
INVESTIGASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS LOGAM TAK SEJENIS ANTARA BAJA TAHAN KARAT AISI 316 DENGAN BAJA PADUAN AISI 4340 MENGGUNAKAN *ROTARY FRICTION WELDING*

Haikal*, Bambang Margono, Ahmad Alfayed, Rahmad Faisal Rananto

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta

Jl. Raya Solo Baki Km.2 Kwarasan, Solo Baru, Sukoharjo

*Email: basalamahhaikal3@gmail.com

Abstrak

Pengelasan gesek merupakan salah satu metode penyambungan material yang disebabkan gesekan antara dua material yang memanfaatkan panas gesekan antara kedua material yang sama maupun berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh tekanan dan waktu pengelasan terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan friction welding logam tak sejenis AISI 316 dan AISI 4340. Variasi tekanan gesek yang digunakan 50 kg/cm², 70 kg/cm² dan 90 kg/cm², sedangkan variasi waktu yang digunakan adalah 35 detik, 50 detik, dan 65 detik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai optimal kekuatan tarik yang dihasilkan terdapat pada variasi 70 kg/cm² dengan waktu 35 detik dengan rata-rata nilai sebesar 571.26 N/mm². Semakin besar variasi tekanan gesek yang diberikan dengan variasi waktu gesek konstan nilai kekerasannya semakin menurun. Terbukti bahwa nilai kekerasan pada variasi tekanan gesek tertinggi 90 kg/cm² waktu 65 detik sebesar 486 HVN dan variasi tekanan gesek terendah 50 kg/cm² dengan waktu gesek 65 detik sebesar 614.4 HVN. Daerah HAZ terjadi transformasi fasa yang mengakibatkan ukuran butir berbeda dengan daerah logam induk.

Kata kunci: *friction welding, logam tak sejenis, tekanan gesek, waktu gesek.*

1. PENDAHULUAN

Berbagai upaya telah dilakukan industri untuk meningkatkan nilai ekonomis dari proses manufaktur yaitu menyambungkan material yang berbeda jenis. Proses penyambungan material tak sejenis akan mengalami kesulitan dikarenakan adanya perbedaan sifat fisik, mekanik, termal, dan metalurgi. Penyambungan antara baja karbon dengan baja tahan karat merupakan salah satu contoh *dissimilar welding* yang banyak dilakukan oleh industri. Hal ini dikarenakan baja tahan karat memiliki ketahanan korosi yang sangat baik sehingga banyak dipergunakan untuk area yang bersifat korosif. Akan tetapi baja karbon memiliki kekuatan yang tinggi dan harga yang jauh lebih murah sehingga banyak dipergunakan pada komponen otomotif seperti poros, roda gigi, gardan (Wu et al., 2015). Oleh karena itu, proses penyambungan dari kedua material tersebut akan menghasilkan komponen yang dapat memenuhi kebutuhan dengan nilai ekonomi yang terjangkau.

Las gesek (*friction welding*) merupakan teknik pengelasan yang banyak digunakan secara luas pada industri otomotif maupun penerbangan untuk menyambungkan material antar logam maupun termoplastik. Las ini sangat berbeda dengan las fusi pada umumnya dimana pada daerah las tidak mencapai tahap peleburan atau lebih dikenal dengan *solid-state welding*. Panas yang timbul dalam pengelasan ini dihasilkan oleh transformasi energi dari energi mekanik menjadi energi panas melalui gesekan pada kedua permukaan material las. Teknik penyambungan las ini memiliki banyak keuntungan antara lain kemampuan las yang baik (*weldability*) pada aplikasi sambungan material sejenis maupun tak sejenis (*similar/dissimilar alloys*), tidak membutuhkan bahan pengisi (*non-consumable*), terjadi penyusutan dan distorsi yang relatif rendah, serta sifat mekanik sambungan yang baik (Caligulu and Acik, 2015, Caligulu et al., 2015, Celik and Ersozlu, 2009, Sarsilmaz et al., 2017). Las gesek dapat digunakan untuk menyambungkan material dengan bentuk antara lain as dengan as, as dengan pelat, dan lain sebagainya (Caligulu et al., 2015).

