

BAB IV PEMBAHASAN

Pengujian spesimen dilakukan setelah spesimen uji telah berhasil disambung pada proses pengelasan gesek (*friction welding*). Spesimen yang tersambung selanjutnya dilakukan pengambilan data pengujian tarik. Data yang diperoleh dari pengujian tarik digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu gesek terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik. Pengujian kekerasan dan uji struktur mikro dapat dilakukan setelah melakukan kembali penyambungan spesimen pada proses pengelasan gesek. Data yang digunakan adalah data hasil uji tertinggi dan terendah pada pengujian tarik. Hasil penyambungan spesimen kemudian dibelah menjadi dua bagian. Satu sisi spesimen yang telah dibelah digunakan untuk pengujian kekerasan dan sisi lainnya digunakan untuk pengujian struktur mikro.

4.1 Hasil Pengelasan Gesek secara Visual

Setelah dilakukan hasil pengelasan gesek dengan bahan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304, maka didapatkan hasil seperti gambar 4.1



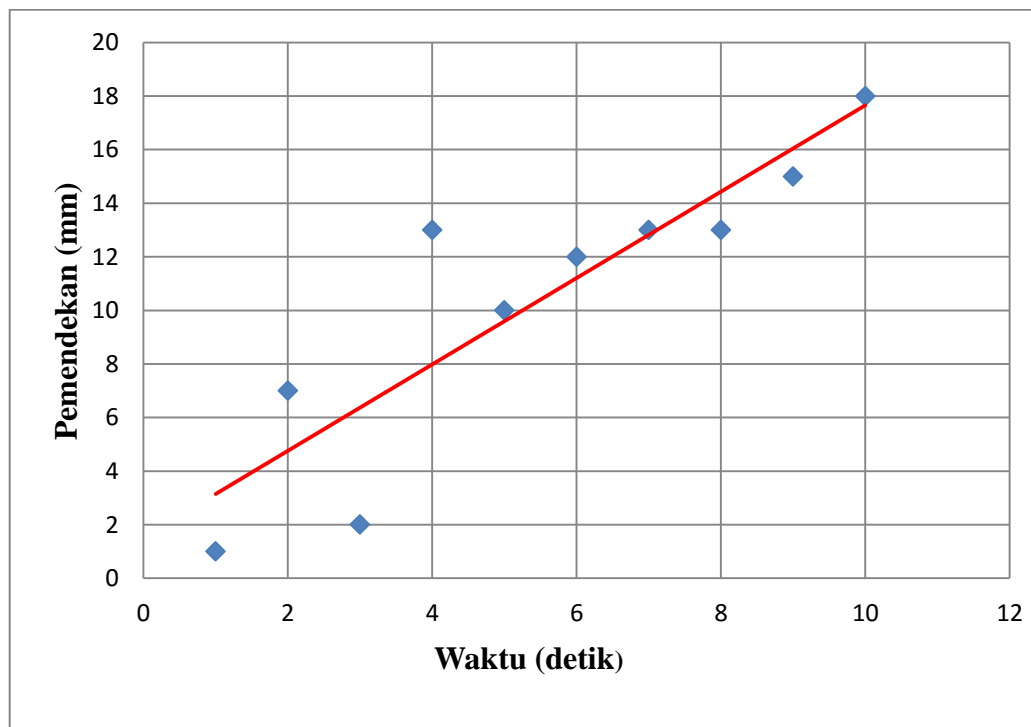
Gambar 4.1 Hasil pengelasan Al 6061 T6 dan SS 304

Dari gambar 4.1 dapat dilihat hasil pengelasan gesek antara aluminium dan *stainless steel*. Terjadinya *flash* hanya pada bahan aluminium saja, dikarenakan aluminium cepat mengalami *thermoplastis*. Setelah dilakukan pengelasan kemudian dilakukan pengukuran panjang benda uji setelah pengelasan. Hasil pengukuran panjang setelah pengelasan dapat dilihat pada table 4.1

Tabel 4.1 Hasil pengukuran panjang setelah pengelasan

No	Waktu gesek (detik)	Panjang awal (mm)	Panjang setelah pengelasan (mm)	Pemendekan	
				mm	%
1	1	60	59	1	1.67
2	2		53	7	11.67
3	3		58	2	3.34
4	4		47	13	21.67
5	5		50	10	16.67
6	6		48	12	20
7	7		47	13	21.67
8	8		47	13	21.67
9	9		45	15	25
10	10		42	18	30

Dari tabel 4.1 dibuatlah grafik hubungan antara pemendekan yang terjadi dengan waktu gesek yang digunakan. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2

