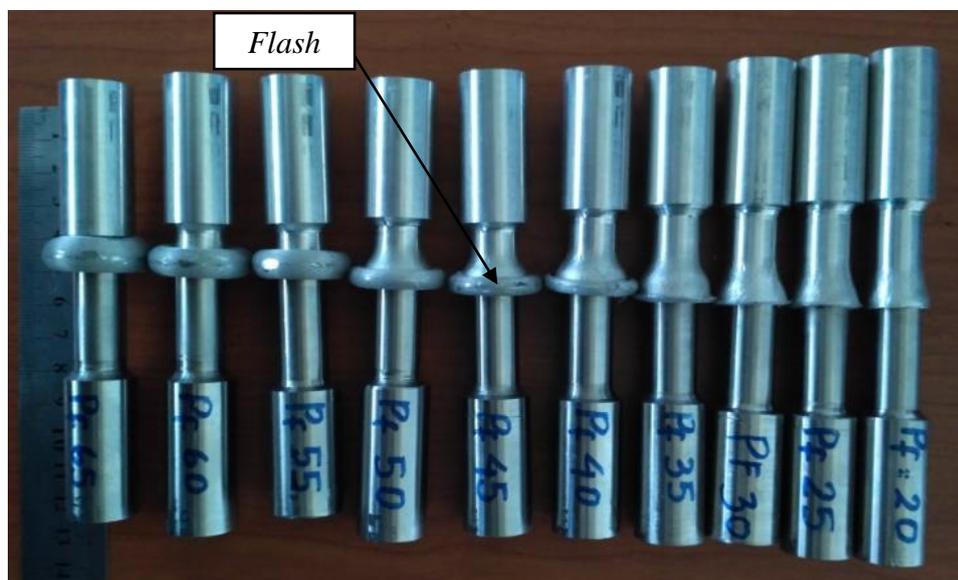


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengamatan, pengukuran serta pengujian terhadap masing-masing benda uji, didapatkan data-data seperti yang akan ditampilkan pada bab ini beserta dengan pembahasannya.

4.1 Hasil Penyambungan Aluminium 6061 T6 dan *Stainless steel* 304 dengan Metode CDFW



Gambar 4.1 Hasil Sambungan

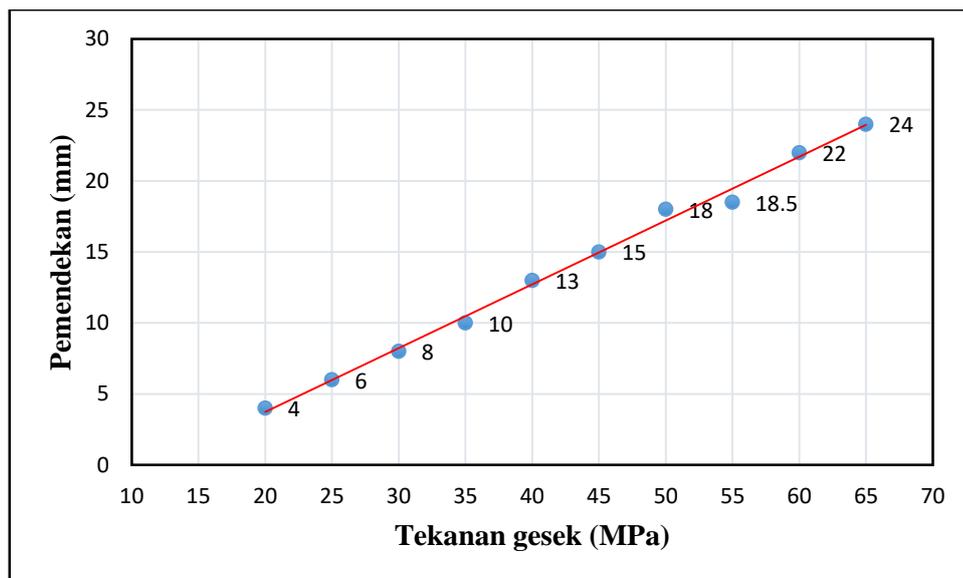
Gambar 4.1 merupakan hasil dari penyambungan antara aluminium 6061 T6 dengan *stainless steel* 304 menggunakan metode *continuous drive friction welding*. Penyambungan tersebut dilakukan dengan parameter tekanan gesek yang bervariasi. Tekanan gesek yang digunakan yaitu 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa, 45 MPa, 50 MPa, 55 MPa, 60 MPa, dan 65 MPa. Hasil penyambungan menunjukkan bahwa *flash* hanya terjadi pada material aluminium 6061 T6, hal ini disebabkan karena titik leleh aluminium 6061 T6 (660°C) lebih rendah dibanding titik leleh *stainless steel* 304 (1450°C). Pada gambar 4.1 terlihat jelas bahwa semakin besar tekanan gesek yang digunakan semakin besar pula *flash* yang dihasilkan. *Flash* terjadi karena adanya gaya aksial pada kondisi *thermoplastic* dan gaya sentrifugal secara bersamaan sehingga mengarahkan material *flash* ke

