

SKRIPSI

PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR, STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA PENGELASAN *CONTINUOUS DRIVE FRICTION WELDING* SAMBUNGAN LOGAM BEDA JENIS AISI 304 DAN AL 6061 T6

Anggi Lusanko, Totok Suwanda, Aris Widyo Nugroho

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
Anggilusanko268@gmail.com, suwanda@umy.ac.id, nugrohoaris@gmail.com

INTISARI

Pengelasan gesek *Continuous Drive Friction Welding (CDFW)* merupakan proses penyambungan logam silinder pejal tanpa pencairan (*solid state*) yang dilakukan dalam keadaan padat di bawah titik lebur. Pada metode CDFW panas dihasilkan oleh gesekan pada benda yang akan disambung. Pada saat proses penyambungan menggunakan beberapa parameter penting yang mempengaruhi hasil kekuatan sambungannya. Salah satu parameter yang sangat mempengaruhi hasil lasan adalah parameter waktu gesek. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu gesek terhadap distribusi temperatur, struktur mikro dan uji kekerasan dari sambungan dari logam pejal *Stainless Steel 304* dengan Aluminium 6061 T6.

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah logam beda jenis silinder pejal *stainless steel 304* dan aluminium 6061 T6. Proses pengelasan menggunakan parameter variasi waktu gesek 2 detik, 4 detik, dan 6 detik. Sedangkan pada parameter yang lain ditentukan sama, yaitu tekanan 25 MPa, tekanan *upset* 50 MPa, waktu *upset* 2 detik dan putaran mesin 1000 Rpm. Untuk menganalisis pengaruh dari variasi waktu gesek pada hasil sambungan *stainless steel 304* dengan aluminium 6061 T6 dilakukan pengamatan distribusi temperatur, struktur mikro dan pengujian kekerasan *Vickers* dengan standar ASTM E 384.

Hasil distribusi temperatur dilihat dari grafik dapat dijelaskan bahwa semakin lama waktu gesek yang diberikan maka panas yang dihasilkan dari metode pengelasan gesek ini semakin tinggi. Pengujian struktur mikro penelitian ini pada variasi waktu gesek 2, 4, dan 6 detik dijelaskan pada sambungan aluminium 6061 T6 mengalami perubahan paling jelas dimana Mg₂Si saling menempel dan menyatu sangat rapat. Tingkat kekerasan terbaik ada pada variasi waktu gesek 6 detik dilanjut 4 detik dan paling rendah adalah 2 detik dan dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu gesek yang diberikan maka akan semakin bagus nilai kekerasan yang dihasilkan.

Kata Kunci : *Continuous Drive Friction Welding*, waktu gesek, logam beda jenis, distribusi temperatur, struktur mikro, kekerasan.

1. PENDAHULUAN

Di era modern ini metode pengelasan untuk penyambungan logam sangat diperlukan, khususnya pada dunia manufaktur. Definisi pengelasan menurut DIN (*Dautsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Ada banyak pengelasan cair atau fusion welding, yakni : GMAW, SMAW, SAW, GTAW dan masih banyak lagi. Selain pengelasan cair ada juga metode pengelasan padat (*solid state welding*). Metode pengelasan padat adalah metode pengelasan yang tidak memakai logam pengisi serta penyambungan dapat dilakukan dengan menggunakan tekanan atau bisa juga menggunakan panas. Pengelasan ini dilakukan pada temperatur di bawah titik lebur material logam.

Pengelasan padat (*solid state welding*) di bagi menjadi beberapa kelompok, yakni : pengelasan tempa (*forge welding*), pengelasan dingin (*cold welding*), pengelasan rol (*roll welding*), pengelasan ledak (*explosion welding*), pengelasan ultrasonic (*ultrasonic welding*), dan pengelasan gesek (*friction welding*). Pengelasan padat atau *solid state welding* sangat cocok digunakan dalam metode penyambungan logam pejal

disimilar dengan menggunakan metode pengelasan gesek (*friction welding*).

