

## PERUBAHAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN GESEK ALUMINIUM 6061 AKIBAT PERUBAHAN TEMPERATUR LINGKUNGAN

### Muhammad Ikram Kido

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Politeknik Bosowa  
Jurusan Teknik Mesin  
Ikram.kido@gmail.com

### Sugiarto

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
Sugik\_mlg@ub.ac.id

### Djarot B. Darmadi

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
b\_darmadi\_djarot@ub.ac.id

*Friction welding is a welding technique that utilizes heat due to surface friction between a rotating and pressing workpiece. This study aims to analyze the effect of environmental temperature variations on the mechanical properties of Al 6061 alloys, friction welding specimens with variations in room temperature (27°C), 50 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C, and 150 °C. Welding is carried out using a lathe with a rotation speed of 1600 rpm, a workpiece diameter of 15 mm, a chamfer angle of 15°, a friction force of 65 bar for 6 seconds, and a final compressive force of 325 bar for 60 seconds. Changes in mechanical properties in terms of tensile strength and hardness. The results showed that the higher working environment temperature produced greater tensile strength than Al 6061 friction weld joints. From macro-micro observations, it was found that specimens with large tensile strength (specimens welded at 100 °C, 125 °C, and 150 °C) had a large area (Zpl) and finer granules when compared to specimens with small tensile strength (specimens welded at room temperature (27 °C), 50 °C and 75 °C).*

**Keywords:** Friction Welding, Aluminium 6061, Mechanical Properties.

## 1. PENDAHULUAN

Aluminium paduan merupakan material *non ferro* yang banyak digunakan dalam komponen otomotif. Aluminium paduan tergolong material logam yang memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi dan bersifat ringan ( $2.7 \text{ gram/cm}^3$ ) [1]. Selain sifatnya yang ringan dan kuat, aluminium paduan termasuk yang memiliki ketahanan terhadap korosi. Dari beberapa sifat aluminium paduan, ketahanan terhadap korosi merupakan sifat yang perlu dipertimbangkan khususnya dalam perencanaan konstruksi mesin yang berhubungan langsung dengan lingkungan sekitarnya [2]. Jenis aluminium paduan yang banyak digunakan dalam konstruksi mesin otomotif adalah aluminium paduan seri 6061. Paduan jenis ini termasuk yang dapat dipanaskan (*heat treatment*) dan tahan terhadap korosi [3].

Penyambungan aluminium paduan yang dilakukan dengan pengelasan cair (fusi) tergolong sulit karena cenderung menghasilkan cacat porositas dan retak selama solidifikasi. Aluminium paduan juga memiliki kelemahan pada daerah permukaan karena terbentuk lapisan aluminium oksida. Dalam pengelasan cair lapisan aluminium oksida ini harus dihancurkan dahulu, karena lapisan ini memiliki sifat yang sangat keras dengan temperatur leleh yang tinggi [4]. Salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan teknik penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan pengelasan cair adalah dengan pengelasan gesek (*friction welding*).

Friction welding merupakan proses pengelasan *solid-state* yang menghasilkan panas melalui gesekan mekanik antara benda kerja yang bergerak dan benda kerja yang diam (stasioner), dengan penambahan gaya lateral yang disebut "*upset force*" untuk memindahkan dan memadukan material secara plastis. Panas dalam pengelasan gesek dihasilkan oleh konversi energi mekanik menjadi energi panas dan deformasi visko-plastis yang bekerja pada antarmuka benda kerja selama rotasi di bawah tekanan [5]-[6]. Keunggulan lain dari *friction welding* adalah penghematan material dan tidak perlu waktu lama untuk menyambung dua material yang

sama maupun berbeda jenisnya [7][8]. Sedangkan parameter proses yang penting adalah waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, kecepatan putar, geometri permukaan kontak, diameter permukaan kontak dan kekasaran permukaan kontak [9].