permukaan luar. Besarnya *flash* yang terjadi menyebabkan adanya pemendekan dari hasil penyambungan. Pemendekan hasil sambungan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pemendekan hasil sambungan

No.	Tekanan gesek (Mpa)	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)	Pemendekan (mm)
1	20	60	56	4
2	25	60	54	6
3	30	60	52	8
4	35	60	50	10
5	40	60	47	13
6	45	60	45	15
7	50	60	42	18
8	55	60	41.5	18.5
9	60	60	38	22
10	65	60	34	24

Dari tabel 4.1 dapat dibuat grafik hubungan antara besarnya pemendekan yang terjadi dengan tekanan yang digunakan. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.2.



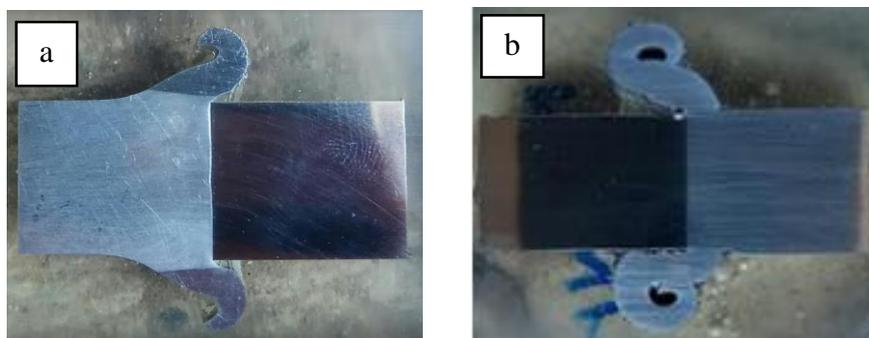
Gambar 4.2 Grafik hubungan tekanan gesek dan pemendekan

Dari grafik 4.2 dapat disimpulkan bahwa besarnya tekanan gesek sangat berpengaruh pada besarnya pemendekan yang terjadi. Semakin besar tekanan gesek yang digunakan, semakin besar pula pemendekan yang terjadi.

4.2 Pengamatan Struktur Mikro

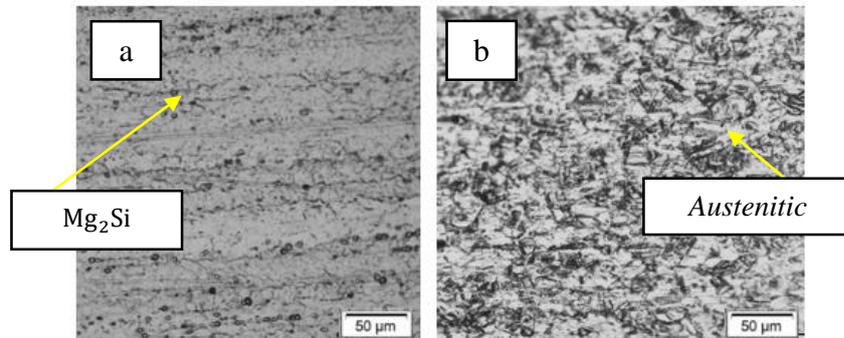
Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini dilakukan pada sambungan dengan tekanan gesek 35 MPa dan 65 MPa. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada hasil sambungan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304. Setelah mengetahui daerah yang terjadi perubahan, dan mengetahui jarak masing-masing dari sambungan, data tersebut digunakan untuk pengujian kekerasan.