Friction Welding adalah metode pengelasan padat dimana penyambungan dilakukan dengan panas akibat kombinasi tekanan dan gesekan. Gesekan tersebut terjadi pada dua permukaan logam yang diputar terhadap logam yang akan disambung. *Friction Welding* dibagi menjadi tiga metode, yakni : *Friction Stir Welding (FSW)*, *Linier Friction Welding (LFW)*, dan *Continous Drive Friction Welding (CDFW)*. *Friction Stir Welding (FSW)* adalah proses pengelasan di mana sebuah tool yang berputar dimakan sepanjang garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan logam yang berguna untuk membentuk sambungan las. *Linier Friction Welding (LFW)* adalah merupakan metode pengelasan gesek yang dilakukan dengan cara menggesekkan kedua permukaan logam secara linier dengan menggunakan kecepatan tinggi dan memberikan tekanan pada logam yang diam. *Continous Drive Friction Welding (CDFW)* adalah metode pengelasan gesek yang dilakukan dengan cara menggesekkan material logam yang diputar dengan material logam yang diam, pada proses ini material logam yang diam diberikan tekanan.

Pada pengelasan gesek terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan, kelebihan dalam metode las gesek adalah sebagai berikut : mampu menyambung material yang tidak sejenis (*disimilar*), tidak memerlukan logam pengisi (elektroda), waktu yang dibutuhkan relatif singkat, tidak terjadi inklusi terak dan porositas, dapat digunakan untuk penyambungan secara masal.

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi yang tinggi karena pembentukan lapisan film kromium oksida. *Stainless steel* memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah dalam pengerjaan, penggunaannya didominasi oleh berbagai bidang antara lain : *petrochemical*, industri makanan dan minuman, farmasi, produk konsumen. Menurut kandungan prosentase dari Cr-Ni *stainless steel* terdiri atas beberapa tingkatan antara lain : *austenitic*, *martensitic*, *ferritic* dan *duplex*. (M Fawaid dkk, 2012).

Sahin (2009) telah melakukan sebuah penelitian tentang penyambungan material *stainless steel* dan aluminium dengan menggunakan metode *Continuous Drive friction welding*. Dari hasil penelitian ini kekuatan tarik mendapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi 191 MPa, dengan

menggunakan parameter tekanan gesek 30 MPa, tekanan *upset* 60 MPa, dan waktu gesek 4 detik. Pengujian dilakukan pada beberapa titik masing-masing material. Pada material *stainless steel* jarak 0,2 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 290 VHN, jarak 1-2 mm 225 VHN, sedangkan untuk jarak 3-4 mm mendapatkan nilai kekerasan 230 VHN. Pada daerah aluminium, rata-rata memiliki nilai kekerasan 50 VHN.

Yudhistian, (2016), melakukan sebuah penelitian pengaruh variasi kecepatan putar dan tekanan tempa terhadap sifat mekanik dari aluminium 6061 dengan metode *friction welding*. Di hasilkan bahwa kecepatan putar dan tekanan tempa sangat berpengaruh terhadap meningkatnya kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan *friction welding* bahan aluminium 6061. Hasil yang didapatkan pada pengujian tarik terendah diperoleh pada variasi kecepatan putar 600 Rpm dan tekanan tempa 50 MPa sebesar 16,22 N/mm². Sementara pada hasil tertinggi diperoleh dengan variasi kecepatan putar 1000 Rpm dan tekanan tempa 60 MPa dengan nilai sebesar 126,80 N/mm².

Kimura, (2009), mempelajari fenomena sambungan dan kekuatan sambungan pada pengelasan gesek logam aluminium paduan dan baja karbon rendah pada beberapa variasi paramter. Dalam

penelitiannya dihasilkan bahwa nilai efisiensi yang paling tepat adalah dengan menggunakan durasi waktu gesek 3 detik dan tekanan tempa yang diberikan sebesar 150 MPa.