Prinsip kerja dari las gesek adalah 2 material yang dipadukan dimana salah satu material berputar dengan kecepatan tertentu dan satunya dalam keadaan diam lalu dikontakkan sehingga terjadinya gesekan dengan tekanan yang terus diberikan. Ketika gesekan yang terjadi menimbulkan panas dan material mencapai pada tahap deformasi plastik (*burn-off*), putaran dihentikan lalu diberikan tekanan yang tinggi (Sahin et al., 1998, Shioya et al., 1965). Faktor-faktor yang sangat

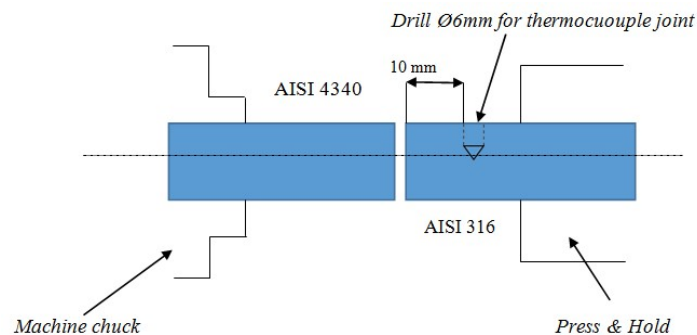
berpengaruh terhadap kualitas sambungan las gesek antara lain waktu gesekan, waktu tempa, tekanan gesek, tekanan tempa, dan kecepatan putaran (Özdemir, 2002, Mercan et al., 2015, Cheepu et al., 2018, Selvamani and Palanikumar, 2014, Paventhan et al., 2012).

Pembahasan las gesek logam tak sejenis antara baja karbon dengan baja tahan karat telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Namun demikian parameter las gesek antar sambungan material tak sejenis satu sama lain tidak dapat disamakan dikarenakan karakteristik material yang berbeda. Pengaruh parameter las terhadap hasil sambungan *friction welding* logam tak sejenis antara baja AISI 316 dan baja AISI 4340 belum pernah dilakukan investigasi sebelumnya sepanjang sepengetahuan peneliti. Paper ini telah menunjukkan pengaruh parameter las terhadap struktur mikro, kekerasan dan juga kekuatan tarik sambungan telah dievaluasi.

2. METODE PENELITIAN

2.5.1 Preparasi Material Dan Proses Pengelasan

Baja tahan karat tipe austenit AISI 316 (*Austenitic Stainless Steel*) dan baja paduan AISI 4340 (*Alloy Steel*) dalam bentuk batang (*as rods*) dengan ukuran diameter 12,7 mm telah digunakan dalam penelitian material pada paper ini. Komposisi kimia dan sifat-sifat mekanik dari material tersebut ditunjukkan pada tabel 1 dan 2. Material dipotong dengan menggunakan mesin potong dengan panjang 100 mm. Mesin bubut Krisbow KW2400038 digunakan untuk melakukan pengelasan gesek. Skema penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 1. Mesin ini beroperasi dengan kecepatan putaran konstan 1800 rpm. Pencekam (*chuck*) dapat bergerak secara aksial dengan dibantu sebuah hidrolis satu silinder yang berkemampuan tekanan hingga 310 bar. Rangka *Chuck* dibuat secara kuat untuk mengatasi getaran yang muncul saat proses gesekan berlangsung seperti ditunjukkan pada gambar 2. Las gesek dilakukan dengan variasi tekanan gesek (*friction force*) $P_1 = 50 \text{ kg/cm}^2$, $P_2 = 70 \text{ kg/cm}^2$, dan $P_3 = 90 \text{ kg/cm}^2$. Waktu gesek (*friction time*) menggunakan variasi $t_1 = 35 \text{ s}$, $t_2 = 50 \text{ s}$, dan $t_3 = 65 \text{ s}$. Sedangkan parameter lainnya seperti tekanan tempa (*friction force*) dan waktu tempa (*forging time*) dikunci sebesar 150 kg/cm^2 selama 120 detik. Pengambilan suhu selama proses pengelasan gesek dilakukan menggunakan *thermocouple* type K yang terhubung dengan modul serta arduino dan komputer sehingga pengambilan data dapat dilakukan secara *real time*.



