PENGARUH TEKANAN TEMPA DAN WAKTU PENGELASAN TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN *FRICTION WELDING* LOGAM TAK SEJENIS SS-316 DAN AISI-4140

Bambang Margono, Haikal, Moch.Chamim
Program Studi Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta, Surakarta, Indonesia
Email: basalamahhaikal3@gmail.com

ABSTRAK

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan proses penyambungan logam tanpa terjadinya peleburan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat gesekan melalui penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja yang berputar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekana tempa dan waktu pengelasan terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan logam tak sejenis antara baja tahan karat SS 316 dan AISI 4140. Variasi tekanan tempa yang digunakan 110 kg/cm^2, 130 kg/cm^2 dan 150 kg/cm^2, sedangkan variasi waktu pengelasan yang digunakan adalah 35 detik, 50 detik dan 65 detik. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya variasi tekanan tempa dan waktu pengelasan mengakibatkan berkurangnya panjang spesimen, dikarenakan terjadi proses pelumeran pada daerah sambungan pengelasan pada kedua material. Sedangkan semakin berkurangnya panjang spesimen disisi lain mengakibatkan melebarnya panjang *flash* yang dihasilkan. Hasil struktur mikro terlihat terjadi pengkasaran butir (*grain coarsened*) terjadi pada daerah HAZ bentuk dan ukuran butiran berbeda jika dibandingkan dengan logam induk. Nilai kekerasann daerah sambungan rerata sebesar 246,4 HVN. Nilai kekerasan pada logam induk material AISI 4140 rerata sebesar 354,7 HVN. Sedangkan logam induk material SS 316 rerata sebesar 183,5 HVN. Nilai kekerasan antara kedua logam induk tersebut sangat berbeda jauh dikarenakan fasa pada baja AISI 4140 lebih dominan fasa perlit yang memiliki kekerasan tinggi. Nilai kekuatan tarik yang optimal dihasilkan pada variasi tekanan tempa130 kg/cm^2 variasi waktu gesek 35 detik dengan nilai sebesar 455.02 N/mm^2.

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

ABSTRACT

Friction welding is a process of connecting metals without melting or solid state process, in which the welding process is carried out as friction through a combination of rotations of one of the rotating workpieces. This study studies the effect of forging pressure and welding time on the physical and mechanical properties of the unconnected metal connections between stainless steels 316 *and* AISI 4140. *The variation of forging pressure used is* 110 kg/cm^2, 130 kg/cm^2 *and* 150 kg/cm^2, *while the variations welding time used is* 35 *seconds*, 50 *seconds and* 65 *seconds. The results of the study show how variations in forging and welding time reduce the specimen length, causing a lubrication process in the welding area of the both of material. Whereas the reduce length of the specimen results in the widening of the flash length. The results of the microstructure appear to be grain coarsened occurring in the* HAZ *region of different grain shapes and sizes when compared to the parent metal. The hardness value of the mean on welding area was* 246.4 HVN. *The hardness value of the* AISI 4140 *material parent metal is* 354.7 HVN. *While the parent metal material* SS 316 *averages* 183.5 HVN. *The hardness value between the two parent metals is very different because the phase in* AISI 4140 *steel is more dominant pearlite phase which has a high hardness. The optimal tensile strength value is produced at a variation of forging pressure* 130 kg/cm^2 *of variation of friction time of* 35 *seconds with a value of* 455.02 N/mm^2.

Keywords: *friction welding, dissmiliar materials, foring pressure, welding time*.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan, dan dengan atau tanpa logam tambahan menghasilkan sambungan yang kontinyu [1]. Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan [2, 3]. Proses pengelasan diawali dengan dua benda berbentuk silinder (*round bar*) dimana salah satu berputar sedangkan lainnya diam, kemudian dikontakkan oleh gaya tekan. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinu sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan yang kontinyu akan terus meningkat. Adanya gaya tekan dan panas antara kedua kontak permukaan hingga mencapai suhu leleh (*melting temperature*) sehingga terjadilah proses pengelasan [4]. Paramater yang menjadi peran penting terhadap kualitas hasil las gesek antara lain waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan putar [5-7]. Selain itu sudut *chamfer* pada speimen las juga berdampak terhadap hasil kekuatan sambungan las gesek [2, 8].