Pada tahap persiapan setelah specimen sudah tersambung, specimen dibelah kemudian dipotong dan dicetak dengan resin. Setelah itu permukaan yang akan diuji mikro diampelas, dipoles, dan dilanjutkan dengan pengetsaan pada masing masing material sesuai standar ASTM yang ada. Gambar 4.3 adalah specimen yang digunakan pada pengujian struktur mikro.



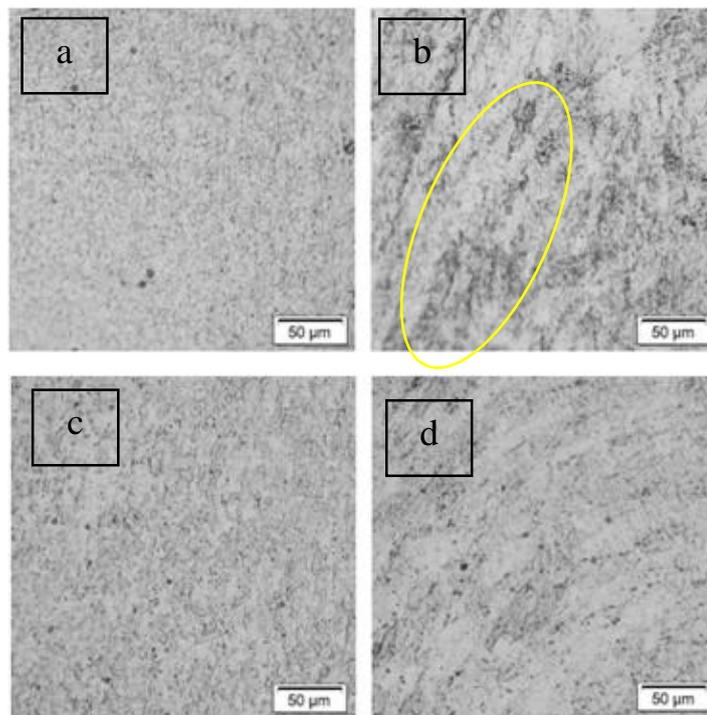
Gambar 4.3 Spesimen pengujian struktur mikro, (a) Spesimen tekanan gesek 35 MPa, (b) Spesimen tekanan gesek 65 MPa.

Setelah dilakukan pengamatan pada masing-masing specimen, daerah yang mengalami perubahan struktur mikro adalah daerah material aluminium 6061 T6, oleh sebab itu pada penelitian ini pengamatan difokuskan pada daerah aluminium 6061 T6. Sedangkan untuk *stainless steel* 304 seperti tidak ada perubahan disetiap daerahnya, struktur mikro dari material ini terlihat seperti logam induknya, yaitu *austenitic* (Gambar 4.4b). Untuk struktur mikro logam induk material aluminium 6061 T6 dapat dilihat pada gambar 4.4a, terdapat paduan Mg_2Si yang terlihat berwarna hitam (tanda panah)



Gambar 4.4 Struktur mikro logam induk (Pembesaran 200x), (a) Aluminium 6061 T6, (b) *Stainless steel* 304

Gambar 4.4 adalah hasil dari pengujian struktur mikro pada daerah Aluminium 6061 T6. Hasil yang ditampilkan adalah daerah yang mengalami rekristalisasi, seperti daerah dekat sambungan, dan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dari masing-masing spesimen.