Gambar 1. Skema penelitian pengelasan gesek material AISI 316 dan AISI 4340



Gambar 2. Alat pencekam sekaligus sistem hidrolis las gesek

Tabel 1. Sifat-sifat mekanik material AISI 316 dan AISI 4340

Sifat-sifat mekanik	AISI 316	AISI 4340
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	515	745
<i>Yeild Strenght</i> (MPa)	205	470
<i>Hardness Brinel</i>	95	217
<i>Elongation</i> (%)	40	22

Tabel 2. Komposisi bahan kimia AISI 316 dan AISI 4340

Material	Unsur paduan (wt.%)							
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
AISI 316	0,08	2,00	0,045	0,03	1,00	10,0-14,0	16,0-18,0	2,00-3,00
AISI 4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,035	0,04	0,15-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30

2.5.2 Karakterisasi Sambungan Las Gesek

Pengamatan mikro struktur dilakukan menggunakan Euromex Inverted Microscopes. Prosuder untuk pengamatan mikro struktur diawali dengan proses pemotongan, *mounting*, *polishing* dan terakhir etsa. Proses etsa dilakukan secara 2 kali pencelupan dalam laurutan etsa dikarenakan properti kedua material sangat berbeda. Larutan etsa yang digunakan yaitu larutan Nital dimana 5 ml asam nitrat HNO₃ dan 100 ml alkohol untuk etsa baja AISI 4340. Sedangkan larutan etsa untuk baja AISI 316 adalah 10 ml asam nitrat, 20 ml asam klorida and 30 ml air.

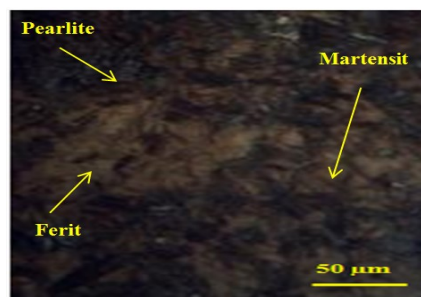
Pengujian tarik dilakukan dengan dimensi spesimen mengacu pada standar ASTM E8 M. Pengujian ini menggunakan alat uji tarik *Hydraulic Universal Testing Machine* WEW-600D dengan kecepatan tarik konstan 6 mm/s.

Uji kekerasan dilakukan dengan *menggunakan* metode vickers dengan standar ASTM E92-82. Pengujian ini terdapat 25 titik kekerasan dengan tekanan indenter sebesar 9.80 N (1000 gf) dan *load holding time* selama 15 detik.

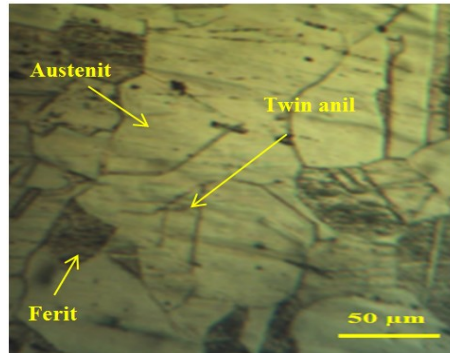
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur butiran pada daerah logam induk, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan sambungan las. Logam induk merupakan daerah yang terkena dampak panas tapi tidak mengalami perubahan struktur mikro. Sedangkan HAZ merupakan daerah yang terkena panas dan mengalami perubahan pada struktur mikro tetapi tidak sampai terjadi peleburan. Daerah sambungan las merupakan daerah logam las yang mengalami perubahan bentuk (deformasi plastis) dan kemudian terjadi proses pembekuan.