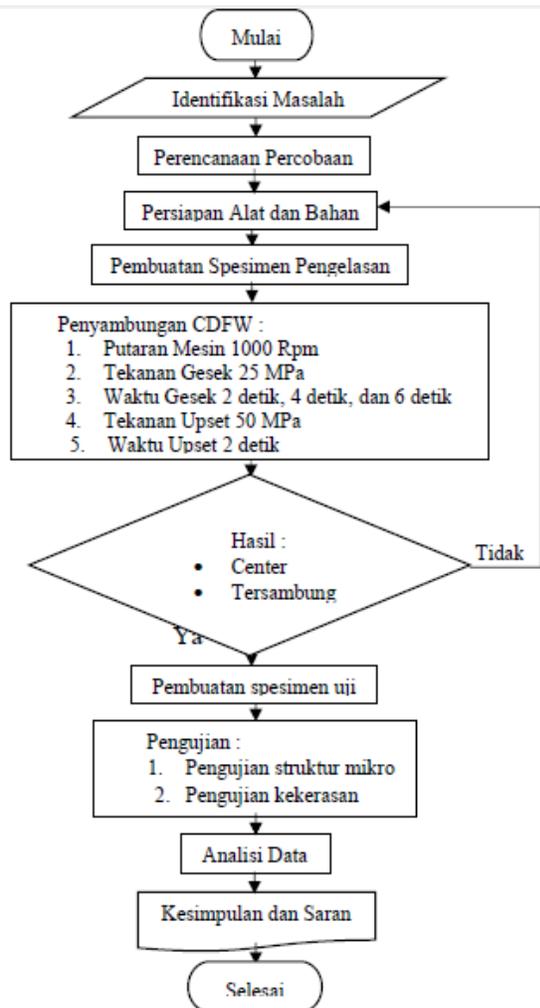
Irwansyah (2015) telah melakukan sebuah penelitian dalam metode pengelasan gesek dalam penyambungan similar aluminium, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil percobaan tersebut dengan proses dan parameter tekanan gesek 400 psi, waktu gesek 2 detik dengan temperatur maksimum $137,7^{\circ}\text{C}$ dan panjang upset 12,34 mm merupakan parameter yang paling optimal untuk memperoleh kekuatan hasil sambungan terbaik dalam penyambungan similar aluminium dengan metode pengelasan gesek (*Friction Welding*).

Subhvardhan dan Surendran (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter tekanan gesek dan waktu gesek terhadap kekuatan sambungan dari material silinder pejal beda jenis *stainless steel* 304 dan aluminium 6082 menggunakan metode *continuous drive friction welding*. Pada penelitiannya menggunakan beberapa variasi parameter tekanan gesek (65 MPa, 104 MPa, 156 MPa), dan waktu gesek (3 detik, 5 detik, 7 detik), sedangkan untuk parameter tekanan *upset*, waktu *upset*, dan kecepatan putar dibuat konstan, yaitu 210 MPa, 6 detik, dan

1400 rpm. Dari hasil penelitian mendapatkan nilai kekuatan tarik terbaik 188,40 MPa, pada parameter tekanan gesek 104 MPa dan waktu gesek 5 detik. Pada pengujian nilai kekerasan menggunakan beban 500 g. Pada daerah *stainless steel* nilai kekerasan tertinggi didapat pada jarak 0,2 mm dari sambungan yaitu 325 VHN, sedangkan untuk daerah *base metal* pada jarak 10 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 305 VHN. Pada daerah aluminium, jarak 0,2 mm dari sambungan mendapatkan nilai kekerasan 60, sedangkan pada jarak 10 mm dari sambungan nilai kekerasannya hanya 50 VHN.

Penelitian tentang pengaruh distribusi temperatur dan waktu gesekan pada penyambungan material tidak sejenis (*disimilar*) logam pejal *stainless steel* dengan logam pejal Aluminium untuk saat ini masih jarang dilakukan, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengaruh distribusi temperatur dan variasi waktu gesekan terhadap pengujian kekerasan dan struktur mikro pada sambungan *disimilar* logam pejal *stainless steel* dengan Aluminium.

