduk. Fenomena ini mengikuti persamaan *Hall-Petch* yaitu  $HV = HV_0 + k' \sqrt{d}$  dimana nilai kekerasan *vickers* (HV) yang tinggi didapatkan pada ukuran butir (d) yang lebih rendah [10]. Pada zona TMAZ AA5052 tidak terjadi rekristalisasi akibat kurangnya deformasi plastis dan kurangnya siklus termal pada zona ini [11]. Hal yang sama terjadi pada zona TMAZ AA7075 dimana dapat diamati struktur mikro pada zona ini berbentuk memanjang dan berelongsasi akibat gerakan rotasi dari pahat. Baisukhan dalam penelitiannya menyambung AA7075 dengan FSW juga mendapati struktur mikro yang sama dimana logam AA7075 di sekitar zona TMAZ mengalami elongasi, pemanjangan, penekukan dan lebih kasar dibandingkan zona aduk diakarenakan suhu dan regangan tidak mencukupi untuk terjadinya rekristalisasi [8].

### 3.4 Distribusi Suhu Pengelasan

Hasil pengukuran suhu pengelasan berupa grafik temperatur vs jarak mulai penetrasi sampai tahap retracting. Grafik temperatur pada sisi *advancing*, sisi *retreating*, plat vertikal 7075-T651 ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Suhu selama pengelasan

Suhu selama pengelasan pada sisi *advancing side* (AS) menunjukkan temperatur puncak sebesar 126°C. sedangkan pada sisi *retreating side* (RS) menunjukkan temperatur puncak sebesar 125°C dan pada sisi vertikal plas AA7075 sebesar 141°C. suhu puncak pada sisi AS lebih tinggi dibanding suhu puncak pada sisi RS, hal ini diakibatkan oleh generasi panas gesekan lebih banyak terjadi di sisi RS daripada sisi AS, ini adalah efek dari arah rotasi dan vektor kecepatan dari pahat selama pengelasan [12], [13]. Suhu rata rata pada plat AA7075 lebih tinggi dibanding sisi AS maupun RS pada AA5052 terlihat pada Gambar 7 dimana bentuk grafik yang lebih melandai dan lebih tinggi. Hal ini bisa disebabkan oleh perbedaan nilai konduktifitas termal antara kedua jenis paduan aluminium tersebut yaitu AA7075 sebesar  $130 \text{ W/mK}$  dan AA5052 sebesar  $138 \text{ W/mK}$ . Nilai konduktifitas termal yang lebih rendah menyebabkan AA7075 lebih kesulitan untuk melepas panas ke udara ditambah dengan pencekam atau *clamp* yang menempel penuh pada kedua sisi AA7075 membuat panas semakin sulit terlepas ke udara. Sedangkan pada AA5052 pencekam pada sisi atas tidak seluruhnya menutupi permukaan AA5052.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut

1. Berhasil dilakukan pengelasan aluminium AA7075-T651 dengan AA5052-H32 konfigurasi T-joint menggunakan metode friction stir welding dengan geometri pahat berupa silinder polos.
2. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan di zona aduk akibat siklus termal dan pengadukan mekanis pada zona ini yang menyebabkan struktur mikro yang lebih halus dibanding zona lainnya. Nilai kekerasan yang tinggi pada struktur yang lebih halus sejalan dengan persamaan hall-petch .
3. Struktur mikro menunjukkan perbedaan masing masing zona pengelasan dan juga menunjukkan aliran material yang terjadi selama pengelasan khususnya di sekitar zona TMAZ dimana dapat diamati struktur yang mengalami elongasi, pemanjangan, dan penekukan akibat gerakan rotasi pada pahat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] AWS, *Standard Welding Terms and Definitions*. 2010.
- [2] D. Lohwasser and Z. Chen, *Friction stir welding From basics to applications*, vol. 1, no. x x. 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.008>
- [3] R. Beygi, A. A. Talkhabi, M. Z. Mehrizi, E. A. S. Marques, R. J. C. Carbas, and L. F. M. da Silva, “A Novel Lap-Butt Joint Design for FSW of Aluminum to Steel in Tee-Configuration: Joining Mechanism, Intermetallic Formation, and Fracture Behavior,” *Metals (Basel)*, vol. 13, no. 6, p. 1027, May 2023, doi: 10.3390/met13061027.
- [4] D. R. Moss and M. Basic, *Pressure Vessel Design Manual (Fourth Edition)*. Butterworth-Heinemann, 2013. doi: 10.1016/B978-0-12-387000-1.00011-5.
- [5] J. L. Acevedo, C. E. Morales, B. R. Rodriguez, and P. B. Cerna, “Microstructural and mechanical behavior study of 5052 aluminum alloy welded by FSW process,” *MRS Adv.*, vol. 4, no. 55–56, pp. 3041–3052, 2020, doi: 10.1557/adv.2020.20.
- [6] R. Wang, W. Tang, C. Tian, and X. Yang, “Improving the microstructure and mechanical properties of 2A14-T4 aluminum alloy thick T-joints via stationary tool shoulder friction stir butt welding,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 130, no. 1–2, pp. 635–648, 2024, doi: 10.1007/s00170-023-12752-9.
- [7] D. Sethi, U. Acharya, S. Shekhar, and B. S. Roy, “Applicability of unique scarf joint configuration in friction stir welding of AA6061-T6: Analysis of torque, force, microstructure and mechanical properties,” *Def. Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 567–582, 2022, doi: 10.1016/j.dt.2021.03.010.
- [8] A. Baisukhan and W. Nakkiew, “Sequential effects of deep rolling and post-weld heat treatment on surface integrity of AA7075-T651 aluminum alloy friction stir welding,” *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 21, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/ma12213510.
- [9] U. Acharya, S. Choudhury, D. Sethi, E. Akinlabi, and B. S. Roy, “Enhancing joint performance in friction stir welding through tailored double-butt-lap geometry,” *Weld. World*, vol. 68, no. 5, pp. 1089–1101, 2024, doi: 10.1007/s40194-024-01737-1.
- [10] Z. Y. Ma, “Friction stir processing technology: A review,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 39 A, no. 3, pp. 642–658, 2008, doi: 10.1007/s11661-007-9459-0.
- [11] M. M. Z. Ahmed, M. M. E.-S. Seleman, Z. A. Zidan, R. M. Ramadan, S. Ataya, and N. A. Alsaleh, “Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Friction Stir Welded AA2024-T4/AA7075-T6 T-Butt Joints,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, 2021, doi: 10.3390/met11010128.
- [12] S. Memon, D. Fydrych, A. C. Fernandez, H. A. Derazkola, and H. A. Derazkola, “Effects of fsw tool plunge depth on properties of an al-mg-si alloy t-joint: Thermomechanical modeling and experimental evaluation,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 16, 2021, doi: 10.3390/ma14164754.
- [13] jimy unfried Silgado, A. Torres Ardila, J. C. Carrasco García, and J. Rodríguez Fernández, “Effects of shoulder geometry of tool on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of AA1100 aluminum alloy,” *DYNA*, vol. 84, no. 200, pp. 202–208, 2017, doi: 10.15446/dyna.v84n200.55787.