Selain itu komposisi kimia aluminium paduan dalam pengelasan gesek sangat menentukan sifat-sifat lasan[10]. Menurut K Reddi Prasad *et al* [11] menyatakan bahwa mikro struktur pada zona las dan HAZ pada sambungan *friction welding* AA 6061-T6 memiliki struktur butiran halus seragam yang membuat kekuatan tarik dan kekerasannya meningkat dibanding logam dasar. Namun, jika panas yang dihasilkan oleh gesekan dan deformasi plastis terlalu tinggi dapat menyebabkan sambungan las mengalami efek pelunakan termal, yang menyebabkan kekuatan HAZ lebih rendah dari bahan material [12]. Untuk mengurangi pelunakan termal dan meningkatkan kekuatan telah dilakukan pendinginan paksa selama pengelasan gesek.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan pada pengelasan gesek, dapat disimpulkan bahwa, parameter proses pengelasan seperti waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, kecepatan putar, geometri permukaan kontak, diameter permukaan kontak dan kekasaran permukaan kontak dapat menentukan sifat-sifat lasan. Selain itu, adanya temperatur pengelasan gesek yang terlalu tinggi yang menghasilkan pelunakan termal daerah las dan HAZ, dan komposisi kimia dari bahan aluminium paduan dapat menyebabkan terbentuknya fase intermetalik yang cenderung memiliki sifat rapuh dan rentan terhadap kegagalan las. Laju pendinginan yang terlalu tinggi setelah gesekan dan penekanan berpengaruh pada pembentukan daerah sambungan yang keras dan rapuh. Mengatur laju pendinginan setelah pengelasan gesek dapat dilakukan dengan menurunkan atau menaikkan temperatur lingkungan selama proses penyambungan. Menaikkan temperatur lingkungan di atas temperatur ruang akan mempercepat benda kerja mencapai kondisi *solid state* dan menurunkan delta temperature ( $\Delta T$ ) yang berarti akan menurunkan laju pendinginan. Dampak dari perbedaan temperatur lingkungan dalam pengelasan gesek aluminium paduan AA 6061 belum diketahui pengaruhnya terhadap hasil pengelasan gesek sehingga menarik untuk dikaji. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan temperatur lingkungan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan gesek.

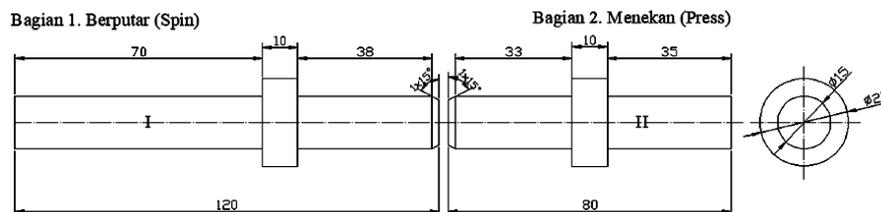
## 2. METODE DAN BAHAN

Material yang digunakan adalah Aluminium 6061 berbentuk silinder pejal. Dari hasil uji komposisi kimia material uji, memiliki kandungan unsur kimia seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

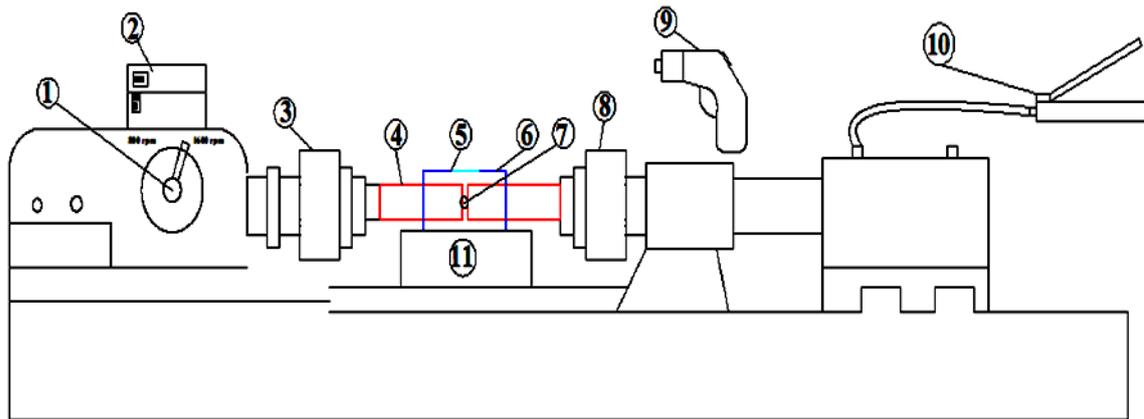
**Tabel 1.** Komposisi kimia aluminium paduan 6061