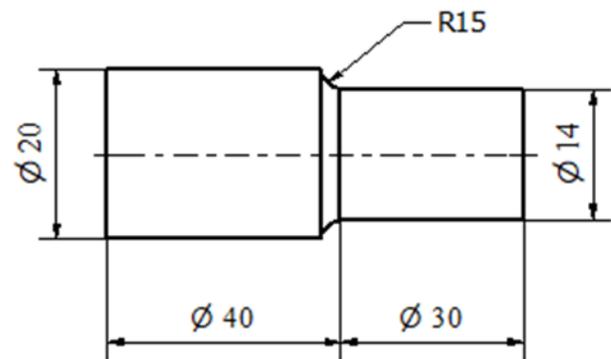
2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir

Penelitian ini menggunakan parameter waktu gesek 2, 4 dan 6 detik, tekanan gesek 25 MPa, tekanan tempa 25 MPa, waktu tempa 2 detik dan putaran mesin 1000 Rpm. Ada beberapa alat penunjang untuk melakukan penelitian ini antara lain *load cell*, data logger, termokopel dll. Sedangkan bahan yang digunakan adalah *stainless steel 304* dan aluminium 6061 T6.

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan spesimen dimulai dari menyiapkan bahan dan peralatan, kedua melakukan pemotongan *stainless steel 304* dan aluminium 6061 T6 dengan Panjang 75 mm menggunakan gergaji kemudian hasil potongan itu dibubut sesuai ukuran yang sudah ditentukan dan yang terakhir adalah melubangi bagian aluminium yang nantinya akan digunakan untuk menaruh termokopel berjumlah 4 lubang untuk mengukur distribusi temperatur.



Gambar 2. Dimensi benda kerja

2.1 Pemasangan Termokopel

Dalam pemasangan termokopel ini dengan cara melubangi bagian aluminium dengan menggunakan bor tangan dan mata bor berdiameter 1,5 mm. Lubangi spesimen uji yang berjumlah 4 lubang dengan jarak masing-masing lubang 5 mm sebagai tempat T1, T2, T3 dan T4 kemudian pasang termokopel ke empat lubang tersebut.



Gambar 3. Posisi pemasangan termokopel

Setelah semua sudah siap untuk dilakukan pengelasan gesek. Tabel rencana penelitian dapat dilihat pada tabel 1 untuk mempermudah jalannya penelitian.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Waktu Gesek (detik)	Tekanan Gesek (MPa)	Waktu Tempa (detik)	Tekanan Tempa (MPa)
2	25	2	50
4	25	2	50
6	25	2	50

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari sambungan stainless steel 304 dan aluminium 6061 T6 dengan menggunakan metode pengelasan Friction Welding dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil sambungan pengelasan gesek waktu gesek (a) 2 detik (b) 4 detik (c) 6 detik.

Dari gambar 6 di atas menunjukkan flash yang dihasilkan dengan waktu gesek yang semakin lama flash semakin besar pula. Sedangkan untuk pemendekan yang

ditimbulkan dalam pengelasan gesek dapat dilihat pada tabel 4.1 dimana semakin lama waktu gesek yang diberikan maka pemendekan yang terjadi akan semakin besar pula. Hasil pemendekan pengelasan dapat dilihat pada tabel 2.

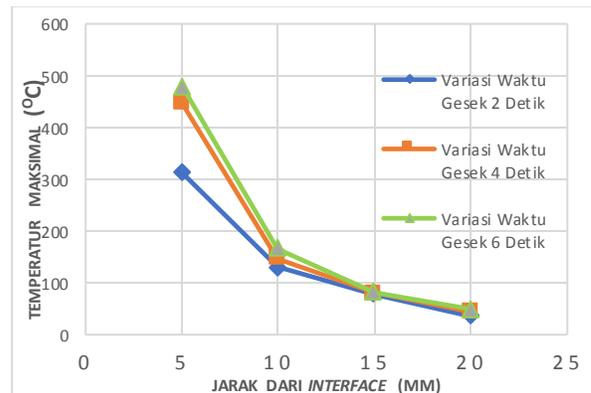
Table 2. Pemendekan hasil pengelasan

Waktu gesek (detik)	Panjang awal (mm)	Panjang setelah pengelasan (mm)	Pemendekan (mm)
2	159	156	3
4	163	157	6
6	160	151	9

Dari data tabel 2 ini dapat dilihat bahwa semakin lama waktu gesek yang diberikan maka pemendekan yang terjadi juga semakin besar juga.

