



PENGARUH TEKANAN *UPSET* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO DARI SAMBUNGAN LOGAM SILINDER PEJAL ALUMINIUM 6061 T6 DAN *STAINLESS STEEL* 304 MENGGUNAKAN METODE *CONTINUOUS DRIVE FRICTION WELDING*

Aan Widiyanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, 55183
Email : aanwidy2305@gmail.com

INTISARI

Friction welding adalah suatu metode pengelasan yang dapat memecahkan masalah penyambungan material beda jenis Aluminium 6061 T6 dan Stainless steel 304. Pada penyambungannya tidak memperhatikan perbedaan sifat fisik, dan sifat mekanis dari kedua material, sehingga mampu menyambungkan kedua jenis material tersebut. Pada proses penyambungannya menggunakan beberapa parameter penting yang mampu mempengaruhi hasil kekuatan sambungannya. Salah satu parameter yang berpengaruh besar pada hasil sambungan adalah parameter tekanan upset. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besarnya tekanan upset terhadap kekuatan tarik, struktur mikro dan kekerasan dari hasil sambungan.

Pada penelitian ini dilakukan pengelasan gesek *continuous drive friction welding* (CDFW) terhadap material beda jenis antara aluminium 6061 T6 dengan stainless steel AISI 304. Pengelasan dilakukan dengan mesin *friction welding* putaran 1000 RPM, tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 5 detik, dengan variasi tekanan upset 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130 dan 140 MPa dan waktu tempa selama 5 detik. Untuk mengetahui kualitas sambungan dilakukan pengujian kekuatan tarik, struktur mikro dan kekerasan mikro vickers.

Hasil pengujian di uji struktur mikro pada daerah HAZ, sambungan lasan dan logam induk dengan mikroskop, pengujian kekerasan dengan mikro vickers. Pada jarak 0.5, 1.0, 10 mm dari sambungan dan pengujian tarik dengan standar JIS 2201. Hasil pengujian didapatkan bahwa Struktur mikro pada daerah HAZ sambungan aluminium 6061 T6 mengalami perubahan berupa butiran kristal yang tidak beraturan. Pada daerah HAZ dan logam induk AISI 304 struktur mikro tidak mengalami perubahan. Kekerasan AISI 304 memiliki harga VHN lebih tinggi diatas aluminium 6061 T6. Variasi tekanan upset mempengaruhi hasil kekuatannya. Kekuatan tarik tertinggi terlihat pada variasi tekanan upset 130 MPa dengan hasil kekuatan tarik 248 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terlihat pada variasi tekanan upset 50 MPa.

Kata kunci : *Friction welding*, Aluminium, Stainless steel, Kekuatan tarik, Struktur mikro, Kekerasan.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan penyambungan dua buah logam dengan menggunakan panas. Penyambungan logam dilakukan dengan memanaskan logam yang akan disambungkan. Menurut DIN (Deutch Industrie Normen) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam yang dilaksanakan dalam keadaan cair.

Teknik penyambungan logam dengan pengelasan sangat banyak digunakan di dunia industri. Penyambungan dapat dilakukan pada logam sejenis maupun logam beda jenis. Berbagai bentuk logam dapat disambung dengan pengelasan, baik dalam bentuk pejal maupun pipa yang banyak digunakan di dunia industri.

Penyambungan dengan teknik pengelasan ini memiliki kerapatan dan kekuatan yang lebih baik

dibanding dengan sambungan lainnya seperti sambungan keling dan baut.

Friction welding yaitu pengelasan yang dilakukan pada keadaan padat, tanpa mencairkan benda kerja. Penyambungan ini dilakukan dibawah titik lebur. *Friction welding* yang sering digunakan di dunia industri manufaktur untuk menyambung benda silinder adalah *continuous drive friction welding*. *Continuous drive friction welding* adalah penyambungan material dimana salah satu material tersebut berputar dan material yang lain bergerak maju untuk membuat tekanan terhadap ujung material yang berputar (Subiyanto, 2015). *Friction welding* memiliki beberapa keuntungan dibanding *fusion welding*, yaitu: lebih cepat dan hemat energi, dapat menyambung benda silinder maupun bukan silinder, dapat menyambung material sejenis maupun material beda jenis.