**Gambar 3. Struktur mikro logam induk material AISI 4340**

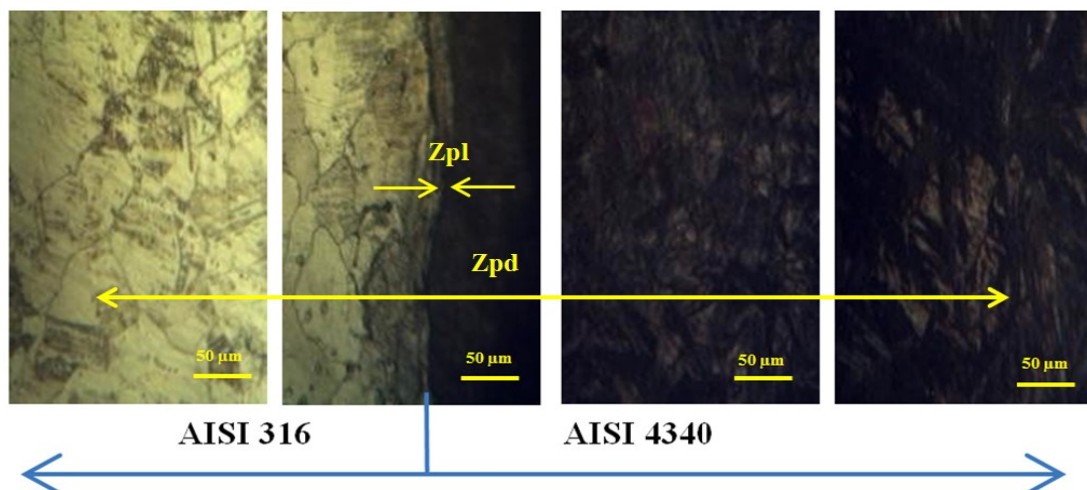
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada pengelasan gesek antara baja AISI 4340 dengan AISI 316 menghasilkan 3 zona utama sesuai dengan penelitian sebelumnya Ozdemir (Özdemir, 2005) yaitu zona terdeformasi plastis pada sekitar garis las (Zp1), zona terdeformasi sebagian (Zpd), dan zona logam induk yang tidak mengalami perubahan akibat efek panas.



Gambar 4. Struktur mikro logam induk material AISI 316

Hasil struktur mikro yang dihasilkan menunjukkan daerah logam induk baja AISI 4340 terdiri atas fasa ferit, perlit dan martensit seperti ditunjukkan pada gambar 3. Fasa ferit memiliki warna terang dan bersifat lunak. Sedangkan perlit berwarna gelap dan bersifat keras dibandingkan ferit. Kemudian martensit memiliki bentuk seperti jarum dan memiliki kekerasan yang sangat tinggi. Struktur mikro logam induk baja AISI 316 memiliki fasa ferit, austenit, dan twin anil seperti ditunjukkan pada gambar 4. Gambar 5 menunjukkan struktur mikro hasil las gesek pada $P_2 = 70 \text{ kg/cm}^2$ dan $t_3 = 65 \text{ s}$.

Pengkasaran butir (*grain coarsened*) terjadi pada daerah HAZ sehingga butir ferit terlihat kasar. Daerah HAZ terletak berdekatan dengan area las. Temperatur pada daerah HAZ tidak terlalu tinggi yaitu sekitar $722 \text{ }^\circ\text{C}$ dimana suhu teridentifikasi secara langsung melalui termokopel dan komputer. Pendinginan yang lambat terjadi pada daerah ini sehingga daerah baja tahan karat ini memiliki ukuran butir ferit (α) dan perlit yang lebih besar dibandingkan daerah logam induk. Sedangkan pada baja paduan terlihat terjadi transformasi bentuk butiran dibandingkan dengan logam induk (lihat gambar 5).

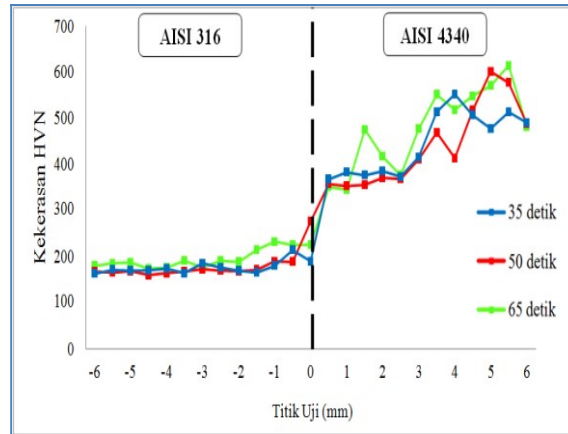


Gambar 5. Struktur mikro yang terbentuk pada las gesek ($P_2 = 70 \text{ kg/cm}^2$ dan $t_3 = 65 \text{ s}$)