Penelitian terkait pengelasan gesek logam sejenis maupun tak sejenis telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Mumin (2006) telah menginvestigasi sambungan las gesek logam sejenis baja tahan karat AISI 304. Penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu gesek dan tekanan gesek yang berbeda untuk mendapatkan parameter yang paling optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu gesek dan tekanan gesek berdampak terhadap peningkatan kekuatan tarik sambungan las. Namun demikian, semakin tinggi parameter yang digunakan justru menghasilkan kekuatan yang cenderung menurun. Selvamani dan Palanikumar [9] telah melakukan penelitian tentang sambungan las gesek logam sejenis baja karbon seri 1035. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putar merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek, kemudian diikuti dengan parameter lainnya seperti tekanan tempa dan tekanan gesek. Ozdemir et al. [6] telah melakukan investigasi mengenai sambungan las gesek logam tak sejenis antara baja AISI 304L dengan baja paduan AISI 4340. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kecepatan putar yang tinggi dengan waktu gesek yang singkat dapat meningkatkan kekuatan tarik las gesek. Mercan et al. [10] telah melakukan penelitian tentang pengaruh parameter las gesek terhadap sifat fatik sambungan baja tak sejenis AISI 2205–AISI 1020. Hasil penelitian dapat dibuktikan bahwa ketika menggunakan kecepatan putar yang tinggi yaitu 1300 rpm dengan waktu gesek yang cukup dapat meningkatkan kekuatan tarik dan fatik. Namun demikian, semakin tinggi rpm yang digunakan berdampak sebaliknya yaitu terjadinya penurunan kekuatan tarik dan fatik.

Beberapa penelitian sebelumnya [9, 10] telah menunjukkan bahwa penyambungan material berbeda jenis dapat dilakukan dengan menggunakan metode las gesek. Namun demikian, penyambungan material berbeda jenis dengan las *friction welding* masih menjadi topik hangat hingga saat ini. Penyambungan material tak sejenis antara baja tahan karat austenitik SS 316 dengan baja paduan AISI 4140 menggunakan las gesek telah dilakukan dalam artikel ini. Pengaruh parameter las berupa tekanan tempa dan waktu gesek terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan ini juga telah dikaji lebih mendalam.

2. BAHAN DAN METODE

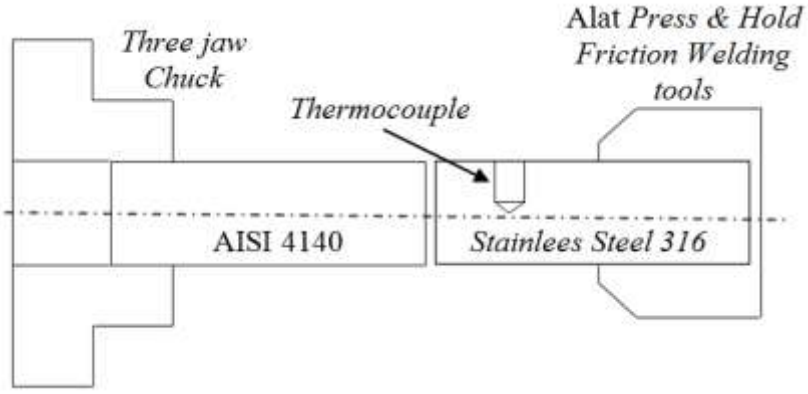
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat tipe austenit (SS 316 *Austenitic Stainless Steel*) dan baja paduan (AISI 4140 *Alloy Steel*). Material tersedia dalam bentuk batang (*as rods*) dengan ukuran diameter 12,7 mm. Kedua bahan

dipotong menggunakan mesin gerinda potong, kemudian dilakukan proses *finishing* pada permukaan penampang sehingga didapat panjang akhir batang 100 mm dengan diameter 12 mm. Sifat-sifat mekanik dan komposisi kimia dari material tersebut ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