Shubhavardhan (2012) meneliti tentang *Friction Welding to Join Dissimilar Metals* pada logam baja tahan karat austenitik (AISI 304) dan aluminium 6082. Proses yang dilakukan menggunakan parameter tekanan gesek, waktu gesek, tekanan upset, waktu upset. Dari penelitian tersebut di peroleh kekuatan tarik terbaik 188.40 MPa pada vareasi tekanan gesek 104 MPa, waktu gesek 5 detik, tekanan upset 210 MPa, waktu upset 6 detik. Struktur mikro menunjukkan bahwa alumunium sangat cacat dengan butiran memanjang dan di sempurnakan didekat antar permukaan pengelasan. Baja tahan karat sedikit cacat dan sebagian ditransformasikan di permukaan faying dari austenit ke situs marten karena adanya gesekan keras.

Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa variabel-variabel waktu gesek, tekanan upset, waktu upset dan tekanan upset berpengaruh terhadap hasil penyambungan logam. Dari penelitian-penelitian tersebut belum ada yang menunjukkan bahwa pengaruh tekanan upset sangat mempengaruhi hasil sambungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Perencanaan percobaan

Pelaksanaan penelitian pengelasan gesek variasi tekanan upset terhadap kekuatan tarik bahan aluminium 6061 T6 dan stainless steel 304 dapat dilihat pada tabel 1.

No	Tekanan Gesek (Mpa)	Waktu Gesek (Detik)	Tekanan Up Set (Mpa)	Waktu Tempa (Detik)	Kekuatan Tarik (Mpa)
1	35	4	50	5	
2	35	4	60	5	
3	35	4	70	5	
4	35	4	80	5	
5	35	4	90	5	
6	35	4	100	5	
7	35	4	110	5	
8	35	4	120	5	
9	35	4	130	5	
10	35	4	140	5	

Tabel 1. Tabel rencana penelitian awal pada bahan aluminium 6061 T6 dan satinless steel 304

2.2. Alat Pengujian

Alat pengujian yang digunakan dalam Penelitian :



Gambar 1. Mesin Las Gesek

1. Mesin Las Gesek

Mesin las gesek merupakan alat utama untuk penyambungan logam aluminium 6061 dan *stainless stell* 304. Sistem kerja mesin ini dengan memanfaatkan energi panas yang di dihasilkan oleh gesekan antara dua buah logam yang berbutar dan diberi tekanan.



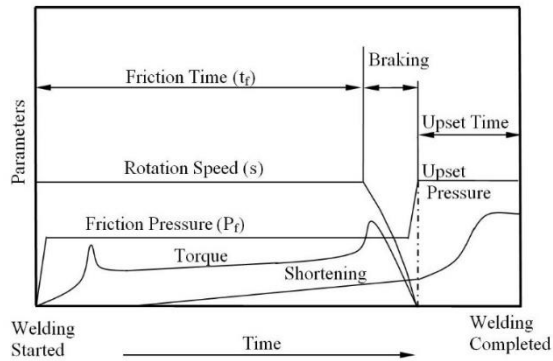
Gambar 2. Load Cell

2. Load Cell

Load Cell digunakan untuk mengatur tekanan yang diberikan saat pengelasan *Friction welding*.