**Gambar 4.2** Grafik hubungan pemendekan dan waktu gesek

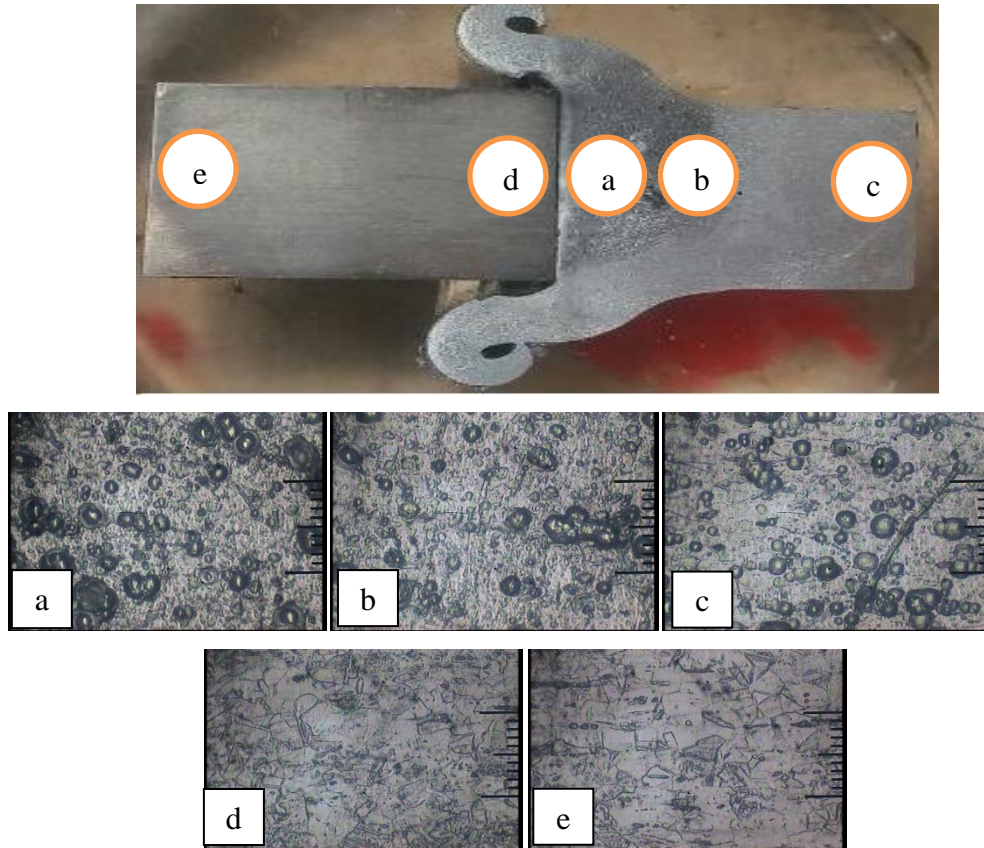
4.2 Hasil Pembahasan Struktur Mikro dan Makro

Dalam penelitian ini pengamatan secara mikro dilakukan pada beberapa titik untuk melihat perubahan yang terjadi pada material aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 setelah dilakukan proses pengelasan gesek. Pengujian struktur mikro juga bertujuan untuk mengetahui daerah-daerah yang perlu dilakukan pengujian kekerasan. Berdasarkan pengujian tarik maka akan ditentukan variasi pengelasan gesek yang memiliki kekuatan tertinggi dan terendah yang akan dilakukan pengujian mikro. Proses persiapan pengujian foto mikro dilakukan terhadap 2 hasil pengelasan gesek. Hasil tersebut diperoleh dari analisa hasil pengujian tarik 10 spesimen uji dan diambil data terbaik dan terendah dari pengujian tarik. Hasil sambungan dibelah kemudian dicetak dengan resin untuk dijadikan sebagai spesimen foto mikro. Untuk persiapan selanjutnya spesimen dipoles dan dietsa sesuai dengan material untuk dilakukan pengujian foto mikro.

4.2.1 Struktur Mikro dan Makro

Berdasarkan hasil pengujian tarik penelitian struktur mikro difokuskan pada hasil terbaik dan terendah. Hasil tersebut didapatkan pada variasi waktu gesek 4 detik dan 1 detik. Penelitian struktur mikro dilakukan pada beberapa titik hasil sambungan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304. *Flash* yang ditimbulkan pada aluminium lebih besar dibandingkan dengan material *stainless steel* maka pengambilan foto mikro lebih banyak dilakukan pada daerah aluminium. Foto mikro tersebut bertujuan untuk melihat perubahan yang terjadi pada material induknya.

