

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

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

4.1 Hasil Pengelasan Gesek



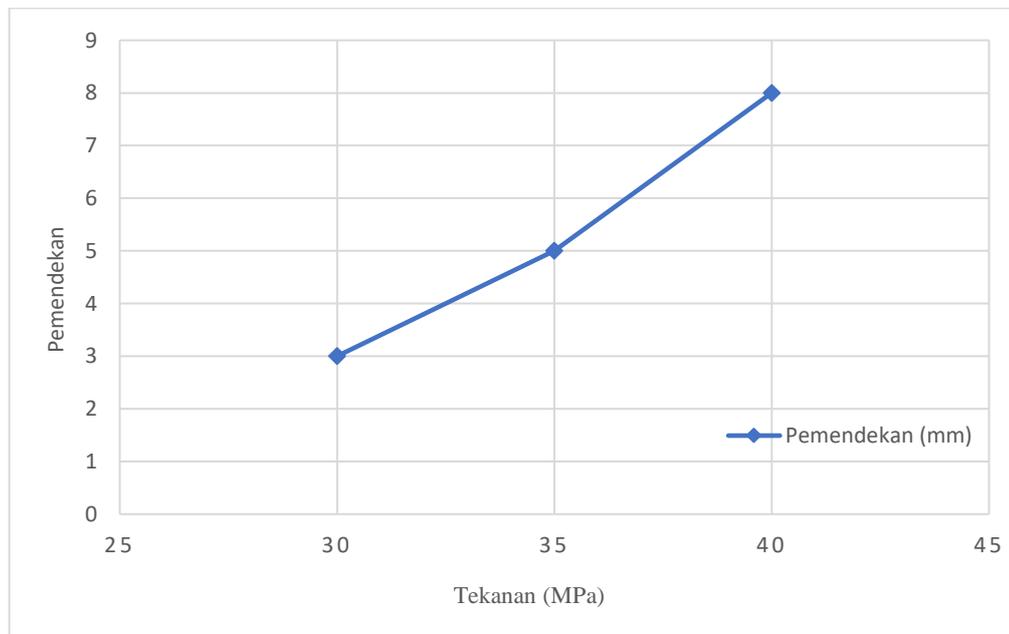
Gambar 4.1 Hasil Pengelasan Gesek (a) 30 MPa, (b) 35 MPa, dan (c) 40 MPa.

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 30 MPa, 35 MPa, dan 40 MPa. Hasil penyambungan menunjukkan bahwa *flash* hanya terjadi pada material aluminium 6061 T6. Pada saat gesek pada aluminium sudah mencapai titik termoplastis sedangkan pada *stainless steel* belum mencapai titik termoplastis. 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 Hasil Pemendekan Pengelasan

No	Tekanan (MPa)	Panjang awal (mm)	Panjang setelah pengelasan (mm)	Pemendekan (mm)
1	30	153	150	3
2	35	153	148	5
3	40	153	145	8

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



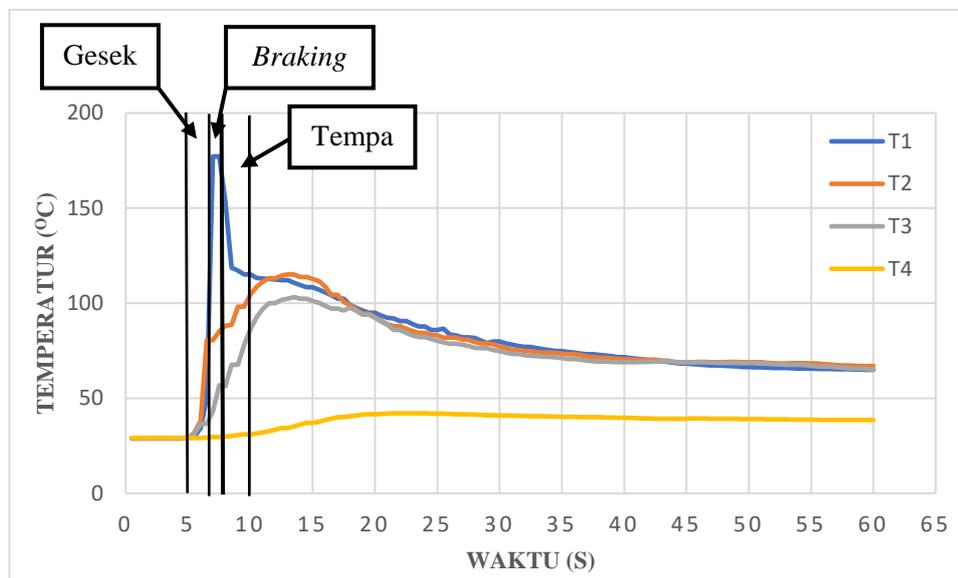
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Tekanan Gesek dan Pemendekan

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 Profil Distribusi Temperatur

Tabel 4.2 Distribusi Temperatur Pada Tekanan Gesek 30 MPa.