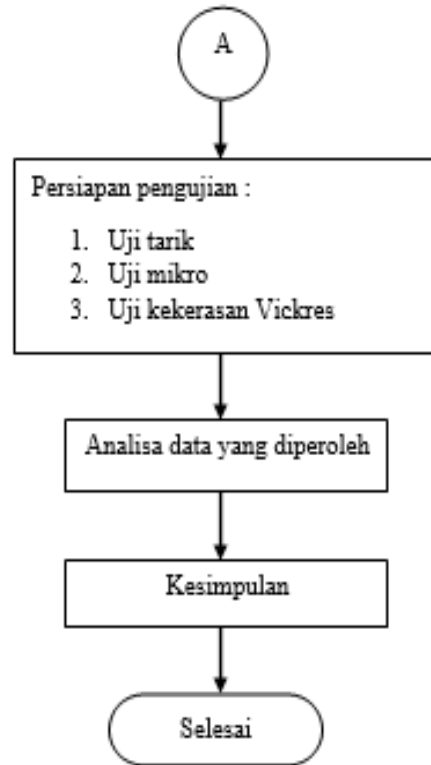
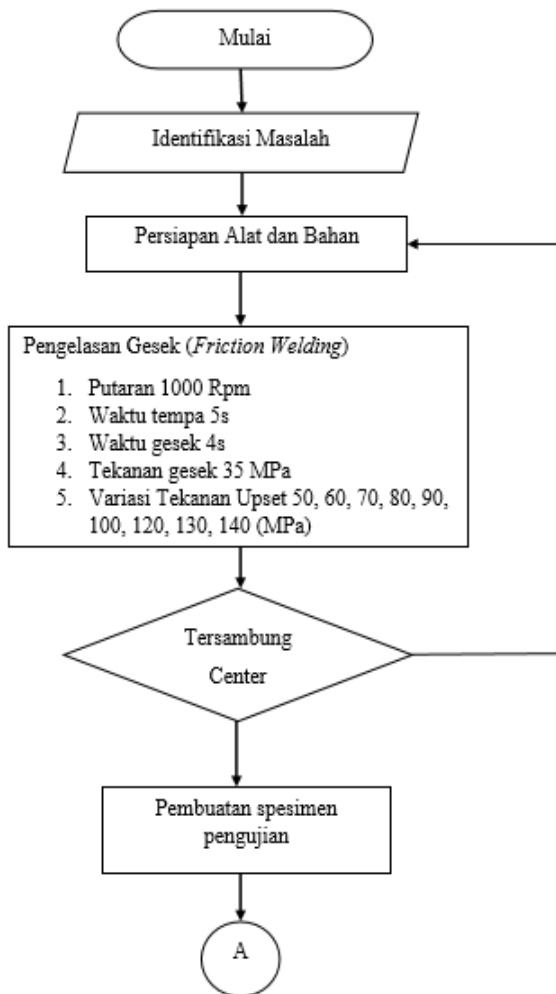
3. Parameter *Friction welding*

Dalam proses pengelasan *Friction welding* CDFW ada parameter penting yang mempengaruhi hasil sambungan lasan. Berikut ini parameter psroses *Friction welding* CDFW digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Parameter *Friction welding*
 Sumber : (Manideep and Balochander, 2012)

2.1 Prosedur Penelitian



3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil pengelasan Gesek Secara Fisual

Setelah dilakukannya pengelasan dengan metode *CDFW* pada bahan aluminium 6061 dan stainless steel 304 maka diperoleh hasil sambungan sebagai berikut ditunjukkan pada gambar 4.



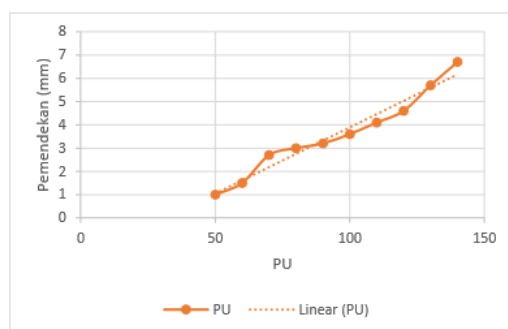
Gambar 4. Hasil pengelasan *CDFW* pada bahan AL 6061 T6 dan SS 304.