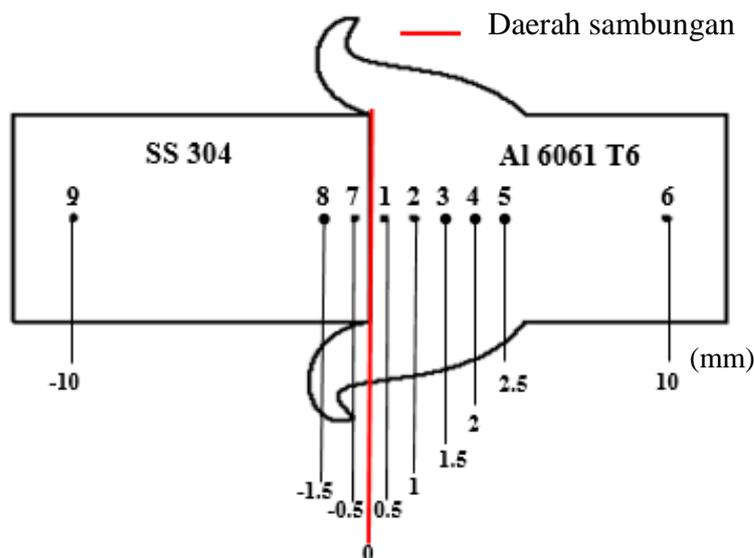


Gambar 4.5 Struktur mikro daerah aluminium 6061 T6 (Pembesaran 100x)
 a) Daerah dekat sambungan spesimen tekanan gesek 65 MPa, b) Daerah HAZ spesimen tekanan gesek 65 MPa, c) Daerah dekat sambungan spesimen tekanan gesek 35 MPa, d) Daerah HAZ spesimen tekanan gesek 65 MPa.

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa terlihat begitu jelas perbedaan struktur mikro dari daerah pengelasan masing-masing spesimen. Daerah dekat sambungan pada spesimen tekanan gesek 65 MPa (Gambar 4.5a) memiliki struktur mikro yang lebih halus dibandingkan daerah dekat sambungan pada spesimen tekanan gesek 35 MPa (Gambar 4.5c). Pada daerah HAZ spesimen tekanan gesek 65 MPa (Gambar 4.5b) terlihat begitu banyak butiran-butiran hitam dan alur struktur yang menurun (garis kuning), berbeda dengan daerah HAZ pada spesimen tekanan gesek 35 MPa (Gambar 4.5d) butiran berwarna hitam tampak terlihat menyebar, dan alur struktur yang terbentuk terlihat melengkung. Perbedaan struktur mikro ini dapat dikatakan pengaruh dari tekanan gesek yang digunakan. Karena tekanan gesek yang digunakan sebanding dengan deformasi yang terjadi.

4.3 Pengujian Kekerasan

Dari pengujian struktur mikro yang telah dilakukan dapat diketahui posisi yang untuk pengujian kekerasan. Posisi pengujian kekerasan dapat dilihat seperti pada Gambar 4.5. Spesimen pengujian kekerasan menggunakan hasil sambungan dengan parameter dengan tekanan gesek 35 MPa dan 65 MPa. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah yang mengalami perubahan struktur mikro.



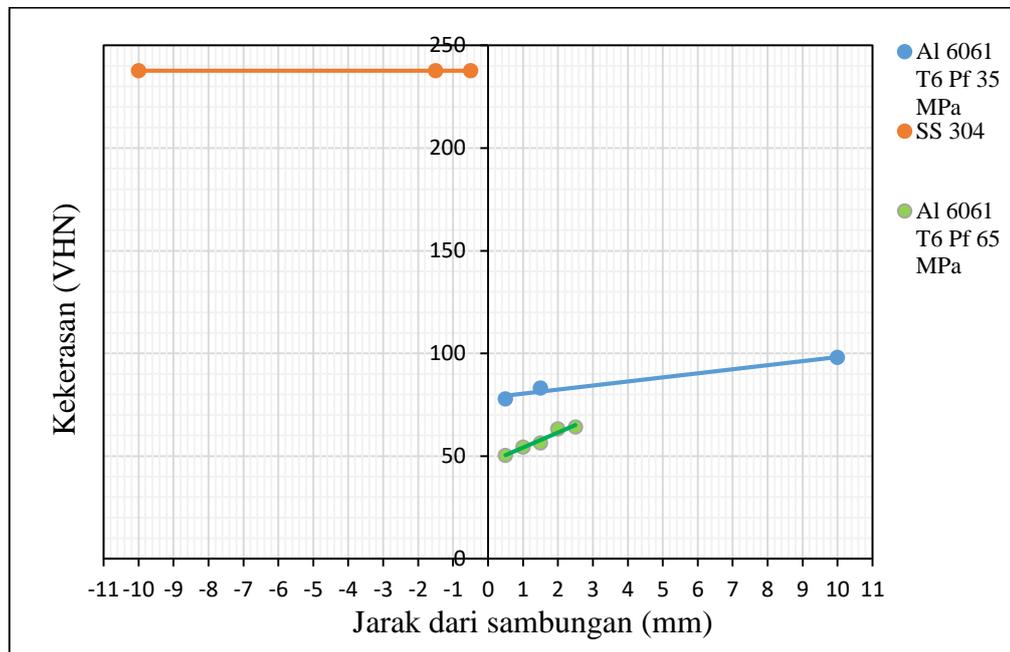
Gambar 4.6 Posisi uji kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode mikro vickers. Pada pengujian nilai kekerasan daerah aluminium, spesimen tekanan gesek 35 MPa hanya dilakukan pada titik 1, 3, dan 10, sedangkan pada spesimen tekanan gesek 65 MPa dilakukan pada semua titik pengujian yaitu titik 1, 2, 3, 4, dan 5. Untuk pengujian *daerah stainless steel 304* hanya dilakukan pada spesimen tekanan gesek 35 MPa pada titik 7, 8, dan 9. Hal ini berkaitan dengan pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan pada masing-masing spesimen, yang menunjukkan bahwa daerah *stainless steel 304* tidak mengalami perubahan struktur mikro pada kedua spesimen tersebut. Sehingga pengujian kekerasan hanya perlu dilakukan pada satu spesimen sebagai data pelengkap.