No	Titik	Temperatur	Waktu
1.	T1	177,1996°C	2 detik
2.	T2	115,0621°C	8,5 detik
3.	T3	103,2005°C	8,5 detik
4.	T4	42,0987°C	18 detik



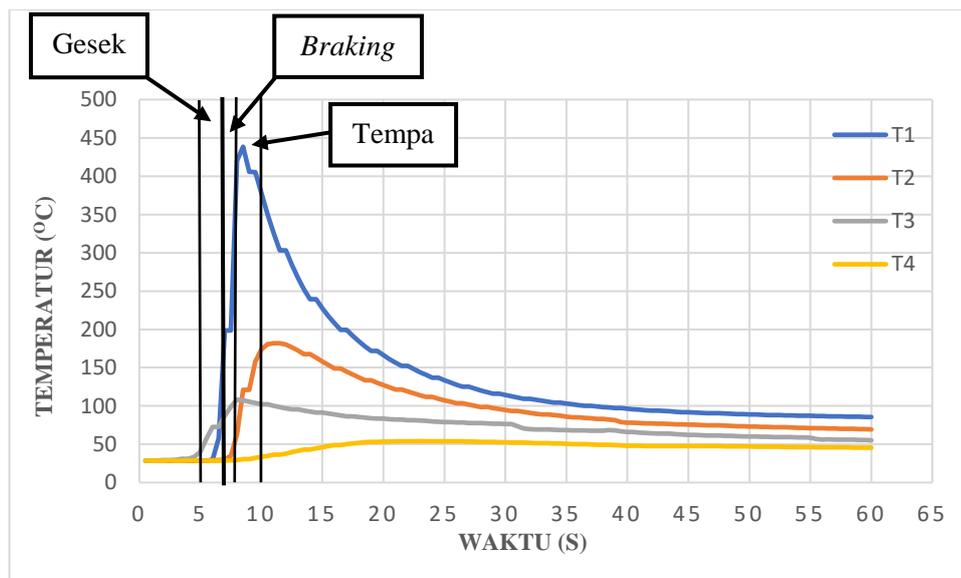
Gambar 4.3 Grafik Distribusi Temperatur Pada Tekanan Gesek 30 MPa

Gambar 4.3 adalah distribusi temperatur pada tekanan gesek 30 MPa, waktu gesek 2 detik, tekanan tempa 50 MPa dan waktu tempa 2 detik, dimana pencapaian distribusi temperatur maksimal pada T1 = 177,1996°C pada waktu 2 detik, T2 = 115,0621°C pada waktu 8,5 detik, T3 = 103,2005°C pada waktu 8,5 detik, dan T4 = 42,0987°C pada waktu 18 detik. Puncak temperatur terjadi pada saat proses pengereman berlangsung. Pada proses penambahan tekanan tempa temperatur mengalami penurunan pada T1 sedangkan pada T2 dan T3 mengalami kenaikan yang cukup tinggi, dan T4 kenaikan temperatur terbilang rendah dikarenakan jaraknya yang paling jauh dari *interface*. Laju pendinginan yang terjadi pada T1

saat proses tempa sangat tinggi dalam waktu 1 detik dan setelahnya laju pendinginan yang terjadi tampak melemah. Untuk T2, T3, dan T4 semakin jauh dari *interface* laju pendinginan yang terjadi semakin rendah.

Tabel 4.3 Distribusi Temperatur Pada Tekanan Gesek 35 MPa.