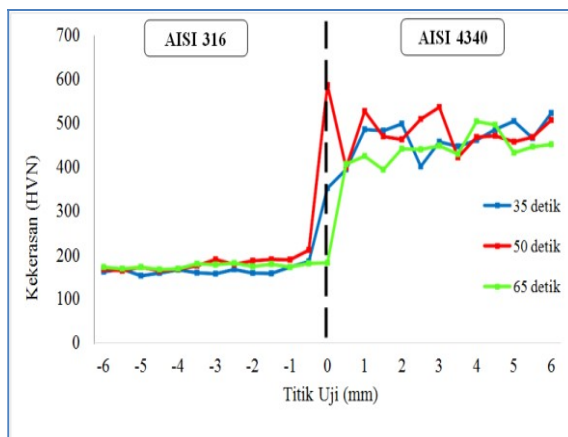
3.2 Sifat Mekanik

3.2.1. Kekerasan

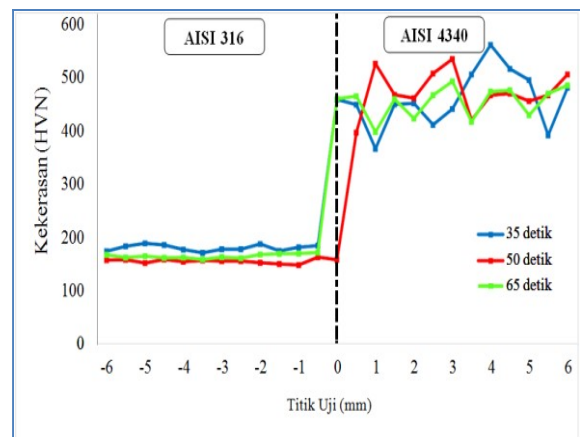
Kekerasan vickers dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada material spesimen uji. Secara umum profil kekerasan sambungan las pada semua variasi tekanan gesek cenderung meningkat di daerah Zpl dan Zpd dimana lebih tinggi dibandingkan kekerasan logam induk AISI 316 seperti ditunjukkan pada gambar 6. Hal ini dikarenakan terbentuknya lapisan karbida dan penghalusan butir (Ma et al., 2015). Namun demikian nilai kekerasan tersebut masih lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan logam induk AISI 4340.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Distribusi kekerasan pada daerah las, HAZ, logam induk pada parameter tekanan gesek: (a) 50 kg/cm² (b) 70 kg/cm² (c) 90 kg/cm²

Variasi tekanan gesek 50 kg/cm² dengan durasi 65 detik nilai tertinggi terdapat di daerah baja AISI 4340 pada jarak 5,5 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 614.4 HVN. Sedangkan nilai kekerasan terendah material baja AISI 4340 terdapat pada variasi waktu yang sama tapi dititik yang berbeda, yaitu pada jarak 1 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 345.1 HVN. Pada material AISI 316 nilai kekerasan terendah terdapat pada variasi waktu yang lebih kecil yaitu 35 detik dengan jarak 6 mm dari sambungan las dengan nilai kekerasan sebesar 168 HVN, sedangkan nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada variasi waktu 65 detik dengan jarak -1 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 232.2 HVN.

Variasi tekanan gesek 70 kg/cm² dengan durasi 50 detik nilai kekerasan tertinggi terdapat didaerah sambungan las atau pada titik 0 dengan nilai kekerasan sebesar 586 HVN. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada material baja AISI 4340 terdapat pada variasi waktu 65 detik yang