- 1) Struktur mikro hasil pengelasan dengan waktu 4 detik dengan pembesaran 200x

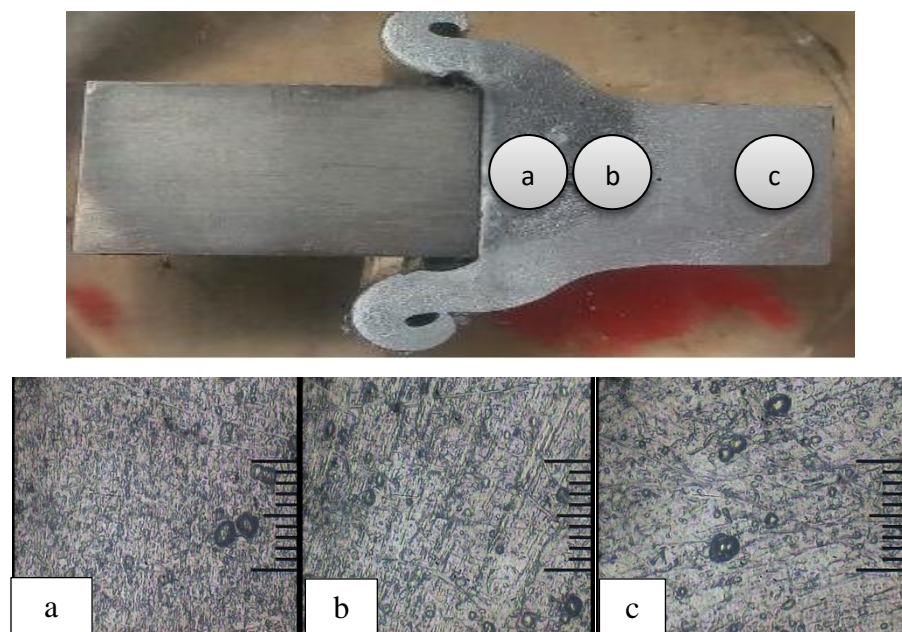


Gambar 4.3 (a) Hasil pengamatan struktur mikro pada sambungan Al 6061 T6
 (b) Daerah terkena panas yaitu HAZ (c) Logam induk Al 6061 T6
 (d) Daerah sambungan SS 304 (e) Logam induk SS 304

Pengambilan foto mikro dilakukan di beberapa titik pada hasil pengelasan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 dengan variasi waktu 4 detik. Pengambilan foto ini bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada hasil sambungan dan daerah yang terkena panas yaitu HAZ. Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa daerah sambungan aluminium 6061 T6 butir magnesiumnya terlihat lebih besar dibandingkan di daerah HAZ. Terjadinya pengaruh panas pada saat pengelasan dan proses pendinginan yang sangat lama mempengaruhi bentuk butiran magnesium. Sedangkan pada daerah HAZ butir magnesium terlihat lebih halus dibandingkan dengan logam sambungan maupun logam induk. Pada logam induk butir magnesium tidak mengalami perubahan.

Hasil foto mikro pada *stainless steel* menunjukkan bahwa pada bagian sambungan maupun pada logam induk semuanya memiliki fasa austenitic. Hal ini terjadi karena fasa yang dimiliki *stainless steel* 304 merupakan fasa austenite. Pada gambar (d) butir austenite terlihat lebih halus dibandingkan dengan daerah logam induk. Fasa austenite yang paling jelas terlihat pada gambar (e) yaitu pada bagian logam induknya dengan ukuran butir yang lebih besar.

2) Struktur mikro hasil pengelasan dengan waktu 1 detik pembesaran 200x



Gambar 4.4. (a) Hasil pengamatan struktur mikro pada sambungan Al 6061 T6 (b) Daerah yang mengalami perubahan karena panas yaitu HAZ (c) Logam induk Al 6061 T6

Pada pengujian struktur mikro pada variasi waktu 1 detik ini hanya dilakukan pada aluminium saja. Karena pada *stainless steel* daerah sambungan maupun HAZ pada variasi waktu 4 detik hanya mengalami sedikit perubahan struktur mikro. Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa butiran magnesium terlihat lebih besar dibandingkan daerah HAZ, ini disebabkan karena kurangnya waktu saat pengelasan dan rendahnya proses pendinginan sehingga tidak terlalu mempengaruhi perubahan struktur mikronya. Pada daerah (b) HAZ butiran magnesiumnya terlihat lebih kecil dan halus dibandingkan dengan daerah lainnya. Penyebabnya ialah dikarenakan pengaruh panas saat

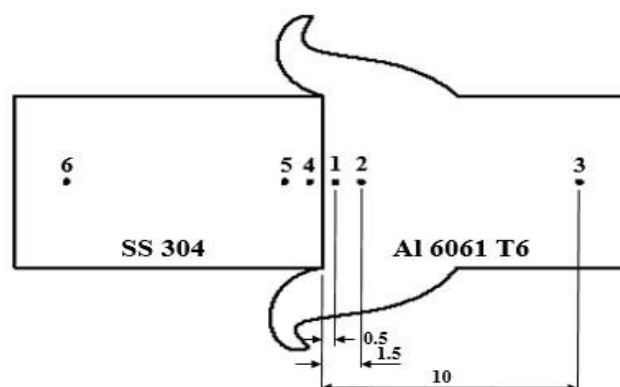
pengelasan dan proses pendinginan yang relatif cepat dibandingkan daerah sambungan.

Purnomo (2012) menggunakan bahan alumunium dan tembaga meneliti tentang pengaruh waktu gesek dan tekanan tempa terhadap hasil struktur mikro dengan proses pengelasan gesek. Dari penelitiannya dapat disimpulkan bahwa dengan waktu 45 detik dan tekanan tempa 58 MPa. Terlihat butiran alumunium masuk ke daerah butiran logam paduan tembaga.