No	Titik	Temperatur	Waktu
1.	T1	438,3926°C	3,5 detik
2.	T2	181,8647°C	6 detik
3.	T3	108,7267°C	3 detik
4.	T4	54,0976°C	18 detik



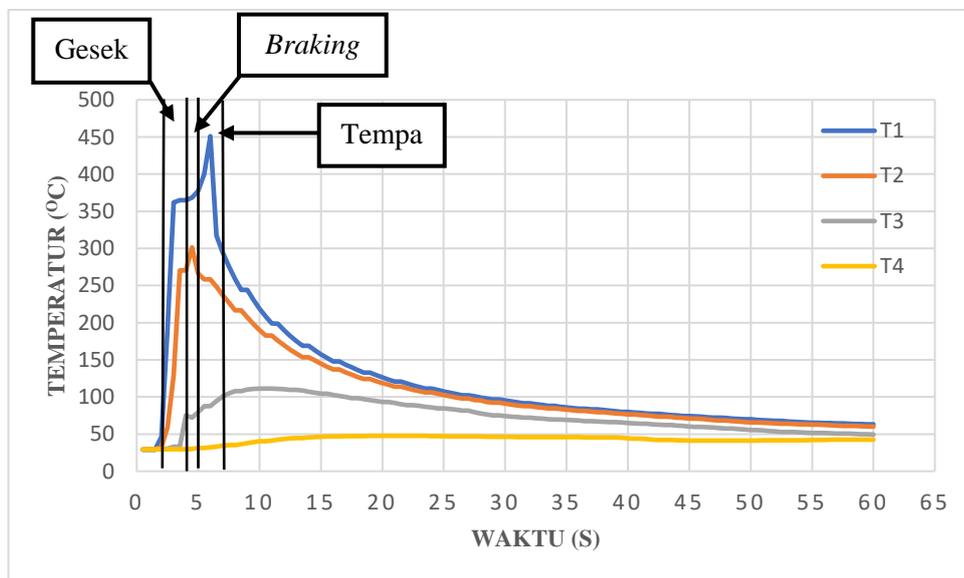
Gambar 4.4 Grafik Distribusi Temperatur Pada Tekanan Gesek 35 MPa

Gambar 4.4 adalah distribusi temperatur pada tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 2 detik, tekanan tempa 50 MPa dan waktu tempa 2 detik, dimana pencapaian distribusi temperatur maksimal pada T1 = 438,3926°C pada waktu 3,5 detik, T2 = 181,8647°C pada waktu 6 detik, T3 = 108,7267°C pada waktu 3 detik, dan T4 = 54,0976°C pada waktu 18 detik. Pada tekanan 35 MPa pencapaian distribusi temperatur yang terjadi memiliki persamaan seperti pada tekanan 30 MPa. Pada

proses pengereman T1 mengalami kenaikan hingga puncaknya, dan mengalami penurunan pada saat penempaan. Pada T2, T3, dan T4 juga mengalami kenaikan dengan temperatur pada T2 lebih tinggi disusul T3 dan T4 dikarenakan jarak T2 sampai T4 dari *interface* semakin jauh dengan selisih jarak 5mm / titik. Laju pendinginan yang terjadi pada T1 dari proses tempa sangat tinggi dalam waktu 12 detik dan setelahnya laju pendinginan yang terjadi tampak melemah. Untuk T2, T3, dan T4 semakin jauh dari *interface* laju pendinginan yang terjadi semakin rendah.

Tabel 4.4 Distribusi Temperatur Pada Tekanan Gesek 40 MPa.

No	Titik	Temperatur	Waktu
1.	T1	451,1175°C	3,5 detik
2.	T2	301,3628°C	2 detik
3.	T3	111,2067°C	7,5 detik
4.	T4	47,6805°C	18,5 detik