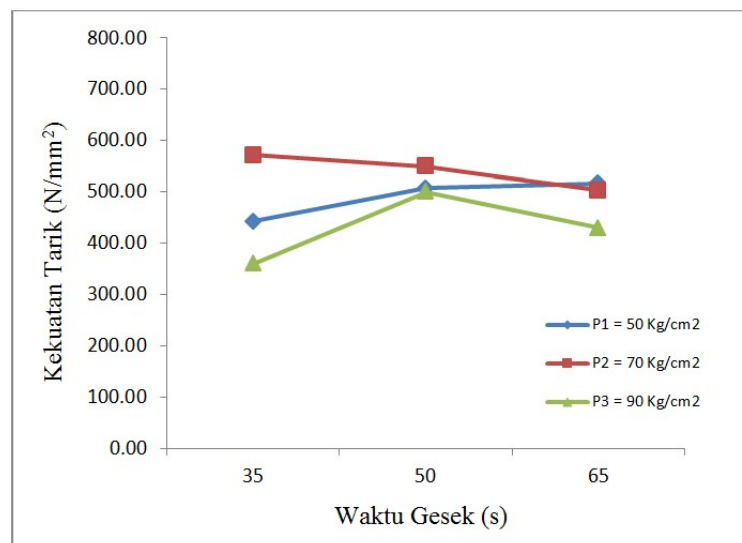
terdapat pada jarak 1,5 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 172.7 HVN. Pada material AISI 316 nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi waktu 50 detik pada jarak -0,5 mm dari sambungan las dengan nilai kekerasan sebesar 211.3 HVN. Sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada variasi waktu yang lebih kecil yaitu 35 detik pada jarak -5 mm dari sambungan las dengan nilai kekerasan sebesar 152.4 HVN.

Variasi tekanan gesek 90 kg/cm² dengan durasi 35 detik nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah baja AISI 4340 pada jarak 4 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 562.1 HVN. Sedangkan nilai kekerasan terendah material baja AISI 4340 terdapat pada variasi waktu yang sama tapi titik yang berbeda, pada jarak 1 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 367.9 HVN. Pada material AISI 316 nilai kekerasan terendah terdapat pada variasi waktu yang sama yaitu 35 detik di daerah logam induk pada jarak -5 mm dari sambungan las dengan nilai kekerasan sebesar 190.7 HVN, sedangkan nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada variasi waktu 50 detik pada jarak -1 mm dari titik sambungan pengelasan dengan nilai kekerasan sebesar 150.2 HVN.

3.2.2. Kekuatan Tarik

Gambar 7 menunjukkan kekuatan tarik sambungan logam tak sejenis *friction welding*. Variasi tekanan gesek 50 kg/cm² dengan variasi waktu 35 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 442.28 N/mm², sedangkan variasi waktu gesek 50 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 507.56 N/mm², dan divariasi waktu 65 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 515.13 N/mm².

Pada variasi tekanan gesek 70 kg/cm² dengan variasi waktu gesek 35 detik rata-rata nilai kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 571.26 N/mm², sedangkan pada variasi waktu gesek 50 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 549.36 N/mm², pada variasi waktu gesek 65 detik rata-rata menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 502.39 N/mm².