Penelitian yang dilakukan sugianto (2016) dengan bahan alumunium 6061 T6 disimpulkan bahwa. Pada waktu gesek 60 detik menunjukkan butiran magnesium terlihat lebih besar. Pada pengamatan waktu 60 detik menunjukkan adanya *crack*, hal ini menandakan bahwa pemanasan dengan waktu 60 detik kurang dalam pengujian yang dilakukannya

4.2.2 Hasil dan Analisis Pengujian Kekerasan

Analisis pengujian kekerasan dilakukan pada 2 spesimen yang diperoleh dari hasil pengujian tarik dengan hasil tertinggi dan terendah. Setelah didapatkan hasil terbaik dan terendah dilakukan lagi proses penyambungan material menggunakan las gesek dengan variasi yang sama. Hasil sambungan kemudian dibelah untuk di amplas dan dipoles agar permukaannya rata untuk pengujian kekerasan. Karena permukaan yang kasar akan mempengaruhi hasil uji kekerasan. Untuk profil pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Profil pengujian kekerasan

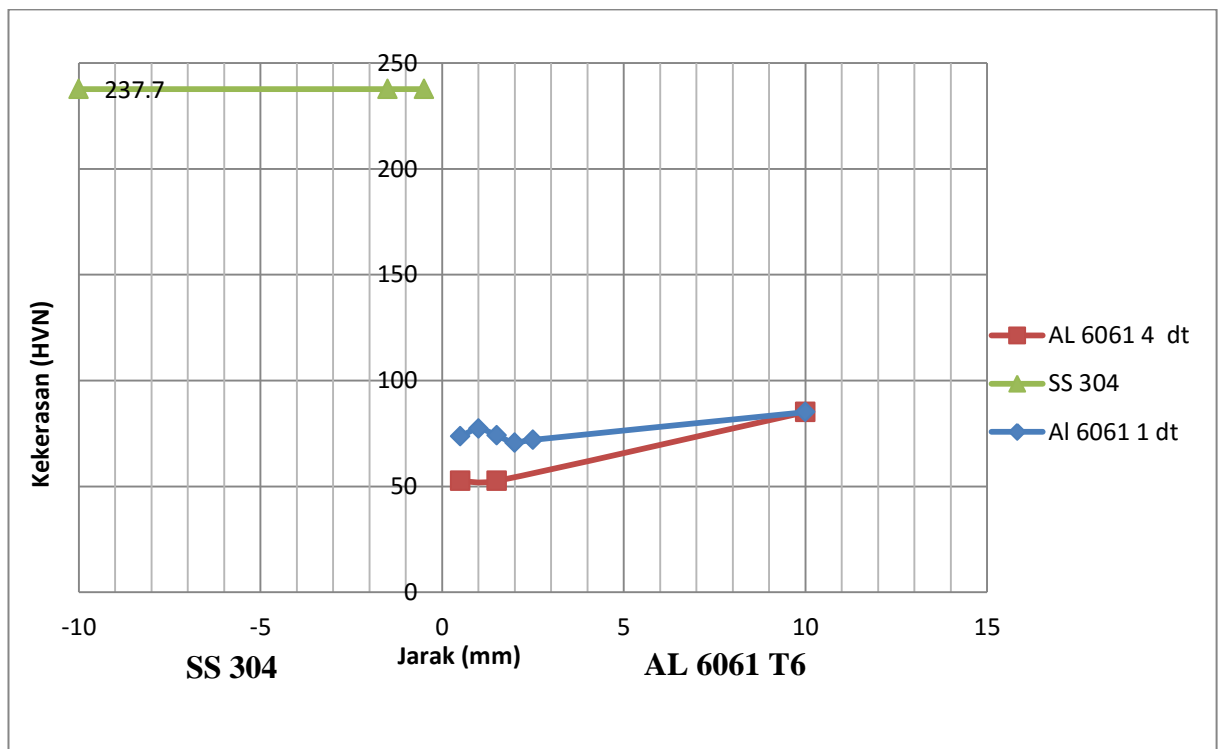
Pada pengujian kekerasan dilakukan pemberian titik pada benda uji untuk proses pengambilan data. Penentuan titik tersebut didasarkan pada hasil pengamatan makro dan mikro. Penentuan titik secara makro dilihat dari profil pengelasan gesek. Pada hasil pengelasan gesek aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304, aluminium 6061 T6 lebih cepat mengalami deformasi plastis dibandingkan dengan *stainless steel* 304 yang tidak menimbulkan *flash*.

Proses pengujian kekerasan pada hasil sambungan las gesek aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 dapat dilihat pada gambar 4.5. Pada masing-masing bagian antara aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 terdapat jarak 0.5, 1.5 dan 10 mm untuk proses pengujian kekerasan. Karena pada sambungan las gesek masih belum tersambung kuat. Hal ini disebabkan karena perbedaan sifat mekanis dan sifat *thermal* yang cukup jauh. Sehingga tidak dilakukan pengambilan data pada sambungan.