Gambar 4.5 Grafik Distribusi Temperatur Pada Tekanan Gesek 40 MPa

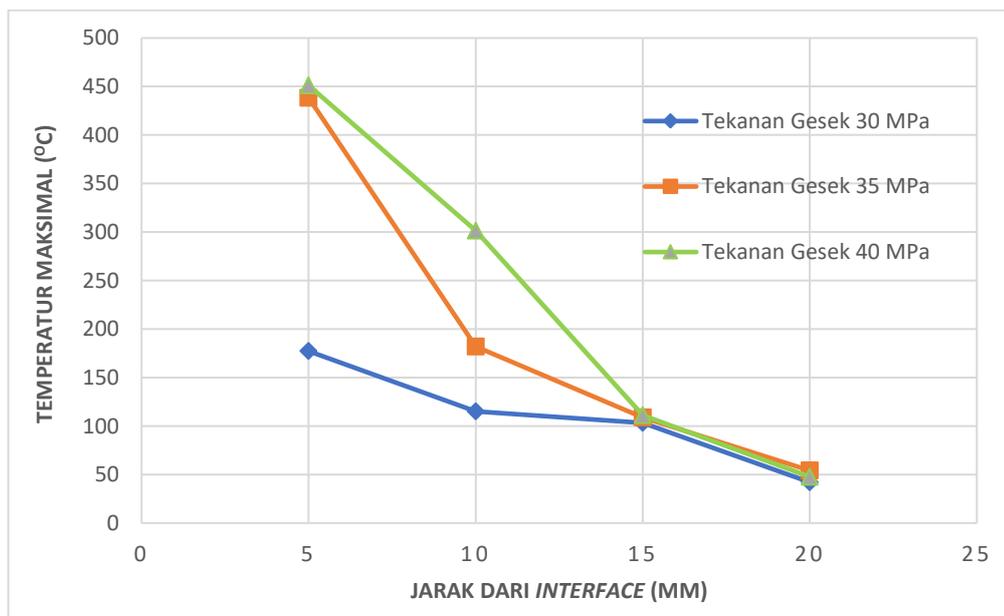
Gambar 4.5 adalah distribusi temperatur pada tekanan gesek 40 MPa, waktu gesek 2 detik, tekanan tempa 50 MPa dan waktu tempa 2 detik, dimana pencapaian

distribusi temperatur maksimal pada T1 = 451,1175°C pada waktu 3,5 detik, T2 = 301,3628°C pada waktu 2 detik, T3 = 111,2067°C pada waktu 7,5 detik, dan T4 = 47,6805°C pada waktu 18,5 detik. Puncak temperatur terjadi pada T1 saat proses penempaan. Disusul T2 yang mengalami kenaikan distribusi temperatur yang tinggi dibawah T1 hal ini disebabkan panas pada *interface* mulai merambat secara aksial menuju T2 dan seterusnya. Pada T3 temperatur yang diperoleh cukup tinggi walaupun tidak signifikan. Dan kenaikan pada T4 sangat rendah dan terbilang landai, dikarenakan T4 berada pada posisi paling belakang dan perambatan panas menuju T4 semakin rendah. Laju pendinginan yang terjadi pada T1 dari proses tempa sangat tinggi dalam waktu 8 detik dan setelahnya laju pendinginan yang terjadi tampak melemah. Untuk T2, T3, dan T4 semakin jauh dari *interface* laju pendinginan yang terjadi semakin rendah.

4.3 Hasil Perbandingan Distribusi Temperatur

Tabel 4.5 Perbandingan Distribusi Temperatur Maksimal.

No.	Titik	Distribusi Temperatur		
		Tekanan Gesek 30 MPa	Tekanan Gesek 35 MPa	Tekanan Gesek 40 MPa
1.	T1	177,1996°C	438,3926°C	451,1175°C
2.	T2	115,0621°C	181,8647°C	301,3628°C
3.	T3	103,2005°C	108,7267°C	111,2067°C
4.	T4	42,0987°C	54,0976°C	47,6805°C



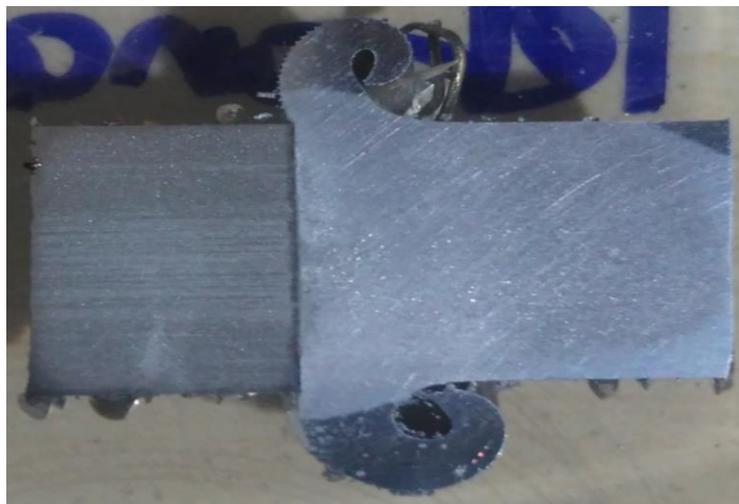
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Maksimal

Gambar 4.6 adalah hasil perbandingan distribusi temperatur maksimal pada tekanan 30, 35 dan 40 MPa, waktu gesek 2 detik, tekanan tempa 50 MPa dan waktu tempa 2 detik, yang menunjukkan bahwa variasi tekanan gesek berpengaruh pada pencapaian distribusi temperatur yang terjadi. Dimana tekanan gesek yang diberikan semakin tinggi maka semakin tinggi pula pencapaian distribusi temperatur yang terjadi. Hasil perbandingan temperatur maksimal membuktikan

bahwa tingginya tekanan gesek berbanding lurus dengan kenaikan temperatur yang terjadi.