Gambar 7. Kekuatan tarik sambungan tak sejenis las gesek

Pada variasi tekanan gesek 90 kg/cm² dengan variasi waktu gesek 35 detik rata-rata menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 360.07 N/mm², sedangkan pada variasi waktu gesek 50 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata 499.60 N/mm², divariasi waktu gesek 65 detik rata-rata menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 429.94 N/mm². Hasil nilai kekuatan tarik tertinggi justru terdapat pada variasi tekanan gesek 70 kg/cm² dengan waktu gesek 35 detik, sedangkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah berada divariasi tekanan gesek paling besar yaitu 90 kg/cm² dengan durasi waktu gesek 35 detik. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan justru nilai kekuatan tariknya semakin rendah, sebaliknya pada tekanan dibawahnya yaitu tekanan gesek 70 kg/cm² nilai kekuatan tariknya semakin meningkat pada durasi waktu yang sama yaitu 35 detik.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian dan analisa data yang diperoleh pada variasi tekanan gesek dan waktu gesek pada proses pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik dan nilai kekerasan hasil sambungan bahan AISI 316 dengan AISI 4340 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tarik dari spesimen pengelasan *friction welding* antara logam tak sejenis baja AISI 316 dengan AISI 4340 menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik yang optimal dihasilkan pada variasi tekanan gesek 70 kg/cm² variasi waktu gesek 35 detik dengan nilai sebesar 571.26 N/mm².
2. Pengaruh pengelasan sambungan *friction welding* antara logam tak sejenis AISI 316 dengan AISI 4340 terhadap nilai kekerasan adalah semakin besar variasi tekanan gesek yang diberikan dengan variasi waktu gesek konstan nilai kekerasannya semakin menurun. Terbukti nilai kekerasan pada variasi tekanan gesek 90 kg/cm² waktu 65 detik sebesar 486 HVN, 70 kg/cm² waktu gesek 65 detik sebesar 503.5 HVN dan 50 kg/cm² dengan waktu gesek 65 detik sebesar 614.4 HVN.
3. Pengkasaran butir (*grain coarsened*) terjadi pada daerah HAZ sehingga butir ferit terlihat kasar. Temperatur pada daerah HAZ tidak terlalu tinggi yaitu sekitar 722 °C dimana terjadi pendinginan yang lambat terjadi pada daerah ini sehingga daerah baja tahan karat ini memiliki ukuran butir ferit (α) dan perlit yang lebih besar dibandingkan daerah logam induk. Sedangkan pada baja paduan terlihat terjadi transformasi bentuk butiran dibandingkan dengan logam induk.

PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus atas dukungan keuangan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Akademi Teknologi Warga Surakarta Tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- CALIGULU, U. & ACIK, M. 2015. *Interface characterization of friction welded low carbon steel and copper alloys*. Materials Testing, 57, 29-36.
- CALIGULU, U., ACIK, M., BALALAN, Z. & KATI, N. 2015. "The effects of process parameters for joining of AISI 1010-Cu alloys by friction welded". *International Journal of Steel Structures*, 15, 923-931.
- CELIK, S. & ERSOZLU, I. 2009. *Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels*. Materials & Design, 30, 970-976.
- CHEPU, M., MUTHUPANDI, V. & CHE, W. S. *Improving mechanical properties of dissimilar material friction welds*. Applied Mechanics and Materials, 2018. Trans Tech Publ, 157-162.
- MA, H., QIN, G., GENG, P., LI, F., FU, B. & MENG, X. 2015. *Microstructure characterization and properties of carbon steel to stainless steel dissimilar metal joint made by friction welding*. Materials & Design, 86, 587-597.
- MERCAN, S., AYDIN, S. & ÖZDEMİR, N. 2015. "Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding". *International Journal of Fatigue*, 81, 78-90.
- ÖZDEMİR, N. 2002. Investigation of weldability of fine-grained low alloyed high carbon steels by friction welding. PhD. *Tehsis*, Fırat University, Institute of Science, Elazığ, Turkey.
- ÖZDEMİR, N. 2005. *Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed*. Materials letters, 59, 2504-2509.
- PAVENTHAN, R., LAKSHMINARAYANAN, P. & BALASUBRAMANIAN, V. 2012. "Optimization of friction welding process parameters for joining carbon steel and stainless steel". *Journal of Iron and Steel Research International*, 19, 66-71.
- SAHIN, A. Z., YIBAŞ, B. S., AHMED, M. & NICKEL, J. 1998. "Analysis of the friction welding process in relation to the welding of copper and steel bars". *Journal of Materials Processing Technology*, 82, 127-136.

- SARSILMAZ, F., KIRIK, I. & BATI, S. 2017. "Microstructure and mechanical properties of armor 500/AISI2205 steel joint by friction welding". *Journal of Manufacturing Processes*, 28, 131-136.
- SELVAMANI, S. & PALANIKUMAR, K. 2014. *Optimizing the friction welding parameters to attain maximum tensile strength in AISI 1035 grade carbon steel rods*. *Measurement*, 53, 10-21.
- SHIOYA, T., YAMADA, S. & KUZUYA, Y. 1965. "Study on welding conditions for steel by friction welding". *Journal of Japanese Welding Society*, 34, 794-800.
- WU, W., HU, S. & SHEN, J. 2015. *Microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of laser welded dissimilar joints between ferritic stainless steel and carbon steel*. *Materials & Design (1980-2015)*, 65, 855-861.