Komposisi Kimia (% berat)					
Aluminium Paduan 6061	Si	Fe	Cu	Mg	Mn
	0.47	0.42	0.23	0.81	0.15
	Cr	Zn	Ti	Al	Ba
	0.213	0.173	0.01	96.3	0.03

Material awal untuk pembuatan spesimen las gesek berbentuk silinder pejal. Material tersebut dipotong dengan menggunakan mesin gergaji (*hack saw*) dengan ukuran panjang 120 mm dan 80 mm sebanyak 36 pasang spesimen. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan media air pendingin (*coolant*) untuk mendinginkan material agar panas yang timbul tidak berdampak negatif terhadap hasil pemotongan spesimen. Setelah dipotong kemudian, dilakukan proses pembuatan spesimen benda kerja menggunakan mesin CNC dengan dimensi benda kerja seperti pada gambar 1.



**Gambar 1.** Dimensi benda kerja aluminium 6061



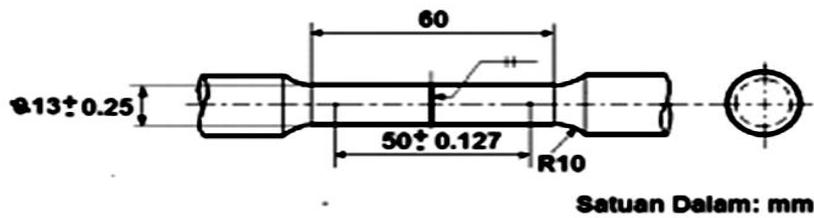
**Gambar 2.** Skema proses pengelasan AA 6061

Keterangan:

1. *Spindle* Pengatur Kecepatan Putar (rpm)
2. Alat Kontrol Suhu
3. Pencekam Kepala Tetap (*Chuck Head Stock*)
4. Benda Kerja Pengelasan Aluminium 6061
5. Kaca Tabung
6. Tabung Coran
7. Lubang
8. Pencekam Kepala Lepas (*Tail Stock*)
9. *Hot Air Gun* (Masukan Udara Panas)
10. Pompa Hidrolik (*Hidrolik Pump*)
11. Landasan (Base)

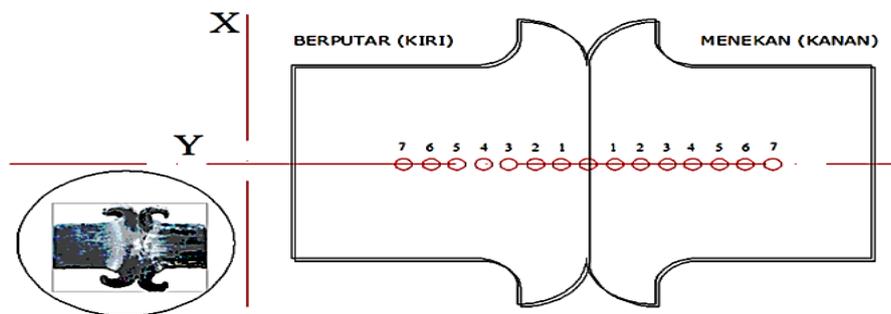
Proses pengelasan gesek dilakukan menggunakan mesin bubut. Pada awalnya benda kerja aluminium 6061 dipasang pada bagian pencekam berputar dan bagian yang bergerak maju menekan, setelah itu mengatur kecepatan spindle mesin bubut sebesar 1600 rpm, dilakukan pembersihan permukaan benda kerja dengan cairan aseton. Setelah itu melakukan proses penyambungan dengan pemberian variasi suhu lingkungan dengan variasi suhu ruang (27 °C), 50 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C dan 150 °C. Tekanan awal diberikan 65 bar selama 6 detik. Setelah itu putaran dihentikan dan ditambahkan gaya tekanan akhir sebesar 325 bar selama 2 menit. Selanjutnya dilakukan proses pengujian hasil sambungan las gesek. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian foto mikro, pengujian kekerasan dan pengujian tarik. Pembuatan spesimen foto mikro dilakukan dengan memotong melintang hasil las gesek, kemudian spesimen dipoles dan di etsa menggunakan cairan kimia Keller's Reagent yaitu 2,5 ml HNO<sub>3</sub>, 1,5 ml HCl, 1,0 ml HF, 95 ml air dengan proses perendaman selama 10-20 detik[13]. Pengamatan foto mikro dilakukan dengan menggunakan perbesaran 200 kali.