Dari gambar 4 Aluminium 6061 dan stainless steel 304 yang selesai disambungkan telah diperoleh hasil bahwa pada logam aluminium 6061 terjadi flash, sedangkan pada logam stainless steel 304 tidak terjadi flash. Hal ini disebabkan karena aluminium 6061 memiliki karakteristik yang lebih termoplastis dibanding dengan stainless steel 304. Pada penyambungan ini digunakan parameter

tekanan tempa yang bervariasi. Tekanan tempa yang digunakan yaitu 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 130, dan 140 MPa. Dari data hasil pengukuran pemendekan setelah dilakukannya pengelasan, semakin besar tekanan tempa yang di gunakan maka akan semakin pendek hasil sambungan yang didapatkan. Data hasil pengukuran pemendekan dengan tekanan tempa dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pemendekan sambungan Al 6061 dan SS 304

No	Tekanan Tempa (MPa)	Panjanag Awal (mm)	Panjang Akhir		Pemendekan mm
			mm	%	
1	50	60	1	1,6	59
2	60	60	1,5	2,5	58,5
3	70	60	2,7	4,5	57,3
4	80	60	3	5	57
5	90	60	3,2	5,3	56,8
6	100	60	3,6	6	56,4
7	110	60	4,1	6,8	55,9
8	120	60	4,6	7,6	55,4
9	130	60	5,7	9,5	54,3
10	140	60	6,4	10,6	53,6



3.2. Hasil Analisa Pengujian Struktur Mikro dan Makro

Dalam penelitian ini pengamatan struktur mikro dilakukan pada beberapa titik untuk melihat perubahan - perubahan struktur logam akibat proses *friction welding*. Pengujian ini akan dilakukan pada

hasil kekuatan tarik tertinggi dan kekuatan tarik terendah. Pengamatan yang dilakukan meliputi logam induk, daerah sambungan dan daerah HAZ

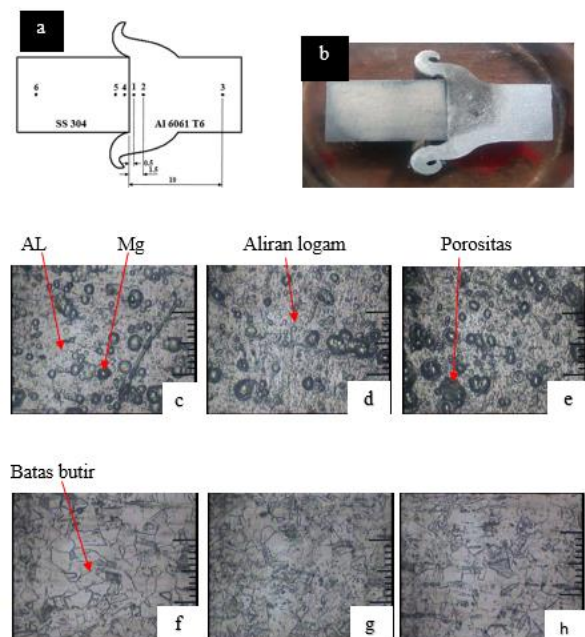
pada sambungan aluminium 6061 dan stainless steel 304. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui daerah - daerah yang akan diuji kekerasannya.

Proses pengujian struktur mikro dilakukan terhadap 2 hasil pengelasan gesek. Hasil sambungan terbaik dan terjelek dibelah dan diresin untuk dilakukan pemolesan untuk dijadikan sebagai spesimen foto mikro.

3.1. Struktur mikro dan makro

1. Tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 5 detik, tekanan tempa 130, dan waktu tempa 5 detik.

Pada pengambilan struktur mikro pada variasi ini dilakukan dibeberapa titik untuk mengetahui perubahan struktur mikronya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



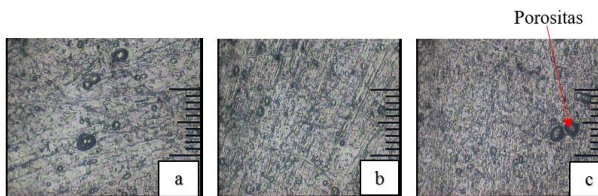
Gambar 5. (a). Posisi pengujian mikro (b). Foto makro (c). Logam induk AL 6061 (d).Daerah HAZ AL 6061 (e). Daerah sambungan AL 6061 (f). Logam induk SS 304 T6 (g). Daerah HAZ SS 304 T4 (h). Daerah sambungan SS 304 T6.