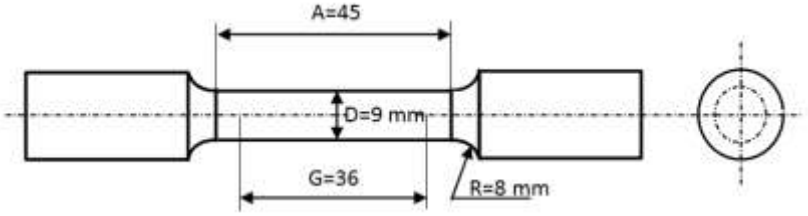
Metode las gesek tipe *continuous drive* dilakukan dengan memanfaatkan putaran gesek 1 benda sedangkan lainnya keadaan diam untuk menghasilkan sambungan gesek. Kecepatan putar yang digunakan sebesar 1800 rpm. Parameter yang digunakan selama proses las ini adalah tekanan tempa (*forging pressure*) sebesar P1 = 110 kg/cm², P2 = 130 kg/cm², dan P3 = 150 kg/cm² dengan waktu gesek (*friction time*) sebesar t1 = 35 s, t2 = 50 s, dan t3 = 65 s seperti ditunjukkan pada tabel 3. Sedangkan parameter lainnya seperti tekanan gesek (*friction pressure*) dan waktu tempa (*forging time*) dikunci sebesar 70 kg/cm² selama 120 detik. Pengambilan suhu pengelasan gesek menggunakan sensor suhu yaitu *thermocouple type* K yang dihubungkan dengan modul serta arduino dan komputer seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Setelah semua proses pengelasan selesai dilakukan dengan mengacu pada parameter las (lihat tabel 3). Selanjutnya spesimen las dipotong sepanjang arah tranversal untuk dilakukan pengamatan mikrostruktur dan uji kekerasan. Proses amplas dan poles dilakukan menggunakan mesin grinding dengan kertas amplas 220-2000 grit. Kemudian dilakukan pengetsaan dengan menggunakan 2 jenis larutan etsa yaitu larutan Nital dimana 5 ml asam nitrat HNO_3 dan 100 ml alkohol dan Aquaregia yaitu 10 ml asam nitrat, 20 ml asam klorida and 30 ml air.

Sifat mekanik dari sambungan las dalam penelitian diperoleh dari hasil pengujian tarik dan kekerasan spesimen las. Pengujian tarik dilakukan dengan dimensi spesimen mengacu pada standar ASTM E8 M seperti ditunjukkan pada gambar 2. 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 indentor sebesar 9.80 N (1000 gf) dan *load holding time* selama 15 detik.



Gambar 1. Skema dari pengelasan gesek antara SS 316 dan AISI 4140



Gambar 2. Dimensi spesimen uiji tarik sesuai standar ASTM E8M

Tabel 1. Sifat-sifat mekanik material SS 316 dan AISI 4140

Sifat-sifat mekanik	SS 316	AISI 4140
Tensile Strenghth (MPa)	515	655
Yeild Strenght (MPa)	205	417
Hardness Brinel	95	197
Elongation (%)	40	26

Tabel 2. Komposisi bahan kimia SS 316 dan AISI 4140

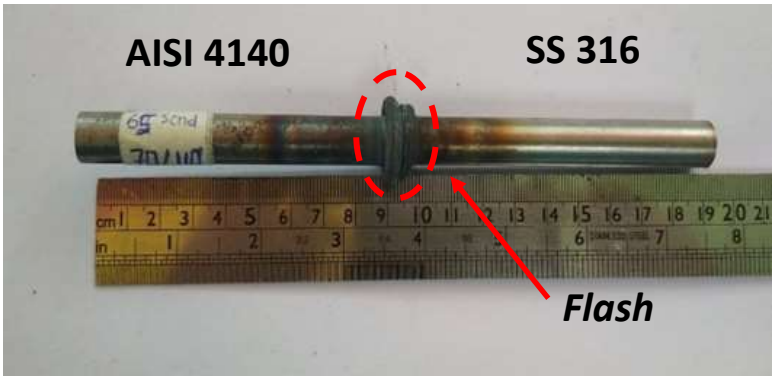
Material	Unsur paduan (wt.%)							
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
SS 316	0,08	2,00	0,045	0,03	1,00	10,0-14,0	16,0-18,0	2,0-3,0
AISI 4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,040	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian pengaruh tekanan tempa dan waktu pengelasan terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan *friction welding* logam tak sejenis s*tainless steel* 316 dan AISI 4140. Sifat fisik dan sifat mekanik diperoleh dengan melakukan tahap pengujian antara lain uji tarik, uji kekerasan, dan uji struktur mikro. Dari beberapa tahap pengujian tersebut mendapatkan data hasil pengujian untuk dianalisa dan menghasilkan suatu pembahasan dan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan dari penelitian.