Setelah dilakukan pengujian kekerasan pada masing-masing spesimen didapat hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.2. Dari data Tabel 4.2 dapat dibuat grafik antara nilai kekerasan dengan jarak pada masing-masing titik (Gambar 4.7).

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan Micro Vickers

Tekanan gesek (MPa)	Jarak dari sambungan (mm)	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	d ₃ (µm)	Kekerasan (VHN)	
35	Al 6061 T6	10	63	60	61.5	98.1
		1.5	66	67.5	66.7	83.2
		0.5	69	69	69	77.9
	SS 304	-0.5	40	39	39.5	237.7
		-1.5	39	40	39.5	237.7
		-10	39	40	39.5	237.7
65	Al 6061 T6	0.5	87.5	84	85.75	50.4
		1	82	83	82.5	54.5
		1.5	82	80	81	56.5
		2	76	77	76.5	63.4
		2.5	75	77	76	64.2
	SS 304	Tidak diujikan				



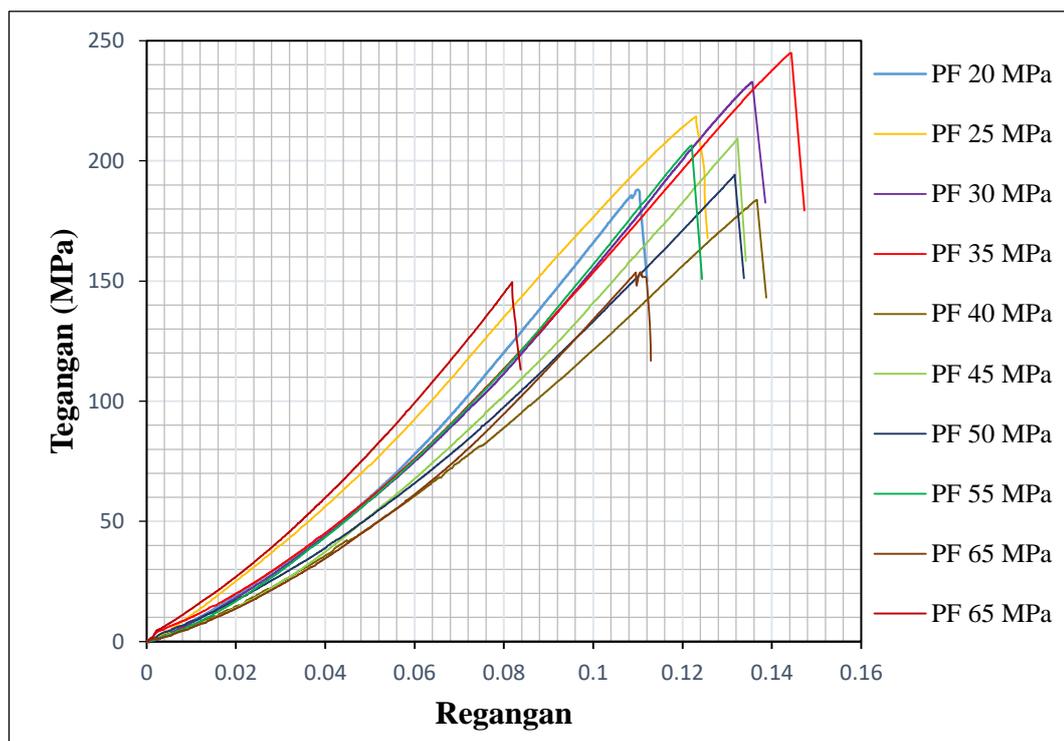
Gambar 4.7 Grafik nilai kekerasan

Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa terjadi perubahan nilai kekerasan pada material aluminium, sedangkan pada material *stainless steel* 304 tidak terjadi perubahan pada setiap titiknya, nilai kekerasan sama dengan logam induknya yaitu 237.7 VHN. Pada daerah aluminium masing-masing spesimen uji nilai kekerasannya bergerak turun seiring dengan semakin dekatnya dengan sambungan. Pada daerah aluminium dengan tekanan gesek 65 MPa lebih terlihat mengalami penurunan nilai kekerasan yang besar, bila dibandingkan dengan daerah aluminium parameter tekanan gesek 35 MPa. Perbedaan tersebut khususnya dapat dilihat pada titik pengujian yang sama yaitu jarak 0.5 mm dan 1.5 mm. Nilai kekerasan spesimen tekanan gesek 65 MPa memiliki nilai kekerasan lebih kecil dibanding nilai kekerasan spesimen tekanan 