Dari gambar 5 menunjukkan bahwa logam induk aluminium 6061 T6 terlihat butiran - butiran Mg_2Si pada daerah gelap dan AL pada daerah yang terang yang merupakan paduan aluminium 6061 T6. Pada daerah HAZ terlihat alur aliran logam

yang berubah dengan butiran – butiran kristal kasar yang tidak beraturan, hal ini terjadi akibat deformasi plastis karena panas yang ditimbulkan pada saat pengelasan. Perubahan butiran – butiran kristal akan mengurangi tingkat kekerasan aluminium 6061 T6.

Daerah sambungan stainless steel 304 menunjukkan bahwa struktur mikro yang tidak berubah hal ini disebabkan karena panas yang terjadi pada saat penyambungan tidak mencapai titik lebur stainless steel 304.

2. Tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 5 detik, tekanan tempa 50 MPa, dan waktu tempa 5 detik.



Gambar 6. (1). Posisi pengujian mikro (2). Foto makro (a). Logam induk AL 6061 (b). Daerah HAZ AL 6061 (c). Daerah sambungan AL 6061.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3. pengujian pada variasi ini terdapat 3 titik pengujian yaitu daerah HAZ aluminium 6061 T6, daerah sambungan aluminium 6061 T6, dan pada daerah sambungan stainless steel 304.

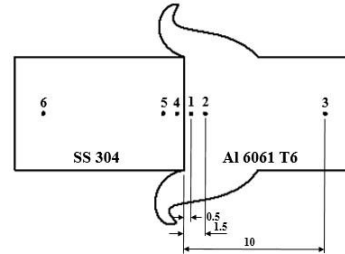
Pada uji struktur mikro diatas biasa dilihat bahwa daerah HAZ terlihat aliran – aliran logam dengan butiran – butiran kristal yang tidak beraturan yang diakibatkan karena deformasi plastis. Butiran – butiran kristal yang kasar dan tidak beraturan akan mengurangi nilai kekerasan logam tersebut.

Dari hasil pengujian struktur mikro diatas dapat dilihat bahwa perubahan struktur mikro pada proses *Friction welding* CDFW dengan variasi tekanan tempa 50 MPa pada daerah HAZ aluminium 6061 T6 terjadi perubahan butiran kristal yang tidak begitu banyak. Pada daerah HAZ terlihat adanya porositas, akan tetapi pada daerah las itu sendiri butiran kristal kecil sangat mendominasi yang akan menaikkan nilai kekerasan walaupun terdapat porositas yang kecil. Hal tersebut diakibatkan karena panas yang terjadi lebih sedikit dibandingkan dengan tekanan tempa 130, dan waktu tempa 5 detik.

3.2. Pengujian kekerasan

Proses pengujian kekerasan dilakukan pada 2 buah hasil pengelasan *Friction welding* CDFW. Data yang dipilih dari hasil sambungan yang terbaik dan hasil sambungan yang terjelek. Hasil sambungan terbaik dan terjelek dibelah kemudian permukaannya

diamplas hingga halus agar memperoleh hasil kekerasan yang akurat karena permukaan yang kasar akan mempengaruhi hasil pengujian kekerasan. Penentuan titik secara mikro dilihat dari profil hasil pengelasan gesek, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.

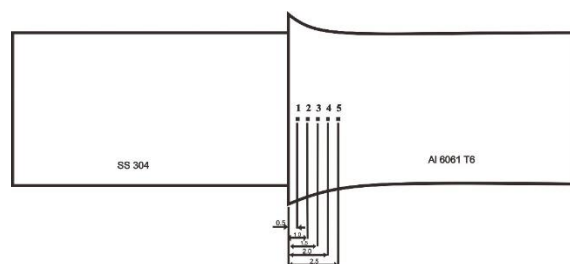


Gambar 7. Posisi pengujian kekerasan aluminium 6061 T6 dan stainless steel 304 tekanan upset 130 MPa

Pada pengujian kekerasan dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 5 detik, tekanan tempa 130 MPa, dan waktu tempa 5 detik diperoleh hasil bahwa pada sambungan aluminium 6061 T6 mengalami kekerasan yang berbeda dibandingkan dengan logam induk. Tingkat kekerasan yang berkurang dikarenakan struktur mikro yang berubah akibat terjadinya deformasi plastis yang diakibatkan karena pemanasan. Namun pada sambungan stainless steel tidak mengalami perubahan kekerasan karena Stainless steel 304 tidak mengalami perubahan struktur mikro, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan tekanan upset 130 MPa.