3.1 Visualisasi Hasil Las *Friction Welding*

Setelah melakukan proses pengelasan gesek, dapat dilihat pada daerah sambungan las terdapat *flash* atau tonjolan logam berbentuk seperti cincin yang disebabkan oleh logam yang meleleh dan tekanan yang diberikan pada proses *friction welding* seperti ditunjukkan pada gambar 3. Semakin besar tekanan tempa yang diberikan, semakin besar pula *flash* yang dihasilkan. Terbentuknya *flash* akibat *friction welding* mempengaruhi panjang spesimen. Semakin besar tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi *friction welding* maka semakin besar pula *flash* yang dihasilkan serta semakin berkurang panjang spesimen. Berikut perubahan panjang spesimen dan lebar *flash* yang diakibatkan oleh tekanan tempa dan durasi pengelasan dapat dilihat pada tabel 3.



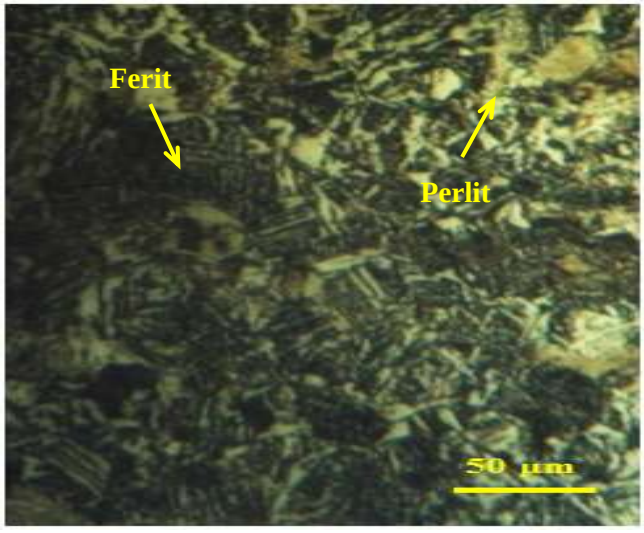
Gambar 3. Variasi tekanan tempa 150 kg/cm^2 dengan waktu 50 detik

Tabel 3. Perubahan panjang spesimen dan lebar *flash* setelah *friction welding*

Tekana tempa (Kg/cm^2)	Waktu gesek (s)	Panjang total spesimen las (mm)	Lebar *flash* (mm)
	35	191,7	4,3
110	50	191,4	5,2
	65	192,8	5,4
	35	189,3	6,2
130	50	191,6	6,3
	65	189,4	6,9
	35	189,9	7,4
150	50	189,4	7,9
	65	189,1	8,3

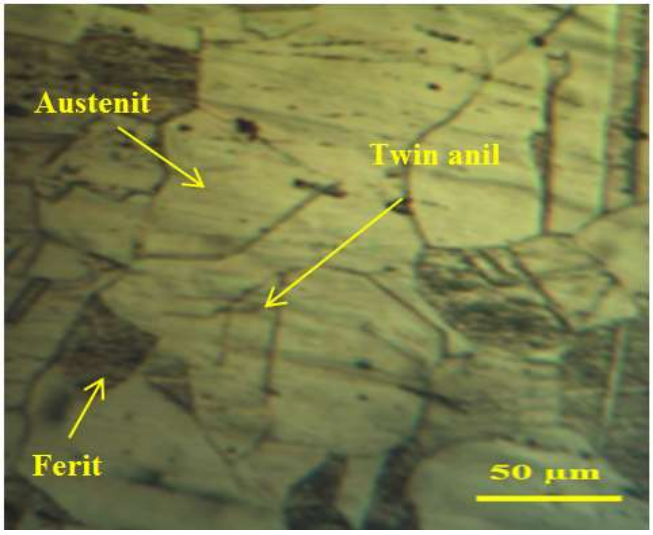
3.2 Struktur Mikro

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 4. Struktur mikro logam induk material AISI 4140