4.4 Hasil Struktur Mikro

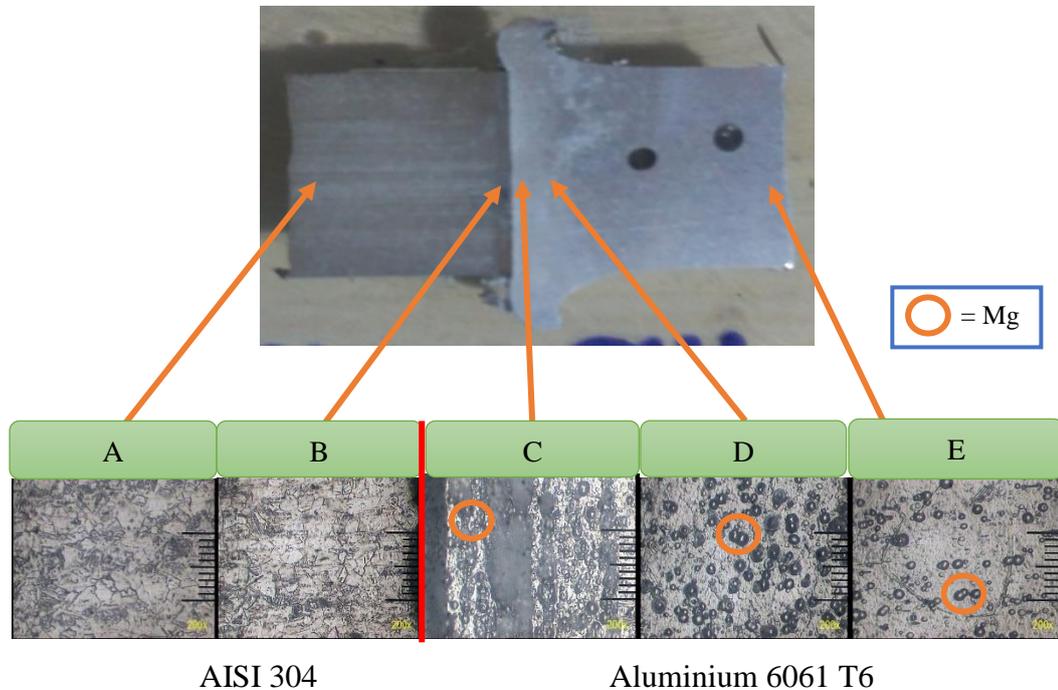
Pemeriksaan mikro adalah pemeriksaan struktur kristal logam dengan menggunakan mikroskop optik. Karena struktur kristal logam sangat kecil maka angka pembesarannya yang diperlukan antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih Nurdiansyah F., dkk, (2012). Dalam penelitian ini pengamatan struktur mikro dilakukan pada beberapa titik untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada material aluminium 6061 T6 dan *stainless steel 304* yaitu pada daerah sambungan las, HAZ (*Heat Affected Zone*) atau zona yang terpengaruh panas dan logam induk. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daerah-daerah yang akan dilakukan uji kekerasan.



Gambar 4.7 Spesimen Uji Mikro

4.4.1 Hasil pengamatan struktur mikro dan makro

1. Hasil sambungan pengelasan gesek variasi tekanan gesek 30 MPa, tekanan *upset* 50 MPa, waktu gesek 2 detik, waktu *upset* 2 detik.