Distribusi Temperatur

Grafik perbandingan distribusi temperatur dapat dilihat pada gambar 6.

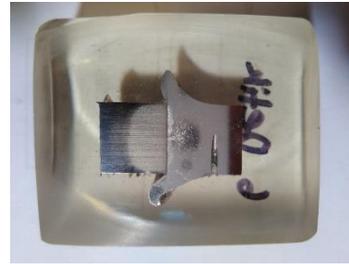


Gambar 6. Grafik perbandingan temperatur maksimal

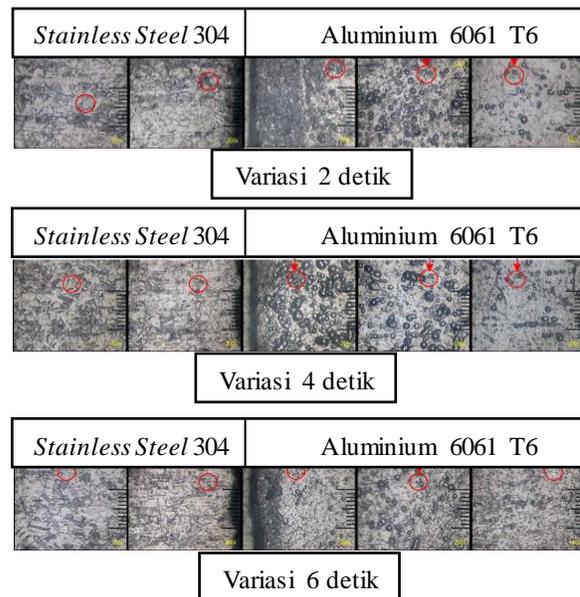
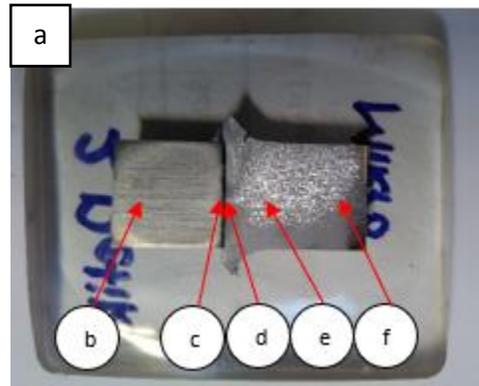
Gambar 6 menunjukkan hasil perbandingan temperatur maksimal terhadap jarak dari *interface* dimana pada jarak 0 mm adalah posisi *interface*. Pada variasi waktu gesek 2 detik memiliki temperatur yang paling rendah yaitu sebesar : $T_1 = 312,0019^\circ\text{C}$, $T_2 = 129,5024^\circ\text{C}$, $T_3 = 77,8362^\circ\text{C}$, dan $T_4 = 35,43^\circ\text{C}$. Variasi waktu gesek 4 detik memiliki temperatur sebesar : $T_1 = 447,0466^\circ\text{C}$, $T_2 = 147,6734^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,9564^\circ\text{C}$, dan $T_4 = 44,0412^\circ\text{C}$. Dan variasi waktu gesek 6 detik memiliki temperature yang paling tinggi yaitu sebesar : $T_1 = 480,3009^\circ\text{C}$, $T_2 = 167,4234^\circ\text{C}$, $T_3 = 82,2195^\circ\text{C}$, dan $T_4 = 49,4115^\circ\text{C}$. Hasil perbandingan temperatur maksimal dapat membuktikan bahwa semakin lama waktu gesek yang di berikan maka akan semakin tinggi pula kenaikan temperatur yang terjadi. Perbedaan yang dihasilkan pada temperatur 2,4,dan 6 detik adalah terjadinya panas semakin meningkat yang di sebabkan oleh semakin lamanya waktu gesek yang diberikan.