Dari pengujian yang sudah dilakukan pada beberapa titik telah didapatkan hasil uji kekerasan. Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.1, supaya lebih mudah dalam mengklarifikasikan hasil uji kekerasan dari material aluminium 6061 dan *stainless steel* 304 maka dibuatlah grafik perbandingan kekerasan dari tabel 4.1 pada gambar 4.5

Tabel 4.2 Hasil Uji kekerasan

No	Kode	Jarak dari sambungan (mm)		Kekerasan (VHN)
1	4	AL	10	85.1
			1.5	52.6
			0.5	52.6
		SS	0.5	237.7
			1.5	237.7
			10	237.7
2	1	AL	0.5	73.6
			1	77.3
			1.5	74.1
			2.0	70.6
			2.5	72.0



Gambar 4.5 Grafik perbandingan uji kekerasan antara aluminium 6061 T6 dan stainless steel 304 dengan waktu 4 detik dan waktu 1 detik

Dari pengamatan yang dilakukan pada grafik 4.5 dapat dilihat bahwa pada daerah HAZ dan sambungan pada variasi 4 detik memiliki kekerasan yang sama. Hal ini disebabkan karena lamanya waktu pengelasan dan lamanya proses pendinginan pada alumunium 6061 T6 yang menyebabkan struktur mikronya berubah. Sedangkan pada logam induk kekerasannya lebih besar karena tidak terpegaruh panas saat waktu pengelasan. Pada grafik dengan variasi waktu 1 detik kekerasan pada daerah sambungan dan HAZ meningkat dibandingkan pada waktu gesek 4 detik. Karena waktu gesek yang singkat dan proses pendinginan yang cepat menyebabkan kekerasan pada sambungan dan HAZ meningkat. Karena pada waktu yang singkat tersebut struktur mikro pada alumunium belum berubah. Dari perbandingan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi waktu gesek dapat mempengaruhi hasil kekerasan pada daerah sambungan maupun daerah HAZ.

Pada daerah *stainless steel* hasil kekerasannya sama dari sambungan sampai logam induk. Karena kurang lamanya waktu pengelasan sehingga menyebabkan *stainless steel* tidak mencair. Karakter *stainless steel* yang keras dan ulet membutuhkan waktu yang lama untuk bisa mencair dibandingkan dengan alumunium pada saat proses pengelasan.

Sahin (2009) menyimpulkan bahwa adanya peningkatan kekerasan pada daerah HAZ. Dengan variasi waktu gesek 2.5 detik, tekanan gesek 60 MPa dan tekanan tempa 120 MPa didapatkan hasil kekerasan pada alumunium 58 HVN pada daerah HAZ.

Pada penelitian yang dilakukan oleh sugianto (2016) dengan menggunakan alumunium 6061 T6 didapatkan hasil kekerasan tertinggi pada variasi waktu gesek 120 detik dengan sudut 30°. Lamanya waktu gesek dan sudut *chamfer* 30° menghasilkan kekerasan tertinggi dengan hasil 91 BHN.

4.2.3 Hasil dan Analisis Pengujian Tarik

Pada proses pengujian tarik, spesimen dibuat sesuai standar *JIS Z* 2201 untuk disambung dengan pengelasan gesek. Hasil pengelasan gesek

dapat menimbulkan *flash* pada spesimen uji. *Flash* yang timbul dihilangkan dan dibentuk kembali sesuai standar pengujian tarik dengan cara dibubut dengan menggunakan mesin bubut. Proses pembubutan *flash* menghasilkan diameter spesimen uji yang berbeda-beda. Penyebabnya ialah hasil pengelasan gesek yang kurang linear. Spesimen uji dibuat rata dan lurus untuk memperoleh hasil pengujian tarik yang akurat.



Gambar 4.7 Spesimen uji tarik hasil pengelasan gesek alumunium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 dengan standar JIS Z 2201

Setelah selesai dilakukan pembubutan spesimen dari *flash*, kemudian spesimen dilakukan uji tarik untuk mengetahui hasil terbaik kekuatan tarik dari pengelasan gesek antara alumunium 6061 T6 dan *stainless stell* 304.