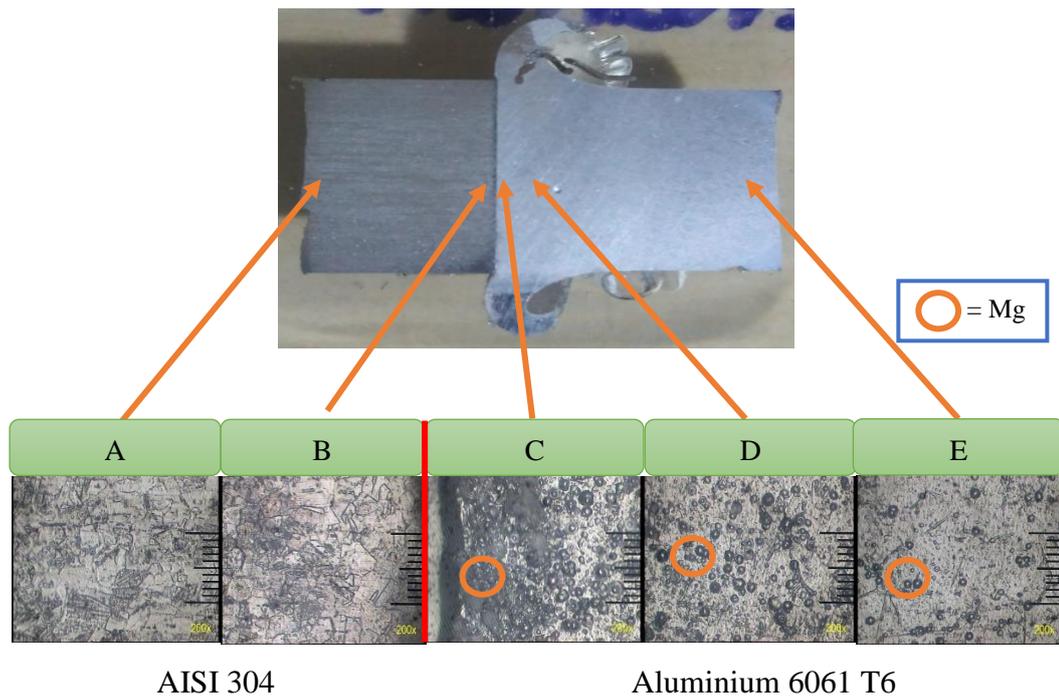


Gambar 4.8 Benda Uji 40 MPa (a) AL 6061 Logam Induk (b) AL 6061 HAZ (c) AL 6061 Sambungan (d) SS 304 Sambungan (e) SS 304 Logam Induk.

Gambar 4.8 Merupakan benda uji dengan variasi tekanan gesek 30 MPa yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Gambar 4.8 (A) adalah logam induk *stainless steel* 304 terlihat butiran besar menumpuk beraturan. Gambar 4.8 (B) merupakan daerah sambungan *stainless steel* 304 yang tidak mengalami perubahan struktur mikro dan sama dengan logam induknya. Dan HAZ pada *stainless steel* tidak teramati. Gambar 4.8 (C) merupakan daerah sambungan aluminium 6061 T6 yang dilakukan pengamatan struktur mikro dan mengalami perubahan struktur mikro paling jelas dimana butiran-butiran Mg saling menempel dan menyatu lebih rapat. Gambar 4.8 (D) pada daerah HAZ aluminium 6061 T6 dilakukan pengamatan struktur mikro dan tampak terlihat dimana butiran-butiran Mg membesar dan saling mendekat satu sama lainnya. Gambar 4.8 (E) adalah daerah logam induk aluminium 6061 T6 yang dilakukan

pengamatan struktur mikro dan terlihat dimana butiran-butiran Mg memiliki jarak yang berjauhan.

2. Hasil sambungan pengelasan gesek variasi tekanan gesek 35 MPa, tekanan *upset* 50 MPa, waktu gesek 2 detik, waktu *upset* 2 detik.