Spesimen hasil pengelasan, dibubut sesuai ukuran standar pengujian tarik *American Welding Society* (AWS-B4.0) seperti pada Gambar.3 [14]



**Gambar 3.** Ukuran spesimen uji tarik [14]

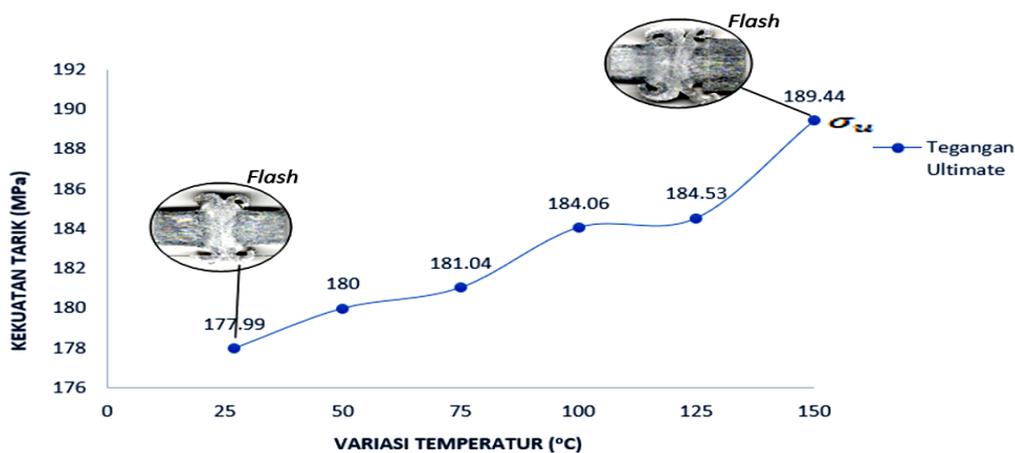
Sedangkan pengujian kekerasan menggunakan alat uji *digital microhardness tester (MicroVickers)*. Pengujian *micro hardness vickers* bertujuan untuk menentukan nilai kekerasan dari suatu material, Sebelum melakukan pengujian *micro Vickers* benda kerja hasil pengelasan dipotong melintang sejajar sumbu awalnya dan di haluskan sampai permukaannya rata. Untuk pengambilan nilai kekerasan dimulai dari titik tengah sambungan pada pembebanan sebesar 98 gf dan waktu pembebanan selaman 15 detik (Gambar 4).



**Gambar 4.** Pengujian kekerasan mikro vickers aluminium 6061

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil pengujian tarik dapat diketahui nilai kekuatan tarik maksimum dari masing-masing spesimen dengan variasi temperatur lingkungan sebagaimana Gambar 5.