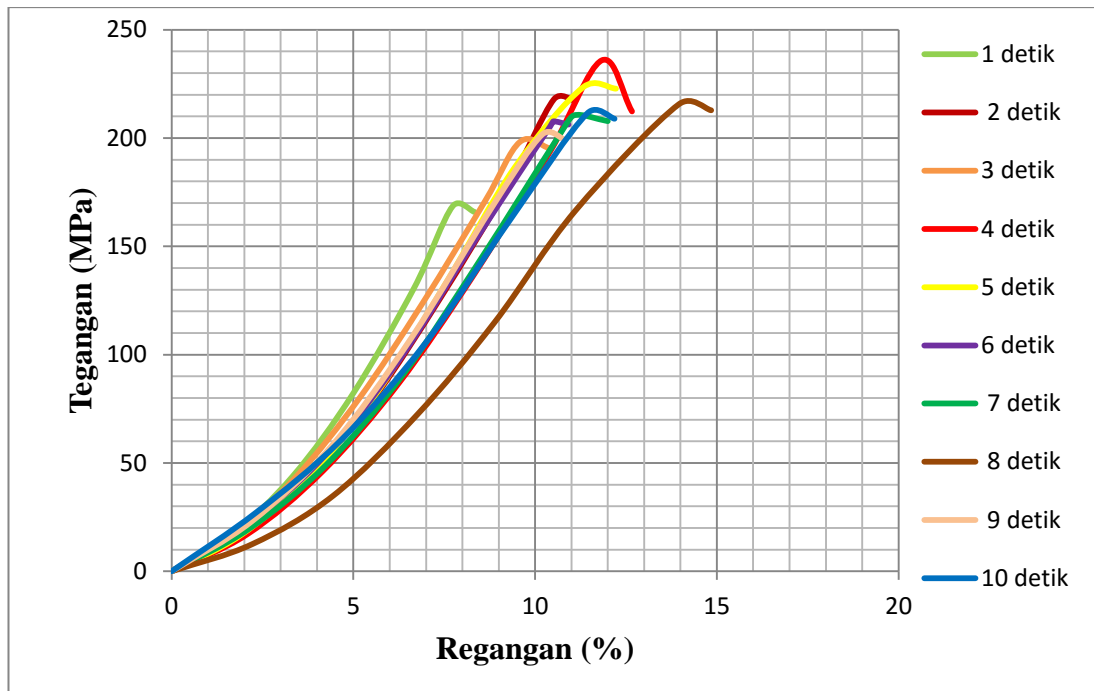


Gambar 4.8 Bentuk spesimen setelah dilakukan pengujian tarik

Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.2. Dari table 4.2 dibuat grafik perbandingan kekuatan tarik dan lama waktu pengelasan lalu dibuat juga grafik tegangan regangan dari masing-masing spesimen (Gambar 4.7). Dari hasil pengujian tarik semua spesimen terjadi patah getas pada bagian sambungan las. Penampang patahan hasil pengujian tarik yang dapat diamati dapat dilihat pada tabel 4.2.

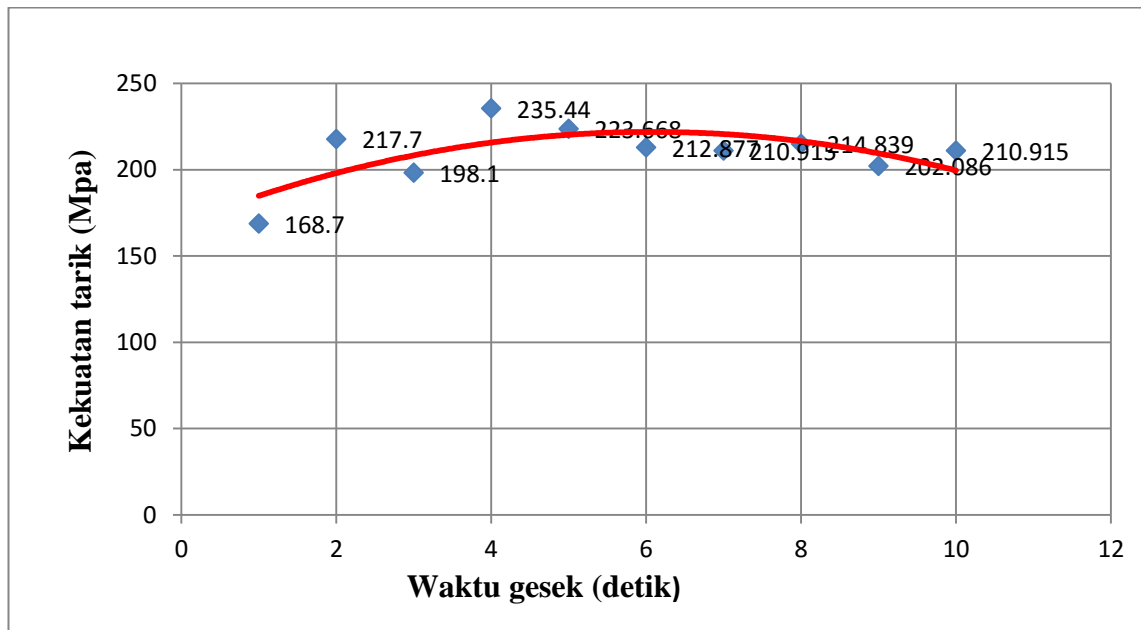
Tabel 4.2 Tabel hasil uji tarik AL 6061 T6 dan SS 304

No	Waktu gesek (detik)	Tekanan gesek (MPa)	Waktu tempa (detik)	Tekanan Tempa (MPa)	Kekuatan tarik (MPa)
1	1	35	5	135	168.7
2	2				217.7
3	3				198.1
4	4				235.44
5	5				223.668
6	6				212.877
7	7				210.915
8	8				214.839
9	9				202.086
10	10				210.915



Gambar 4.9 Grafik gabungan beban perpanjangan variasi waktu 1 – 10 detik

Dari grafik 4.8 dapat dilihat hasil pengujian tarik perpanjangan beban menunjukkan perubahan dari deformasi *elastis* ke deformasi *plastis* yang tinggi. Pada grafik 4.8 terlihat bahwa tegangan tertinggi terdapat pada variasi waktu 4 detik dengan hasil tegangan 235.4 MPa. Sedangkan untuk hasil tegangan terendah ditunjukkan pada variasi waktu 1 detik dengan hasil tegangan 168.7 MPa. Dari hasil pengujian tarik ini dapat disimpulkan bahwa waktu gesek mempengaruhi hasil kekuatan tarik. Adanya peningkatan kekuatan tarik ketika waktu gesek bertambah, tetapi terjadi penurunan kekuatan tarik ketika sudah mencapai waktu yang maksimal. Hal ini bisa diamati hasil kekuatan tarik terbaik dan kekuatan tarik terendah pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan kekuatan tarik dan waktu gesek

Pada gambar 4.10 ditunjukkan bahwa waktu gesek mempengaruhi hasil kekuatan tarik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada waktu gesek 5 detik jika diperhatikan lewat garis linear yang berwarna merah. Sedangkan hasil paling rendah pada grafik tersebut terletak pada hasil dengan waktu gesek 1 detik. Waktu gesek yang sebentar menyebabkan ikatan material belum menyatu dengan baik sehingga mengakibatkan kekuatannya rendah.