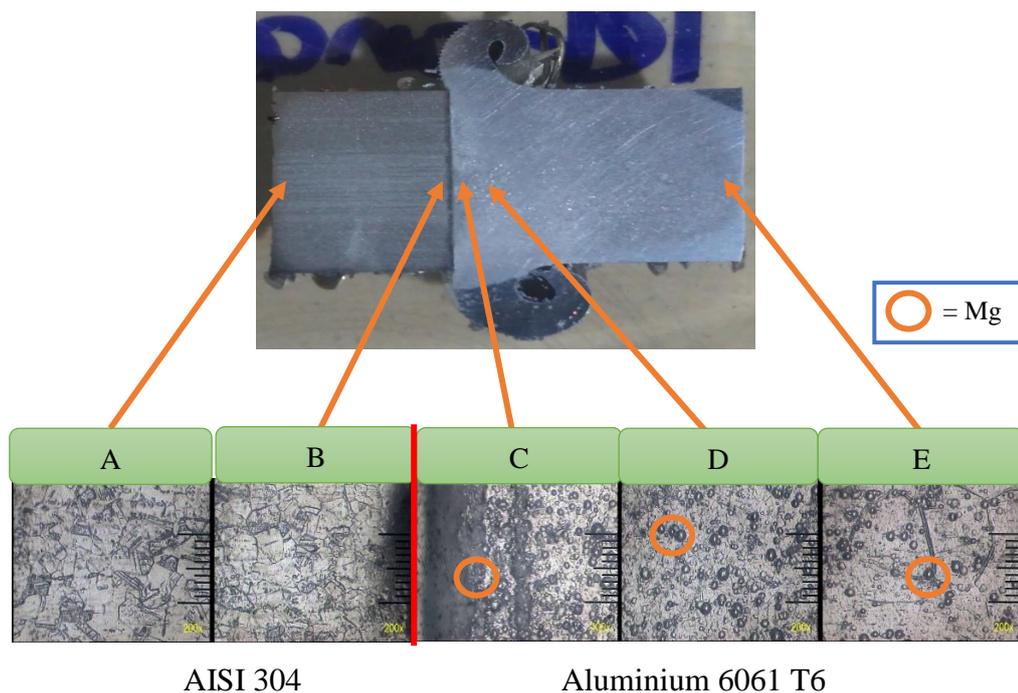


Gambar 4.9 Benda Uji 35 MPa (a) AL 6061 Logam Induk (b) AL 6061 HAZ (c) AL 6061 Sambungan (d) SS 304 Sambungan (e) SS 304 Logam Induk.

Gambar 4.9 Merupakan benda uji dengan variasi tekanan gesek 35 MPa yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro. Gambar 4.9 (A) adalah logam induk *stainless steel* 304 terlihat butiran besar menumpuk beraturan. Gambar 4.9 (B) merupakan daerah sambungan *stainless steel* 304 yang tidak mengalami perubahan struktur mikro dan sama dengan logam induknya. Dan HAZ pada *stainless steel* tidak teramati. Gambar 4.9 (C) merupakan daerah sambungan aluminium 6061 T6 yang mengalami perubahan struktur mikro paling jelas dimana butiran-butiran Mg saling menempel dan menyatu lebih rapat. Gambar 4.9 (D) pada daerah HAZ aluminium 6061 T6 terlihat butiran-butiran Mg membesar dan saling

mendekati satu sama lainnya. Gambar 4.9 (E) adalah daerah logam induk aluminium 6061 T6 dimana butiran-butiran Mg memiliki jarak yang berjauhan.

3. Hasil sambungan pengelasan gesek variasi tekanan gesek 40 MPa, tekanan *upset* 50 MPa, waktu gesek 2 detik, waktu *upset* 2 detik.



Gambar 4.10 Benda Uji 40 MPa (A) AL 6061 Best Metal (B) AL 6061 HAZ (C) AL 6061 Sambungan (D) SS 304 Sambungan (E) SS 304 Best Metal.

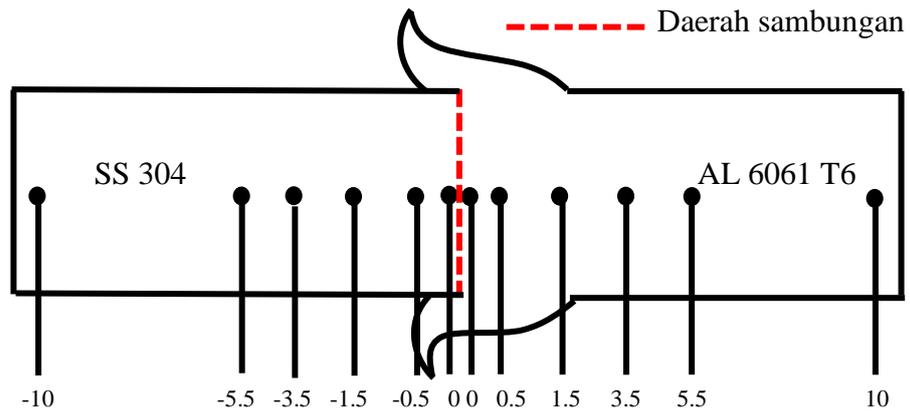
Gambar 4.10 Merupakan benda uji dengan variasi tekanan gesek 40 MPa yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro. Gambar 4.10 (A) adalah logam induk *stainless steel* 304 terlihat butiran besar menumpuk beraturan yang sama dengan variasi yang lain. Gambar 4.10 (B) merupakan daerah sambungan *stainless steel* 304 yang tidak mengalami perubahan struktur mikro dan sama dengan logam induknya. Untuk bagian HAZ pada *stainless steel* tidak teramati. Gambar 4.10 (C) merupakan daerah sambungan aluminium 6061 T6 yang mengalami perubahan struktur mikro paling jelas dimana butiran-butiran Mg saling menempel dan menyatu lebih rapat. Gambar 4.10 (D) pada daerah HAZ aluminium 6061 T6