No	Kode	Jarak dari sambungan	d_1 (μm)	d_2 (μm)	$d_{rata\ rata}$ (μm)	Kekerasan (VHN)	
1	Al	10.0	Mm	67.0	65.0	66.00	85.1
		1.5	Mm	82.0	86.0	84.00	52.6
		0.5	Mm	86.0	82.0	84.00	52.6
	SS	0.5	Mm	40.0	39.0	39.50	237.7
		1.5	Mm	40.0	39.0	39.50	237.7
		10.0	Mm	40.0	39.0	39.50	237.7

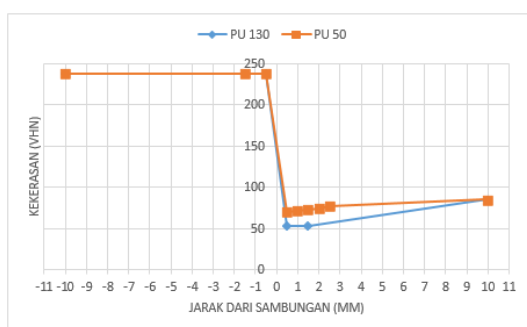


Gambar 8. Posisi pengujian kekerasan aluminium 6061 T6 tekanan upset 50 MPa.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 pengujian kekerasan dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 5 detik, tekanan tempa 50 MPa, dan waktu tempa 5 detik diperoleh hasil bahwa pada sambungan aluminium 6061 T6 mengalami kekerasan yang berbeda dibandingkan dengan logam induk. Tingkat kekerasan yang berkurang dikarenakan struktur mikro yang berubah akibat terjadinya deformasi plastis yang diakibatkan karena pemanasan. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan tekanan upset 50 MPa.

No	Kode	Jarak dari sambungan		d_1	d_2	$d_{rata\ rata}$	Kekerasan (VHN)	
		(mm)	(mm)	(μm)	(μm)	(μm)		
1	50	Al	0.5	mm	71.0	74.0	72.50	70.6
			1.0	mm	71.0	72.0	71.25	72.0
			1.5	mm	70.0	72.0	71.00	73.6
			2.0	mm	70.5	71.0	70.75	74.1
			2.5	mm	68.5	70.0	69.25	77.3



Gambar 9. Grafik distribusi kekerasann material di sekitar sambungan logam beda jenis Al 6061 T6 - AISI 304 dengan tekanan tempa 130 MPa dan 50 MPa.

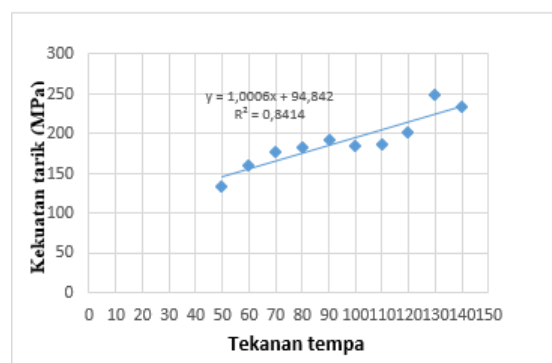
Pada hasil pengamatan gambar 9 dapat dilihat bahwa stainless steel 304 memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium 6061 T6. Pada logam Al 6061 T6 pada sambungan dengan tekanan tempa 50 MPa terjadi peningkatan kekerasan pada logam Al pada jarak 1.5 mm sampai 2.5 mm dari sambungan. Pada variasi tekanan tempa 130 MPa nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan variasi tekanan tempa 50. Meskipun demikian semakin menjauhi sambungan nilai kekerasannya tetap naik dari jarak 1.5 samapi 10.