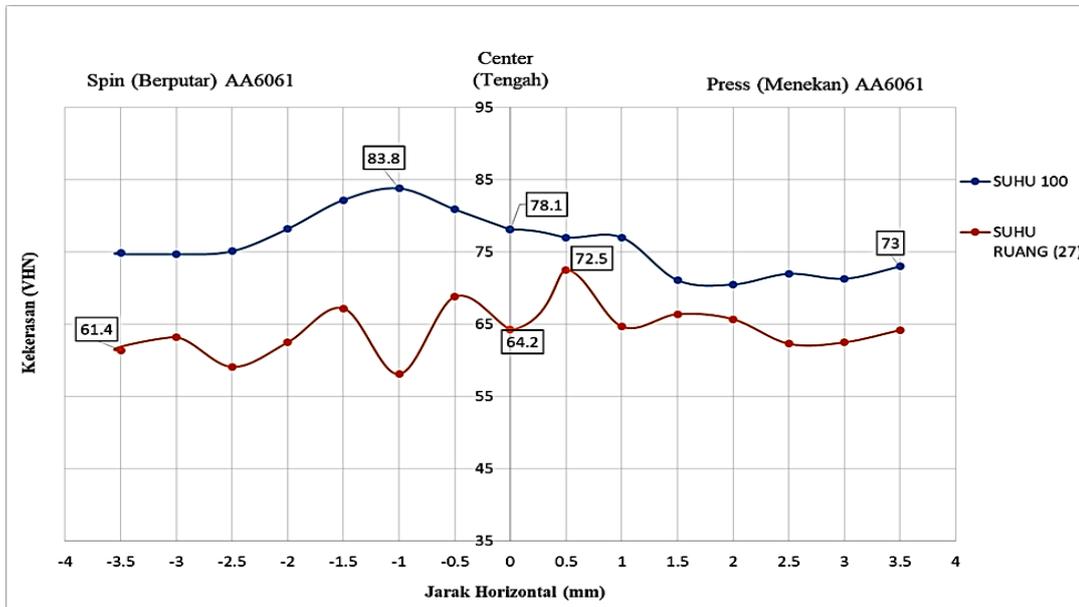


**Gambar 5.** Grafik hubungan antara variasi temperatur lingkungan terhadap kekuatan tarik.

Dari gambar 5 diketahui bahwa kekuatan tarik tertinggi hasil pengelasan gesek aluminium 6061 diperoleh pada suhu lingkungan 150°C sebesar 189,44 MPa sedangkan kekuatan tarik paling rendah didapatkan dari spesimen yang dilas pada temperatur ruang (27 °C) sebesar 177,99 MPa. Dengan meningkatnya suhu lingkungan menyebabkan pelunakan pada *interface* semakin besar yang ditunjukkan dengan pembentukan *flash* dan penyusutan yang semakin banyak. Pelunakan yang lebih besar dikeluarkan menjadi *flash* yang lebih banyak sebagaimana spesimen pada suhu lingkungan 150 °C, selain itu melihat

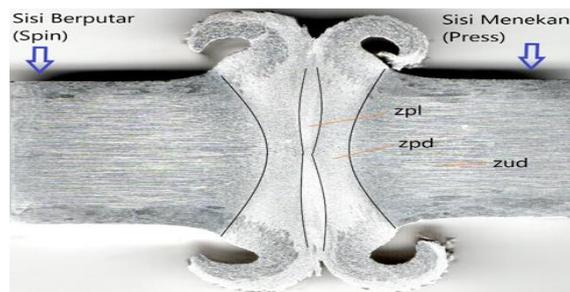
penyusutannya yang begitu banyak pada suhu 150 °C, sedangkan pada suhu ruang (27 °C) tingkat pelunakan dan penyusutan pada interface lebih kecil.

Distribusi nilai kekerasan Vickers, pada spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi dan terendah ,seperti pada Gambar 6 dibawah ini

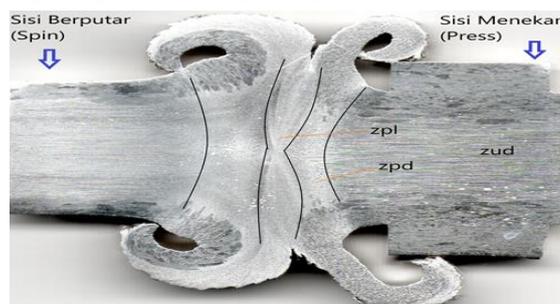


**Gambar 6.** Kekerasan vickers pada pengelasan gesek dengan spesimen suhu ruang (27 °C ) dan suhu 100°C

Pada Gambar 6 terlihat bahwa kekerasan spesimen yang dilas pada suhu 100°C mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang dilas pada suhu ruang (27°C). Kekerasan spesimen yang dilas pada suhu 100°C berkisar pada 73 - 83,8 VHN. Sedangkan kekerasan spesimen yang dilas pada suhu ruang (27°C) berkisar antara 61,4 - 72,5 VHN. Dari grafik distribusi kekerasan Vickers, tingginya temperatur pada proses pengelasan gesek, menentukan luas jangkauan HAZ [7]. Semakin tinggi temperatur pada proses pengelasan dan semakin lama panas itu dibangkitkan, akan memperluas HAZ pada kedua sisi sambungan, yang terkonfirmasi dengan perubahan sifat mekanis kekerasan di kedua sisi sambungan.