Struktur Mikro

Hasil penyambungan *Friction Welding* dengan parameter waktu gesek 2,4 dan 6 detik, tekanan gesek 25 MPa, tekanan tempa 50 MPa, dan waktu tempa 2 detik dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Spesimen uji mikro



Gambar 8. (a) Benda Uji (b) SS 304 Logam Induk (c) SS 304 Daerah Sambungan (d) AL 6061 T6 Daerah Sambungan (e) AL 6061 T6 HAZ (f) AL 6061 T6 logam induk

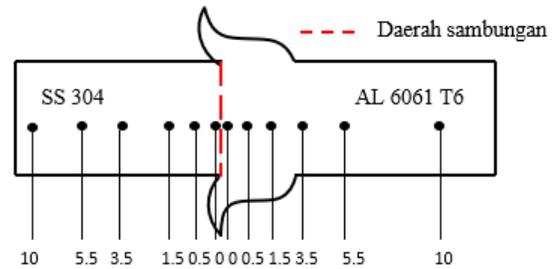
Gambar 8 (a) merupakan benda uji pengelasan gesek yang akan dilakukan

pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Gambar 8 (b) merupakan daerah *base metal* dari *stainless steel* 304 yang dilakukan pengujian struktur mikro dan terlihat butiran besar menumpuk beraturan. Gambar 8 (c) adalah daerah sambungan pengelasan gesek dari *stainless steel* 304 yang dilakukan pengujian struktur mikro dan terlihat mengalami sedikit perubahan dimana butiran besar sedikit menumpuk beraturan. Dan untuk HAZ pada *stainless steel* 304 tidak teramati. Gambar 8 (d) merupakan daerah sambungan dari aluminium 6061 T6 yang dilakukan pengujian struktur mikro dan terlihat mengalami perubahan paling jelas dimana butiran-butiran Mg₂Si saling menempel dan menyatu sangat rapat. Gambar 8 (e) adalah daerah HAZ dari aluminium 6061 T6 yang dilakukan proses pengujian struktur mikro dan terlihat dimana butiran-butiran Mg₂Si saling menyatu satu sama lainnya. Gambar 8 (f) merupakan daerah *base metal* dari aluminium 6061 T6 yang dilakukan proses pengujian struktur mikro dan terlihat dimana butiran-butiran Mg₂Si memiliki jarak yang cukup jauh.

KEKERASAN

Dilihat dari hasil pengujian struktur mikro, dapat diketahui letah daerah *base metal*, HAZ, dan sambungan dan setelah mengetahui daerah tersebut baru dapat

menentukan titik-titik yang akan dilakukan proses pengujian kekerasan.

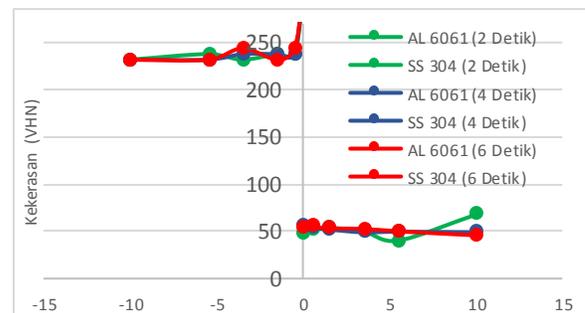


Gambar 9. Titik pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dengan titik pengujian yang sudah ditentukan berdasarkan dari hasil pengamatan struktur mikro. Jarak titik yang diujikan adalah Aluminium 6061 T6 10, 5.5, 3.5, 1.5, 0.5, 0.1 sedangkan untuk *Stainless Steel* 304 -0.1, -0.5, -1.5, -3.5, -5.5, -10 dengan beban 100 gf dan waktu 5 detik menggunakan alat uji kekerasan *vickers*. (tabel 4).