Eder (2010) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa variasi waktu gesek, tekanan tempa, waktu tempa dan tekanan tempa dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik. Hal ini dapat dilihat pada penelitiannya menggunakan bahan aluminium 1050 dan *stainless steel* 304. Nilai kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada variasi waktu gesek 32 detik, tekanan gesek 2.1 MPa, waktu tempa 2 detik, tekanan tempa 1.4 MPa dengan hasil kekuatan tarik 80.08 MPa.

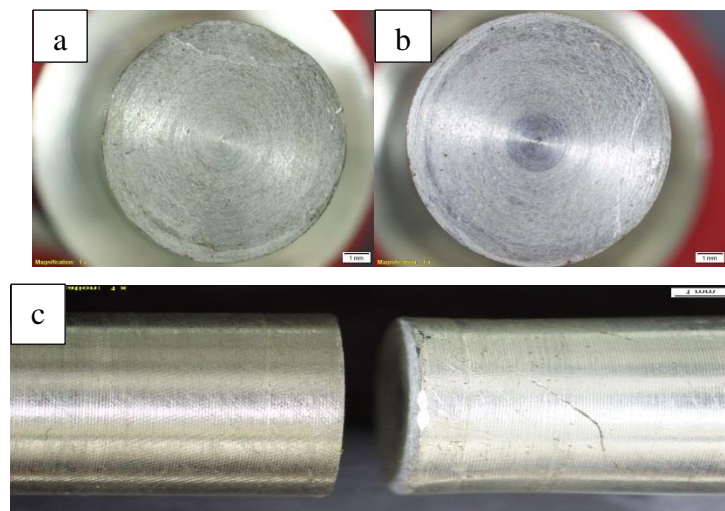
Dari penelitian yang dilakukan Sugianto (2016) didapatkan hasil kekuatan tarik 155.58 MPa hasil tersebut didapatkan dengan variasi waktu gesek 120 detik dan sudut *chamfer* 30°. Lamanya waktu gesek dan sudut

chamfer mempengaruhi hasil kekuatan tarik pada hasil pengelasan *friction welding* dengan bahan aluminium 304.

4.2.4 Fraktografi

Pada pengujian tarik hasil patahannya terletak pada daerah sambungan semua atau terjadi patah getas. Dikarenakan aluminium mengalami *thermoplastis* yang cepat daripada *stainless steel* yang belum mengalami *thermoplastis*. Disebabkan karena perbedaan sifat mekanis yang cukup jauh. Ketika pengujian tarik terjadi patah getas pada sambungan, dikarenakan struktur pada kedua permukaan material belum mengalami ikatan yang kuat sehingga patahan terjadi pada sambungan ketika ditarik. Dari 10 spesimen hasil pengujian tarik terjadi patahan hanya pada sambungan. Semua spesimen tidak terjadi difusi atau sambungan penuh. Setelah dilakukan uji tarik, kemudian dilakukan pengamatan pada penampang benda uji tersebut.. Hasil patahan dapat dilihat pada gambar 4.11