35 MPa pada masing-masing titiknya. Hal ini menandakan bahwa penggunaan tekanan gesek yang besar semakin menurunkan nilai kekerasan yang didapatkan. Karena tekanan gesek yang besar akan sebanding dengan panas yang dihasilkan. Sedangkan semakin besar panas yang dihasilkan akan mempengaruhi perubahan struktur mikro yang ada. Perubahan struktur mikro inilah yang kemudian menurunkan nilai kekerasan dari hasil sambungan.

4.4 Hasil Uji Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan pada masing-masing spesimen yang sudah tersambung dengan variasi parameter tekanan gesek yang berbeda-beda. Sebelum specimen dilakukan pengujian kekuatan tarik dilakukan proses pemesinan untuk menghilangkan *flash* dan membentuk dimensi yang mengacu pada standar JIS Z 2201.

Setelah dilakukan proses pemesinan dilanjutkan dengan pengujian kekuatan tarik. Pengujian tarik dilakukan secara urut mulai dari tekanan gesek 20 MPa sampai dengan tekanan 65 MPa. Hasil pengujian kekuatan tarik dari masing-masing specimen dapat dilihat pada gambar 4.8 grafik hubungan antara tegangan dan regangan.



Gambar 4.8 Grafik hubungan tegangan dan regangan masing-masing parameter

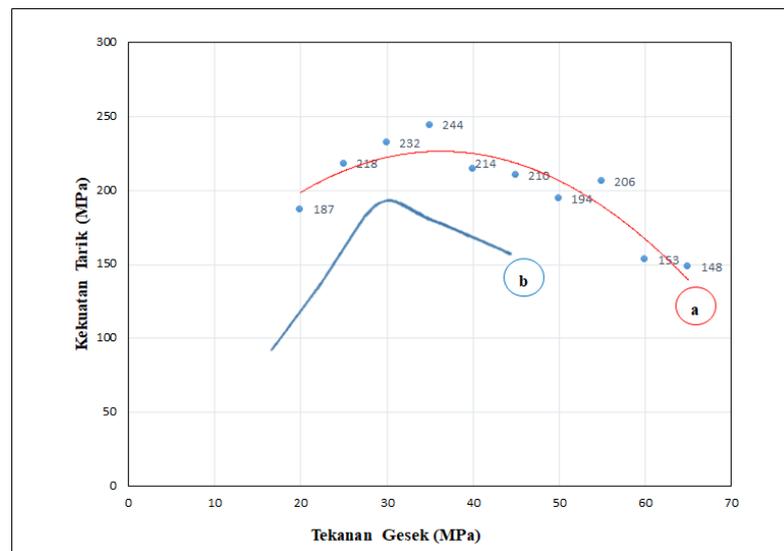
Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa grafik tegangan-regangan dari masing-masing sambungan memiliki karakteristik yang sama. dengan grafik yang tampak seperti pada gambar 4.8 menandakan bahwa patahan bersifat getas. Dari gambar 4.8 dapat digunakan untuk mengetahui tegangan maksimum atau kekuatan tarik

maksimum dihasilkan. Hasil kekuatan tarik maksimum dari masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tarik