**Gambar 7.** Struktur makro potongan melintang (Longitudinal) spesimen yang dilas pada suhu ruang (27 °C)



**Gambar 8.** Struktur makro potongan melintang (Longitudinal) spesimen yang di las pada suhu 150 °C

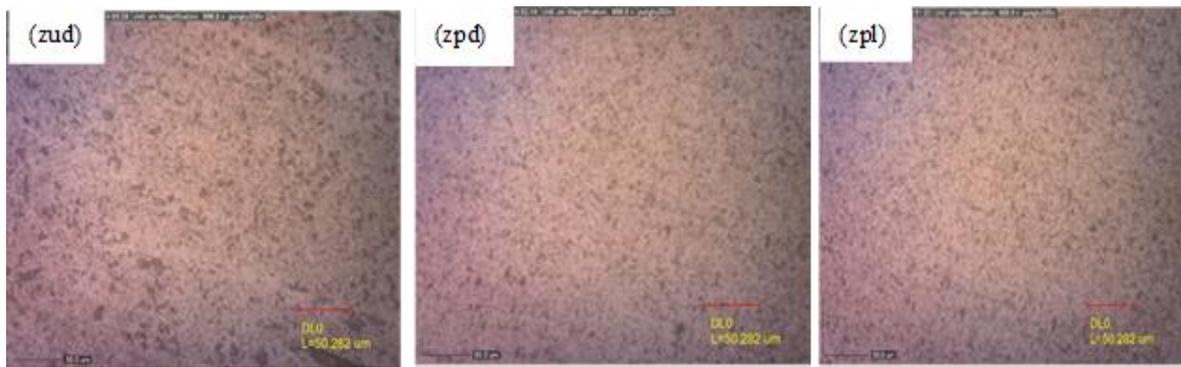
Tabel 2. Luas zona deformasi (zpl dan zpd,) hasil pengelasan gesek pada pada spesimen suhu ruang (27°C) dan suhu 150°C

Variasi Temperatur Lingkungan Ruang	Luas Area (mm <sup>2</sup> )		
	Zpl	Berputar Zpd	Menekan zpd
Suhu ruang (27 °C)	28,17	45,31	45,31
suhu 150 °C	65,10	80,70	35,38

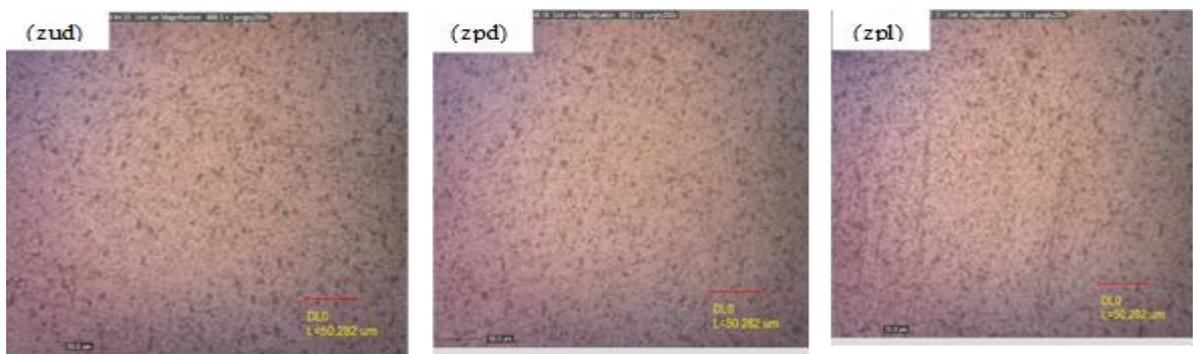
Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan struktur makro pada bagian potongan melintang (longitudinal) spesimen yang dilas pada suhu ruang (27 °C ) dan spesimen yang dilas pada suhu 150 °C. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa keduanya memiliki tiga zona yakni *Zone plastic* (Zpl), *Zone plastic deformed* (Zpd) dan *Zone undeformed* (Zud). Dengan menggunakan software ImageJ dapat diketahui luasan daerah yang terdeformasi (Zpl dan Spd), dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 2. Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa spesimen dengan kekuatan tarik tinggi (spesimen yang dilas pada suhu 150 °C) memiliki luas area Zpl dan Zpd jauh lebih besar dibandingkan dengan spesimen dengan kekuatan tarik rendah (spesimen yang dilas pada suhu ruang(27 °C)). Zpd spesimen yang dilas pada suhu 150 °C pada sisi yang menekan jauh lebih kecil dibandingkan dengan spesimen yang dilas pada suhu ruang. Hal ini disebabkan oleh pelunakan yang terjadi pada spesimen yang dilas pada suhu 150 °C pada sisi penekan lebih besar. Pelunakan yang besar diakibatkan oleh temperatur yang tinggi yang dihasilkan dari proses gesekan dan suhu lingkungan (150 °C) dan terakumulasi dengan *upset force*.