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan

Jarak		2 Detik (VHN)	4 Detik (VHN)	6 Detik (VHN)
AL 6061 T6	10.0 mm	67.7	49.0	45.8
	5.5 mm	40.2	49.6	50.1
	3.5 mm	50.1	49.0	52.6
	1.5 mm	53.8	51.9	53.2
	0.5 mm	52.6	53.8	55.2
	0.1 mm	47.9	55.2	54.5
SS 304	-0.1 mm	294.3	302.8	294.3
	-0.5 mm	237.7	237.7	243.8
	-1.5 mm	237.7	237.7	231.8
	-3.5 mm	231.8	237.7	243.8
	-5.5 mm	237.7	231.8	231.8
	-10.0 mm	231.8	231.8	231.8



Gambar 10. Grafik perbandingan Distribusi Kekerasan

Dari ketiga grafik diatas dapat disimpulkan bahwa parameter pengelasan gesek dengan variasi waktu gesek nilai kekerasan tertinggi didapat pada daerah sambungan *stainless steel* variasi waktu gesek 4 detik dengan nilai kekerasan 302.8 VHN dan disusul dengan nilai kekerasan yang sama yaitu variasi waktu gesek 2 dan 6 detik dengan nilai kekerasan 294.3 VHN pada daerah sambungannya. Sedangkan pada aluminium nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah sambungan pada jarak 0.5 mm dan terjadi pada variasi waktu gesek 6 detik. Dan dapat diasumsikan bahwa pada variasi waktu gesek 4 dan 6 detik daerah sambungan adalah daerah yang paling keras dibandingkan dengan HAZ dan logam induk. Dari grafik perbandingan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi waktu gesek yang diberikan maka akan semakin bagus hasil kekerasan yang di dapat. Dan dapat dilihat pada variasi waktu gesek 2 detik memiliki kekerasan rendah, dilanjut variasi waktu gesek 4 detik yang mengalami peningkatan kekerasan dan pada variasi waktu gesek 6 detik adalah variasi yang memiliki kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan variasi 2 dan 4 detik.

Nilai kekerasan *Stainless Steel* 304 pada daerah sambungan berkisar antara 225-250 HV, menurut sathiya nilai kekerasan AISI 304 pada daerah *bond line* sekitar 260 HV dan pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) adalah 200- 250 HV. (sahin, 2010).

3. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil sambungan *stainless steel* 304 dan aluminium 6061 T6 menunjukkan terjadinya pemendekan dan membentuk flash pada bagian aluminium. Semakin lama waktu gesek yang dilakukan maka semakin besar pula pemendekan dan flash yang terjadi.
2. Hasil dari distribusi temperatur pada variasi waktu gesek 2 detik, 4 detik, dan 6 detik menunjukkan bahwa semakin lama waktu gesek yang diberikan maka akan semakin tinggi pula nilai temperature yang dihasilkan.
3. Hasil dari pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa variasi waktu gesek 2 detik, 4 detik, dan 6 detik hanya mempengaruhi sedikit perubahan struktur mikro pada *stainless steel* 304 sedangkan pada aluminium 6061 T6 mengalami perubahan struktur mikro yang signifikan.

4. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* dengan pembebanan 200 ge, 5 detik menunjukkan perubahan nilai kekerasan pada material aluminium 6061 T6. Sedangkan pada *stainless steel* 304 nilai kekerasan pada daerah sambungan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan logam induk dikarenakan adanya *intermetallic*. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi waktu gesek 4 detik.

Sahin, M. (2009). *Joining of stainless-steel and aluminium materials by friction welding*. Mechanical Engineering Department, Trakya University. Halm. 487-497.

Shubhavardhan, R. N. dan Surendran, S. (2012). *Friction Welding to Join Dissimilar Metals*. Vol. 2, Issue 7.

Daftar Pustaka

Angga, Y. R. (2016). *Variasi Kecepatan Putar dan Tekanan Tempa pada Friction Welding Terhadap Sifat Mekanik AL 6061*. Universitas Jember. Halm. 1-63.

Fawaid, M. dan Ismail, R. (2012). *Karakteristik AISI 304 Sebagai Material Friction Welding*. Prosiding SNST ke-3 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

Irwanyah. (2015). *Pengaruh Temperatur, Panjang Upset, dan Bentuk Flash Terhadap Kekuatan Tarik Pada penyambungan Aluminium Dengan Metode las gesek*. UG Jurnal Vol. 9 No. 05.

Kimura, M. dan Ishii, H. (2009). *Joining phenomena and joint strength of friction welded joint between aluminium – magnesium alloy (AA5052) and low carbon steel*. Science and Technology of Welding and Joining Vol. 14 No. 7.