1. Hasil pengamatan patahan dengan waktu gesek 4 detik

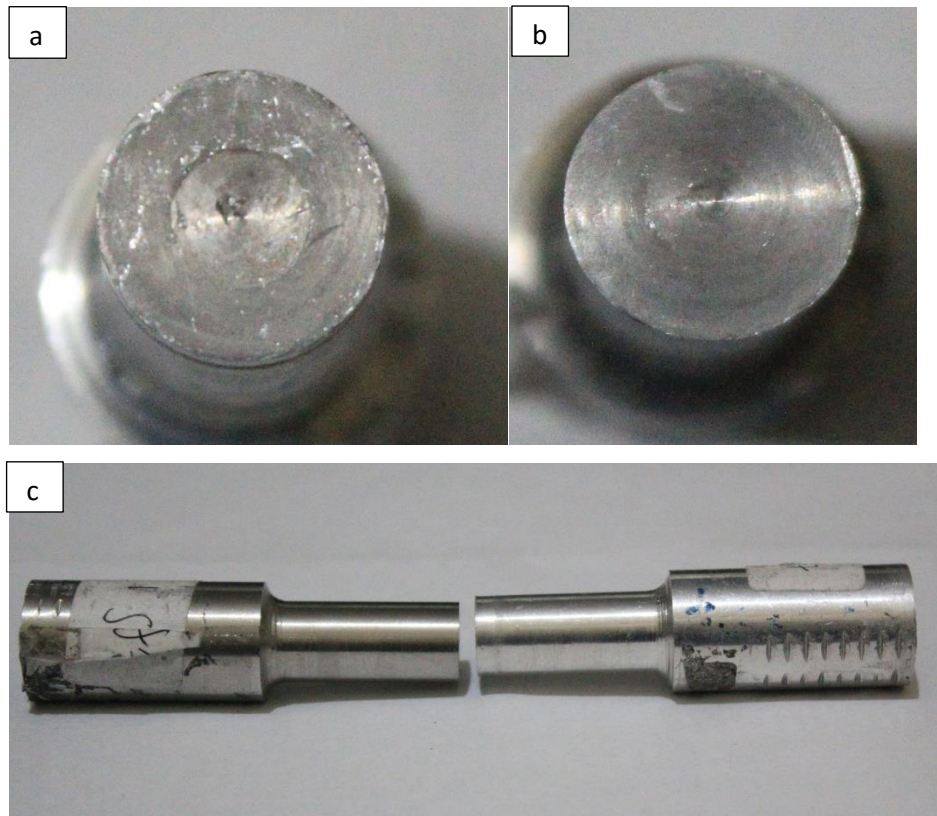


Gambar 4.11 (a) Penampang patahan pada aluminium 6061 (b) Penampang patahan pada *stainless steel* (c) Hasil patahan tampak samping

Pada pengamatan gambar 4.10 daerah a dan b mengalami patah getas. Hal ini disebabkan karena saat pengelasan kecepatan putar mesin *friction* kurang tinggi sehingga pemanasan yang diperlukan kurang optimal. Pada

gambar (c) adalah hasil patahan tampak samping. Pada hasil patahan tampak samping hasil patahan juga terlihat getas tidak ada logam yang menempel pada penampang patahan atau terjadinya bonding.

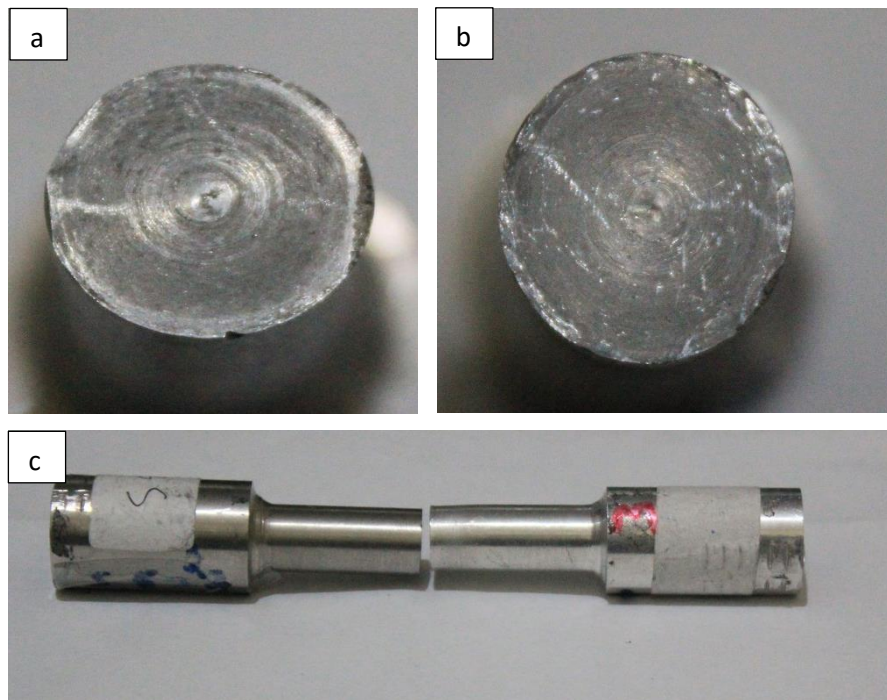
2. Hasil pengamatan patahan pada waktu gesek 1 detik



Gambar 4.11 (a) Hasil patahan AL 6061 T6 (b) Hasil patahan SS 304 tampak depan (c) Hasil patahan uji tarik tampak samping

Pada pengamatan hasil patahan uji tarik pada gambar 4.11, pada penampang patahan terjadi patah getas. Tidak ada material yang menempel pada penampang tersebut dikarenakan kurangnya waktu penggesekan dan putaran mesin yang kurang tinggi menyebabkan pemanasan yang terjadi kurang optimal.

3. Hasil pengamatan patahan dengan waktu gesek 3 detik



Gambar 4.12 (a) Hasil patahan AL 6061 T6 (b) Hasil patahan SS 304 tampak depan (c) Hasil patahan uji tarik tampak samping

Pada hasil pengamatan penampang patahan gambar 4.12 dapat dilihat bahwa hasil patahannya getas, tetapi terjadi penurunan kekuatan tarik pada waktu gesek 3 detik. Hal itu bisa diamati pada grafik perbandingan kekuatan tarik dengan waktu gesek pada gambar 4.9. Ada faktor yang tidak diketahui yang menyebabkan kekuatan tarik pada waktu gesek 3 detik menurun.