Foto mikro yang dihasilkan oleh proses pengelasan gesek spesimen yang dilas pada suhu ruang (27°C) dan suhu 150°C ditampilkan pada Gambar 9.

a. Suhu Ruang (27°C)



b. Suhu 150°C



**Gambar 9.** Foto Mikro Spesimen (a).Suhu Ruang(27°C) dan (b). Suhu 150°C

Seperti yang terlihat pada Gambar 9, *Microstructures* partikel hitam yang merata pada matriks aluminium adalah  $Mg_2Si$  dan partikel yang berwarna abu-abu adalah  $Fe_3SiAl_{12}$  [15], perubahan struktur mikro hanya terjadi penghalusan butir-butir atom dan tidak mengalami perubahan fase karena pada proses pengelasan gesek tidak menggunakan logam pengisi dan tidak mendapatkan proses perlakuan (heat treatment), [15][16]. Daerah Zud cenderung memiliki ukuran butir yang lebih besar pada suhu ruang ( $27^\circ C$ ) jika dibandingkan pada suhu  $150^\circ C$  sedangkan pada daerah Zpd dan Zpl keduanya cenderung mempunyai ukuran butir yang lebih kecil. Adanya perbedaan pada daerah Zud, Zpd dan Zpl dikarenakan logam las telah mengalami proses pemanasan akibat gesekan dan proses penempaan [16]. Pemanasan maupun proses penempaan akan dapat merubah struktur mikro. Temperatur lingkungan (suhu pemanasan) semakin meningkat menyebabkan temperatur puncak pada daerah interface juga meningkat yang ditunjukkan daerah yang mengalami pelunakan dan berubah menjadi flash juga semakin besar (BOL) dan dengan temperatur puncak yang semakin tinggi pada daerah sambungan menyebabkan laju pendinginan daerah sambungan juga semakin tinggi dan menghasilkan struktur butiran yang halus, hal ini disebabkan oleh adanya input panas lebih tinggi dan efek gaya tekanan (upset) yang lebih tinggi membuat endapan  $Mg_2Si$  dengan ukuran kecil lebih tersebar ke butir matriks aluminium (terdispersi merata) seperti pada gambar 9. Ada banyaknya warna abu-abu pada butiran aluminium mengandung lebih banyak endapan  $Mg_2Si$  berkontribusi untuk menghasilkan kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih tinggi pada biji-bijian [9][15]. Hasil menunjukkan bahwa setiap parameter pengelasan memiliki dampak yang signifikan terhadap struktur mikro, kekerasan mikro dan kekuatan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini bisa diambil kesimpulan yaitu:

1. Kekuatan tarik pada pengelasan gesek aluminium A6061 meningkat seiring dengan bertambahnya suhu lingkungan. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen yang dilas pada suhu lingkungan  $150^\circ C$  sebesar 189,44 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh dari spesimen yang dilas pada suhu ruang ( $27^\circ C$ ) sebesar 177,99 MPa.
2. Semakin tinggi temperatur akan meningkatkan nilai kekerasan pada proses pengelasan. Pada penelitian ini spesimen suhu  $100^\circ C$  memiliki nilai kekerasan tertinggi yakni berkisar pada 73 - 83,8 VHN. Sedangkan spesimen suhu ruang ( $27^\circ C$ ) memiliki nilai kekerasan terendah yakni berkisar antara 61,4 - 72,5 VHN.
3. Semakin tinggi temperatur pada proses pengelasan dan semakin lama panas yang dibangkitkan, akan memperluas HAZ pada kedua sisi sambungan, sehingga mempengaruhi nilai kekuatan tarik tersebut.