3.3. Hasil uji kekerasan

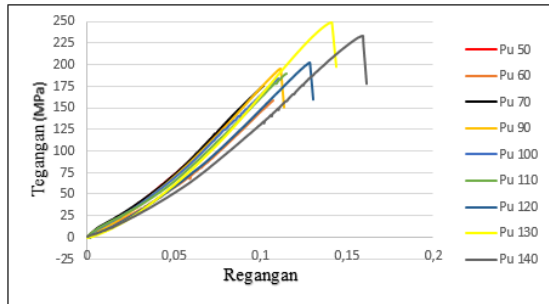
Tabel 4. Data hasil pengujian tarik pada sambungan bahan aluminium 6061 dengan stainless steel 304.

No	Tekanan Gesek (Mpa)	Waktu Gesek (Detik)	Tekanan Up Set (Mpa)	Waktu Tempa (Detik)	Kekuatan Tarik (Mpa)
1	35	4	50	5	134
2			60		159
3			70		176
4			80		183
5			90		193
6			100		184
7			110		187
8			120		201
9			130		248
10			140		234

Dari tabel 4 data uji tarik diperoleh hasil kekuatan tarik dengan variasi tekanan upset mendapatkan hasil yang berbeda - beda. Hasil pengujian tarik terbaik terlihat pada variasi tekanan upset 130 MPa dengan kekuatan tarik sebesar 248 MPa. Sedangkan hasil pengujian tarik terendah terlihat pada variasi tekanan upset 50 MPa dengan kekuatan tarik sebesar 134 MPa. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.



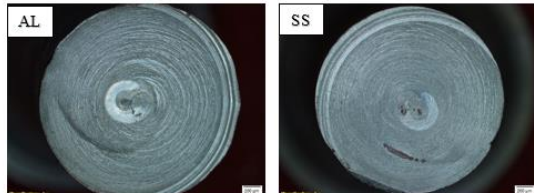
Gambar 10. Grafik pengaruh tekanan tempa terhadap kekuatan tarik.



Gambar 11. Grafik tegangan regangan

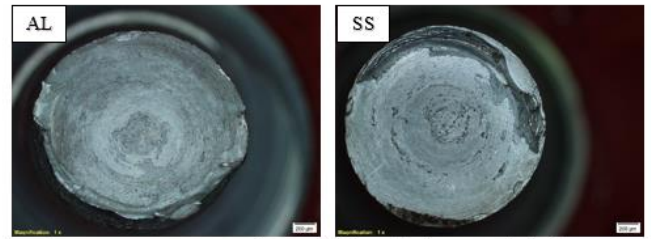
Dari grafik tegangan regangan pada gambar 11 terlihat grafik perpanjangan pengujian tarik, titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis yang tinggi. Hasil terbaik dalam penelitian terdapat pada variasi tekanan gesek 35 MPa dengan waktu gesek 4 detik dan variasi tekanan tempa 130 MPa dengan waktu tempa 5 detik. Grafik pada variasi tekanan tempa 130 MPa memiliki UTS sebesar 248,39 MPa.

3.4. Hasil patahan spesimen uji tarik



Gambar 12. Penampang patahan pengujian tarik dengan variasi tekanan tempa 50 MPa, waktu tempa 4 detik, tekanan gesek 35 MPa dan waktu gesek 5 detik.

Dari hasil patahan pengujian tarik variasi tekanan tempa 50 MPa pada gambar 12 terlihat bahwa hasil patahan putus pada sambungan aluminium 6061 T6 dan AISI 304. Hal tersebut dikarenakan pada saat terjadi gesekan panas yang dihasilkan tidak merata. Maka dari itu pada saat ditarik patahan terjadi dibagian sambungan. Sambungan aluminium 6061 T6 dan AISI 304 variasi tekanan gesek 50 MPa terlihat aluminium hanya sedikit menempel pada permukaan sambungan, maka menghasilkan kekuatan tarik yang rendah. Gambar 13 menunjukkan hasil patahan uji tarik variasi tekanan tempa 130 MPa.



Gambar 13. Penampang patahan pengujian tarik dengan variasi tekanan tempa 130 MPa, waktu tempa 4 detik, tekanan gesek 35 MPa dan waktu gesek 5 detik.