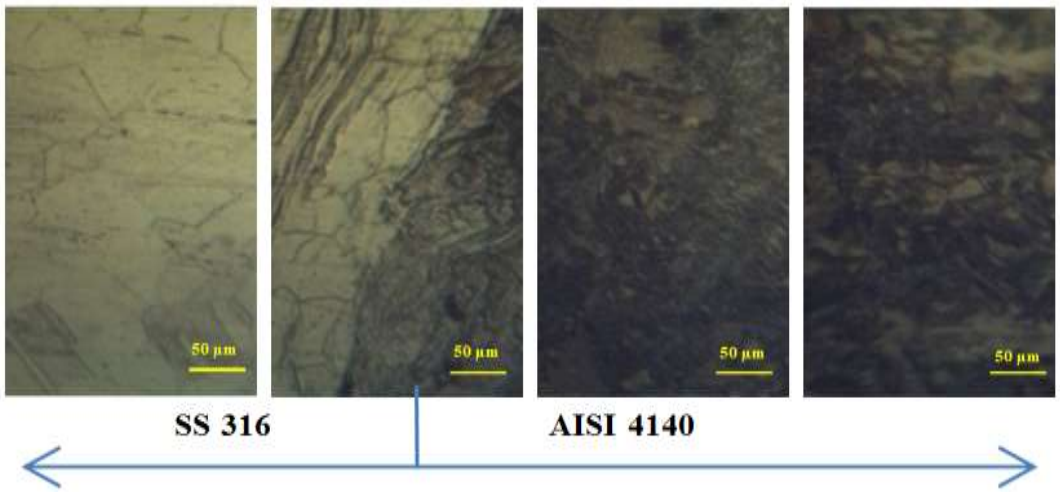
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada pengelasan gesek antara baja AISI 4140 dengan SS316 menghasilkan 3 zona utama sesuai dengan penelitian sebelumnya Ozdemir (Özdemir, 2005) yaitu zona terdeformasi plastis pada sekitar garis las (Zpl), zona terdeformasi sebagian (Zpd), dan zona logam induk yang tidak mengalami perubahan akibat efek panas.



Gambar 5. Struktur mikro logam induk material SS 316

Hasil struktur mikro yang dihasilkan menunjukkan daerah logam induk baja AISI 4140 terdiri atas fasa ferit dan perlit seperti ditunjukkan pada gambar 4. Fasa ferit memiliki warna terang dan bersifat lunak. Sedangkan perlit berwarna gelap dan bersifat keras dibandingkan ferit. Fasa perlit jauh lebih dominan dibandingkan ferit sehingga kekerasannya jauh melebihi kekerasan baja tahan karat. Struktur mikro logam induk baja SS 316 memiliki fasa ferit, austenit, dan twin anil seperti ditunjukkan pada gambar 5. Gambar 6 menunjukkan struktur mikro hasil las gesek pada P2 = 110 kg/cm² dan t3 = 65 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 ^{0}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 6).



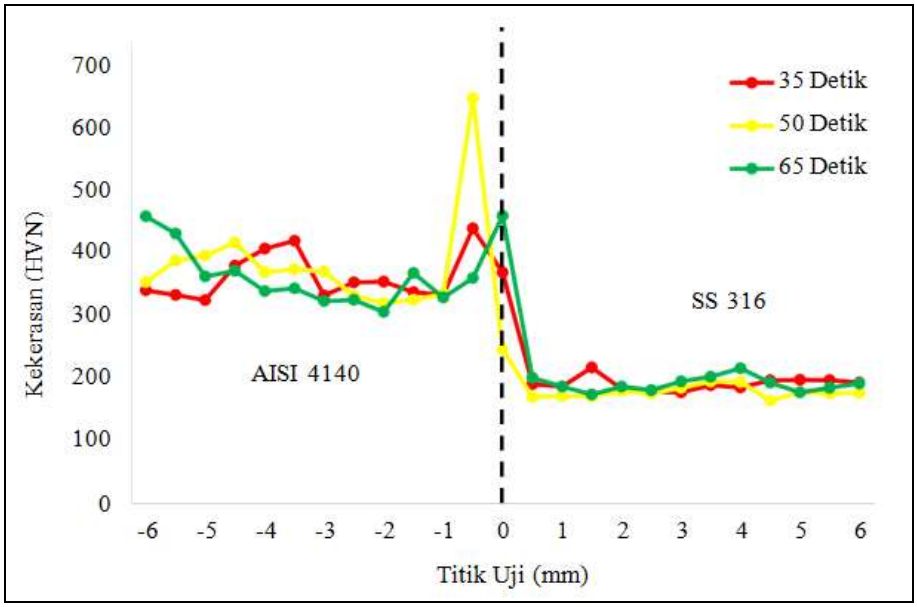
Gambar 6. Struktur mikro yang terbentuk pada las gesek (P_2 = 110 kg/cm² dan t_3 = 65 s)