#### PERNYATAAN TERIMAKASIH

Melalui pernyataan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada Lembaga Pengelolaan Dana Pendidikan Indonesia (LPDP INDONESIA) yang telah mendukung pembiayaan perkuliahan dan penelitian saya., dan juga kepada pembimbing Dr. Sugiarto, ST, MT dan Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D yang telah memberikan arahan juga motivasi dalam bimbingannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUKMANA, IRZA, *et al.* 2016, *Pengaruh Kecepatan Putar Indentor Las Gesek Puntir (Friction Stir Welding) Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Aluminium 1100-H18*, Jurnal Mechanical, Volume 7, Nomor 1.
- [2] LUMLEY, ROGER, 2011, *Handbook "Fundamentals of aluminium metallurgy"*. Woodhead Publishing Limited.
- [3] KAUFMAN J. G., 2016. ASM Handbook "Fire Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys.
- [4] JAMES J. A. AND R. SUDHISH, 2016 "Study on Effect of Interlayer in Friction Welding for Dissimilar Steels: SS 304 and AISI 1040," *Procedia Technol.*, vol. 25, pp. 1191–1198.
- [5] XIONG J. T., L. YUAN, Y. J. DU, J. M. SHI, AND J. L. LI, 2019 "The thermodynamic analytical models for steady-state of continuous drive friction welding based on the maximum entropy production principle, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113840>
- [6] CAROL, JACK *et al.* 2018 "Sambungan Paduan Aluminium Dan Baja Karbon Pada Pengelasan Gesek Continuous Drive," vol. 9, no. 1, pp. 51–59.

- [7] SUSHANT SUKUMAR BHATE AND S. G. BHATWADEKAR, 2016, A Literature Review of Research on Rotary Friction Welding, International Journal Of Innovative Technology And Research (IJTR), Vol. 4, Issue No.1, pp. 2601 – 2604.
- [8] IRAWAN Y.S. AND R. SOENOKO, 2016 “Effect of surface roughness and chamfer angle on tensile strength of round aluminum A6061 produced by continuous drive friction welding,” doi: [10.3923/jeasci.2016.1178.1185](https://doi.org/10.3923/jeasci.2016.1178.1185).
- [9] E. RAVIKUMAR, N. ARUNKUMAR, AND SUNNAPU GUNHIE SAMHIT, 2013, Characterization of Mechanical Properties of Aluminum (AA6061-T6) By Friction Welding, rd International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering (ICMAME'2013), pp. 127-131
- [10] K REDDI PRASAD, V G SRIDHAR, 2017, Experimental Investigation on Mechanical Characterization Of Aa6061-T6 Pipe Joints By Continuous Drive Friction Welding, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Vol. 8, Issue 9, pp. 264–273
- [11] PENG G. *et al.* 2018, “Nano indentation Hardness Distribution and Strain Field and Fracture Evolution in Dissimilar Friction Stir-Welded AA 6061-AA 5A06 Aluminum Alloy Joints, Advances in Materials Science and Engineering,” Vol. 2018, Article ID 4873571, 11 pages <https://doi.org/10.1155/2018/4873571>
- [12] LENG, Y 2008. HandBook. Materials Characterization Ontroduction to Microscopic and Spectroscopic.
- [13] AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS B4.0) HandBook. 2016, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds
- [14] RIZKA M GITA FIRMANSYAH, SOLICHIN, RR. POPPY PUSPITASARI. 2018. Analisis Kecepatan Putar, Durasi Gesek dan Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek (Friction Welding). Online. <http://journal2.um.ac.id/index.php/jtmp-Paper.pdf>. Diakses Desember 2018.
- [15] SUGITO, BIBIT *et al.* 2016, Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plung) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Pengelasan Gesek AL 5083. <http://digilib.its.ac.id/public/TTS-paper-24016-2108100519-Paper.pdf>. Online. Diakses 06 Juni 2017.