No.	Parameter				Kekuatan tarik (MPa)
	Tekanan gesek (MPa)	Waktu gesek (s)	Tekanan <i>upset</i> (MPa)	Waktu <i>upset</i> (s)	
1	20	4	140	5	188
2	25				218
3	30				232
4	35				244
5	40				214
6	45				210
7	50				194
8	55				206
9	60				153
10	65				148

Dari data Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa kekuatan tarik maksimum terjadi pada tekanan gesek 35 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh saat penggunaan tekanan gesek 65 MPa. Dari data Tabel 4.3 juga dapat dibuat grafik hubungan antara parameter tekanan gesek dengan kekuatan tarik yang diperoleh. Dari grafik tersebut dapat diketahui pengaruh dari besarnya tekanan gesek terhadap kekuatan tarik sambungan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 (Gambar 4.9)



Gambar 4.9 Grafik hubungan tekanan gesek dan kekuatan tarik, (a) Hasil penelitian, (b) Hasil penelitian sebelumnya (Sahin, 2009)

Pada gambar 4.9 dapat diketahui bahwa besarnya tekanan gesek yang digunakan memiliki pengaruh terhadap hasil kekuatan tarik yang diperoleh. Pengaruh ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Sahin, 2009). Seperti yang terlihat pada gambar 4.9 menjelaskan bahwa pengaruh tekanan gesek terhadap kekuatan tarik (Gambar 4.9a) pada penelitian ini memiliki karakteristik yang sama dengan pengaruh yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya (Gambar 4.9b). Gambar 4.9 menjelaskan bahwa mula-mula kekuatan tarik bergerak naik seiring bertambahnya tekanan gesek yang digunakan, namun setelah mencapai kekuatan tarik maksimumnya, kekuatan tarik mulai bergerak turun dengan semakin besarnya tekanan gesek yang digunakan. Walaupun memiliki karakteristik yang sama, namun untuk hasil kekuatan tarik maksimumnya memiliki selisih yang cukup tinggi. Hasil kekuatan tarik tertinggi pada penelitian ini adalah 244 MPa (Tekanan gesek 35 MPa), sedangkan pada penelitian sebelumnya (Sahin, 2009) adalah 191 MPa. Perbedaan hasil kekuatan tarik ini dapat dikarenakan oleh pengaruh dari perbedaan parameter yang lainnya, seperti tekanan upset (60 MPa), waktu upset (12 detik), dan kecepatan putarnya (1410 rpm).

Dari hasil sambungan pada penelitian ini terdapat pemendekan yang dipengaruhi oleh tekanan gesek yang digunakan. Sehingga pemendekan dapat pula dihubungkan dengan kekuatan tarik yang sama-sama dipengaruhi oleh tekanan

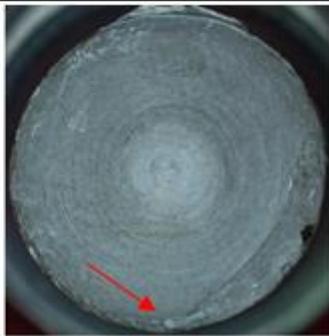
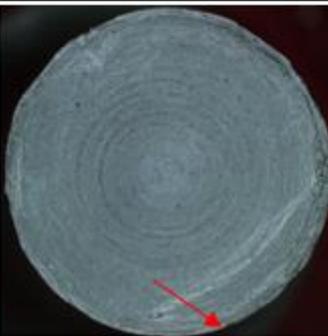
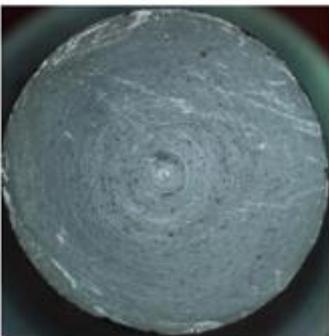
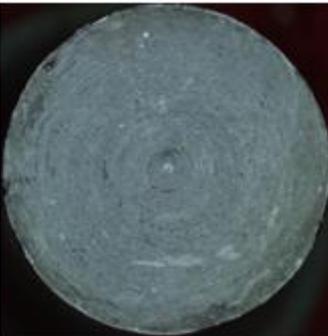
gesek. Hubungan tersebut dapat dikatakan bahwa semakin besar pemedekan yang terjadi ternyata tidak sebanding dengan besarnya kekuatan tarik yang didapatkan.