3.3 Sifat Mekanik

3.3.1. 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 SS 316 seperti ditunjukkan pada gambar 7. 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 4140.

Nilai kekerasan pada sambungan rerata sebesar 246,4 HVN. Nilai kekerasan pada logam induk material AISI 4140 rerata sebesar 354,7 HVN. Sedangkan logam induk material SS 316 rerata sebesar 183,5 HVN. Nilai kekerasan antara kedua logam induk tersebut sangat berbeda jauh dikarenakan fasa pada baja AISI 4140 lebih dominan fasa perlit yang memiliki kekerasan tinggi (lihat gambar 4).



Gambar 7. Distribusi kekerasan pada daerah las, HAZ, logam induk pada parameter tekanan tempa 130 kg/cm² dengan waktu gesek 35, 50 dan 65 s

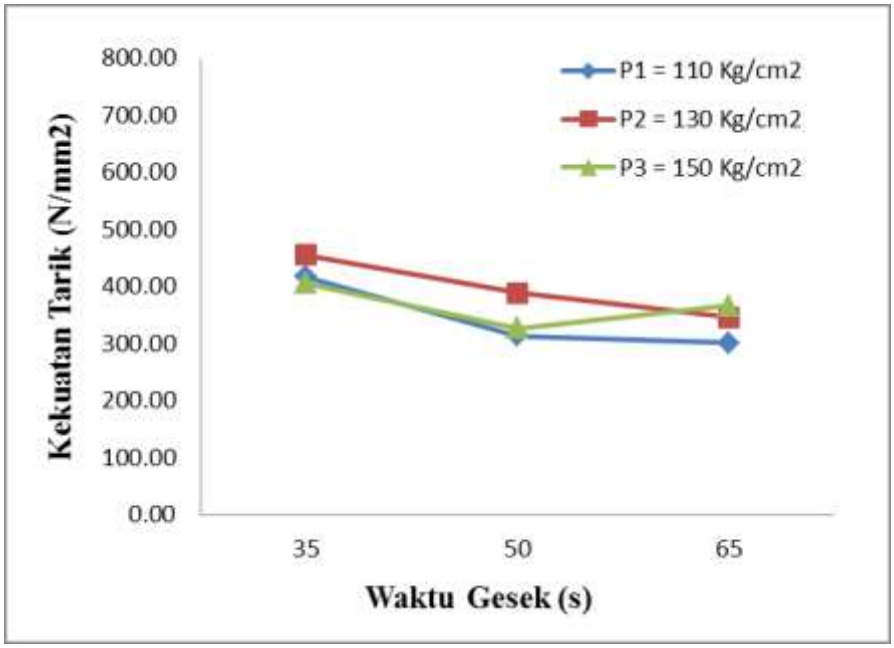
3.3.2. Kekuatan Tarik

Gambar 8 menunjukkan kekuatan tarik sambungan logam tak sejenis *friction welding*. Variasi tekanan tempa 110 kg/cm^2 dengan variasi waktu 35 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 416.53 N/mm^2, sedangkan variasi waktu gesek 50 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 313.36 N/mm^2, dan divariasi waktu 65 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 300.76 N/mm^2.

Pada variasi tekanan tempa 130 kg/cm^2 dengan variasi waktu gesek 35 detik rata-rata nilai kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 455.02 N/mm^2, sedangkan pada variasi waktu gesek 50 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 389 N/mm^2, pada variasi waktu gesek 65 detik rata-rata menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 345.87 N/mm^2.

Pada variasi tekanan tempa 150 kg/cm^2 dengan variasi waktu gesek 35 detik rata-rata menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 404.92 N/mm^2, sedangkan pada variasi waktu gesek 50 detik mengasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata 326.76 N/mm^2, divariasi waktu gesek 65 detik rata-rata menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 365.71 N/mm^2.