Patahan sambungan pengelasan gesek pada aluminium 6061 T6 dan AISI 304 terlihat patah pada sambungan. Pada sambungan aluminium 6061 T6 dan AISI 304 dengan variasi tekanan tempa 130 MPa terlihat bahwa aluminium 6061 menyatu pada AISI 304, maka menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi.

3.5. Kesimpulan

Dengan mengkaji kegiatan hasil penelitian yang meliputi proses kerja dan berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik antara aluminium 6061 T6 dengan AISI 304 menggunakan tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 4 detik, waktu upset 5 detik dengan variasi tekanan upset 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 MPa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi tekanan upset akan mempengaruhi struktur mikro pada sambungan aluminium T6 dengan AISI 304. Struktur mikro pada daerah HAZ sambungan aluminium 6061 T6 mengalami perubahan berupa butiran kristal yang tidak beraturan. Akan tetapi struktur mikro pada logam induk aluminium 6061 T6 tidak mengalami perubahan. Pada daerah lasan butiran – butiran kristal yang halus akan menambah nilai kekerasan. Pada daerah HAZ dan logam induk AISI 304 struktur mikro tidak mengalami perubahan.
2. Kekerasan AISI 304 memiliki harga VHN lebih tinggi diatas aluminium 6061 T6. Besarnya tekanan upset mempengaruhi nilai kekerasannya. Pada jarak 10 mm dari sambungan aluminium 6061 T6 variasi tekanan upset 130 MPa nilai kekerasannya paling rendah dengan nilai 52,6 VHN, sedangkan pada jarak 2,5 mm HAZ dengan tekanan upset 50 MPa nilai kekerasannya paling tinggi dengan nilai kekerasan 77.3 VHN.



3. Variasi tekanan upset mempengaruhi hasil kekuatan tariknya. Kekuatan tarik tertinggi terlihat pada variasi tekanan upset 130 MPa dengan hasil kekuatan tarik 248 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terlihat pada variasi tekanan upset 50 MPa.

Daftar Pustaka

- Shubhavardhan R.N. 2012. *Friction Welding to join Stainless Steel and Aluminum Materials*, India.
- Bhamji. 2009. *Solid State Joining of Metal by Linear Friction Welding*, UK.
- Alves. 2010. *Welding of AA1050 Aluminium with Aisi 304 Stainless Steel by Rotary Friction Welding Process*. Brazil. 1999.
- Setyawan. 2014. *Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan berbagai Suhu Aging*. Malang.
- D. Mandideep. 2012. *Welding Parameters-Metallurgical Properties Correlation of Friction Welding of Austenitic Stainless Steel and Ferritic Stainless Steel*. India.
- Surendran S. 2012. *Friction Welding to Join Dissimilar Metals*. India.
- Mursalin. 2009. *Pengaruh Perlakuan Panas Aging Terhadap perilaku korosi Paduan Aluminium Seri 6061 dalam Larutan 0,05M HCl*. Surabaya.
- Sanyoto. 2012. *Penerapan Teknologi Las Gesek dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah*, Surabaya.
- Prasetyono. 2012. *Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek dan Tekanan Tempa Terhadap Impact Strength Sambungan Lasan Gesek Langsung pada Baja Karbon AISI 1045*. Surabaya.
- Setiawan. 2016. *Penelitian Stainless Steel 304 Terhadap Pengaruh Pengelasan (Gas Tungsten ARC Welding (GTAW) untuk Variasi Arus 50A, 100A dan 160A dengan Uji Komposisi Kimia, Uji Struktur Mikro, Uji Kekerasan dan Uji Impact*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- M.M. Shtrikman. 2010. *Linear Friction Welding*. Francis.
- Sumarji. 2011. *Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan Tipe SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik dengan Variasi Suhu dan PH*.
- Materials Science and Technology. 2003. *Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Aluminium Alloy 5052-A36 Steel Joint*.
- Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta.
- Wirjosumarto, Harsono. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta
- T. Iqbal. 2013. *Laporan Akhir Praktikum Material Teknik (Metalografi)*. Bandung : Universitas Pasundan.