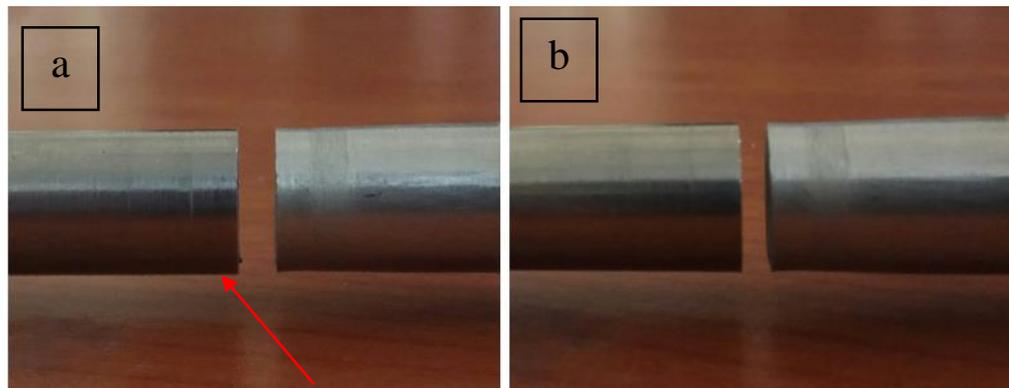
4.4 Fraktografi

Setelah dilakukan pengujian kekutan tarik, patahan dari hasil sambungan dapat diamati. Hal ini bertujuan untuk mengetahui penyebab patahnya sambungan saat pengujian tarik. Dari hasil patahan dapat juga diketahui penyebab tingginya hasil kekuatan tarik diperoleh. Alat yang digunakan untuk mengamati hasil patahan pada penelitian ini yaitu Olympus model SZ-LW61 T6.

Pada pengamatan penelitian ini patahan yang diamati hanya pada hasil patahan dengan kekutan tarik tertinggi dan terendah, yaitu pada penggunaan tekanan gesek 35 MPa dan tekanan gesek 65 MPa. Patahan yang terjadi pada sambungan aluminium 6061 T6 dan *stainless steel* 304 rata-rata terjadi pada titik sambungan dan dari titik sambungan yang terjadi mengarah pada material aluminium 6061 T6. Hasil patahan ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil struktur makro penampang patahan

Tekanan gesek	Material	
	Aluminium 6061-T6	<i>Stainless steel</i> 304
35 MPa		
65 MPa		



Gambar 4.10 Patahan tampak samping (a) Tekanan gesek 35 MPa, (b) Tekanan gesek 65 MPa

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.4, jenis patahan yang terjadi yaitu patah getas. Pada penampang patahan tekanan gesek 65 MPa menunjukkan bahwa aluminium melapisi permukaan *stainless steel*. Namun dikarenakan panas yang terdistribusi tidak merata sehingga aluminium tidak menempel secara menyeluruh pada sisi *stainless steel*. Hal ini didukung dengan gambar 4.10b patahan tampak samping dari spesimen tekanan gesek 65 MPa, bahwa tidak terlihat adanya perubahan yang teramati. Sedangkan pada penampang patahan tekanan gesek 35 MPa (Tabel 4.4) terdapat aluminium yang menempel sebagian (tanda panah) pada penampang *stainless steel*, terlihat juga pada patahan tampak samping (Gambar 4.10a) terlihat adanya sisi yang menonjol pada daerah *stainless steel*.

Dari hasil pengamatan yang dilakukan menunjukkan bahwa penyebab terjadinya patahan pada sambungan dikarenakan hanya satu material yang melapisi material lainnya, yaitu aluminium melapisi *stainless steel*. Hal ini sejalan dengan hasil pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada penelitian ini, yaitu perubahan struktur mikro dan kekerasan hanya terjadi pada daerah aluminium 6061 T6, sedangkan pada *stainless steel* 304 tidak terindikasi adanya perubahan struktur mikro dan kekerasannya.