Hasil nilai kekuatan tarik tertinggi justru terdapat pada variasi tekanan tempa 130 kg/cm^2 dengan waktu gesek 35 detik, sedangkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah berada divariasi tekanan tempa paling kecil yaitu 110 kg/cm^2 dengan durasi waktu gesek 65 detik. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin besar tekanan tempa yang diberikan justru nilai kekuatan tariknya memiliki kecenderungan semakin tinggi, namun sebaliknya semakin meningkat durasi waktu berdampak terhadap penurunan kekuatan tarik.



Gambar 8. Kekuatan tarik sambungan tak sejenis las gesek

4. KESIMPULAN

Dari penelitian dan analisa data yang diperoleh pada variasi tekanan temp dan waktu gesek pada proses pengelasan gesek terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik hasil sambungan bahan AISI 4140 dengan SS 316 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peningkatan variasi tekanan tempa dan waktu pengelasan mengakibatkan berkurangnya panjang spesimen, dikarenakan terjadi proses pelumeran pada daerah sambungan pengelasan pada kedua material. Sedangkan semakin berkurangnya panjang spesimen disisi lain mengakibatkan melebarnya panjang *flash* yang dihasilkan.
2. Pengkasaran butir (*grain coarsened*) terjadi pada daerah HAZ sehingga butir ferit terlihat kasar. Temperatur pada daerah HAZ tidak terlalu tinggi yaitu sekitar 722 ^{0}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 dan berbeda jika dibandingkan dengan logam induk.
3. Nilai kekerasan pada sambungan rerata sebesar 246,4 HVN. Nilai kekerasan pada logam induk material AISI 4140 rerata sebesar 354,7 HVN. Sedangkan logam induk material SS 316 rerata sebesar 183,5 HVN. Nilai kekerasan antara kedua logam induk tersebut sangat berbeda jauh dikarenakan fasa pada baja AISI 4140 lebih dominan fasa perlit yang memiliki kekerasan tinggi.

4. Hasil pengujian tarik dari spesimen pengelasan *friction* menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik yang optimal dihasilkan pada variasi tekanan tempa130 kg/cm^2 variasi waktu gesek 35 detik dengan nilai sebesar 455.02 N/mm^2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus atas dukungan keuangan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Akademi Teknologi Warga Surakarta Tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Harsono and O. T. Okumura, "Teknologi Pengelasan Logam," *Cetakan ke delapan Jakarta, PT Raja Grafindo Persada*, 2000.

[2] E. B. Santoso, Y. S. Irawan, and E. Sutikno, "Pengaruh Sudut Chamfer Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si," *Rekayasa Mesin*, vol. 3, pp. 293-298, 2012.

[3] R. Syam, "Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil Friction Welding Pada Baja Karbon Rendah," 2012.

[4] P. Haryanto, R. Ismail, and S. Nugroho, "Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, dan Waktu Kontak pada Pengelasan Gesek Baja ST60 Terhadap Kualitas Sambungan Las," *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, vol. 1, 2011.

[5] M. Sahin, "Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 168, pp. 202-210, 2005.

[6] N. Özdemir, "Investigation of weldability of fine-grained low alloyed high carbon steels by friction welding," *PhD. Tehsis, Fırat Üniversity, Institute of Science, Elazığ, Turkey,* 2002.

[7] P. E. Setyawan, Y. S. Irawan, and W. Suprapto, "Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging," *Rekayasa Mesin*, vol. 5, pp. 141-148, 2014.

[8] D. A. Tyagita, Y. S. Irawan, and W. Suprapto, "Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek AlMg-Si dengan Variasi Chamfer dan Gaya Tekan Akhir," *Rekayasa Mesin*, vol. 5, pp. 69-74, 2014.

[9] S. Selvamani and K. Palanikumar, "Optimizing the friction welding parameters to attain maximum tensile strength in AISI 1035 grade carbon steel rods," *Measurement*, vol. 53, pp. 10-21, 2014.

[10] S. Mercan, S. Aydin, and N. Özdemir, "Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding," *International Journal of Fatigue*, vol. 81, pp. 78-90, 2015.