tampak terlihat dimana butiran-butiran Mg membesar dan saling mendekat satu sama lainnya. Gambar 4.10 (E) adalah daerah logam induk aluminium 6061 T6 yang dimana butiran-butiran Mg memiliki jarak yang berjauhan.

Dari keseluruhan hasil pengujian struktur mikro dapat diamati bahwa tekanan gesek dan hasil distribusi temperatur berpengaruh pada hasil struktur mikro. Semakin tinggi tekanan gesek dan distribusi temperatur yang di dapat maka butiran Mg akan semakin besar dan rapat. Nurdiansyah, dkk, (2012) mengatakan bahwa butiran-butiran pada daerah HAZ mengalami perubahan bentuk dari yang semula pipih dan panjang pada daerah *base metal*, menjadi bentuk oval dan hampir bulat. Bentuk butiran pada daerah *weld metal* lebih besar dari pada ukuran butiran pada daerah HAZ dan *base metal* hal ini dikarenakan pada daerah *weld metal* menerima *heat input* yang lebih besar dari pada daerah HAZ dan *base metal*.

4.6 Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengamatan terhadap struktur mikro, diketahui letak daerah sambungan, panjang HAZ dan logam induk. Barulah menentukan titik yang akan dilakukan pengujian kekerasan.

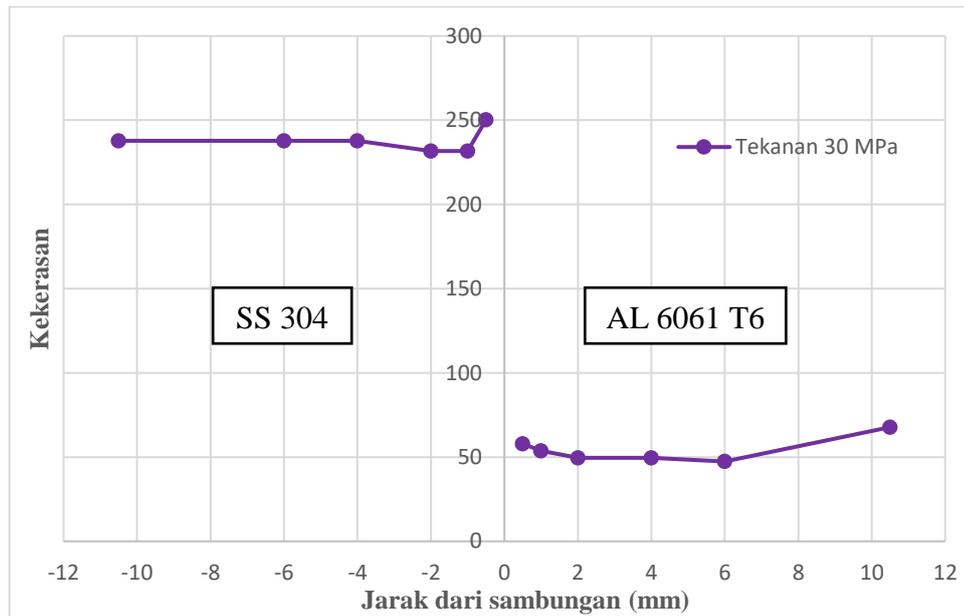


Gambar 4.11 Titik Pengujian Kekerasan

Gambar 4.11 merupakan penentuan 12 titik dalam pengujian kekerasan. Dalam penentuan titik nilai kekerasan ini dimulai dari ukuran 0 atau pada tengah hasil penyambungan kearah kanan 0, 0.5, 1.5, 3.5, 5.5, 10 kemudian pada arah kekiri 0, -0.5, -1.5, -3.5, -5.5, -10.

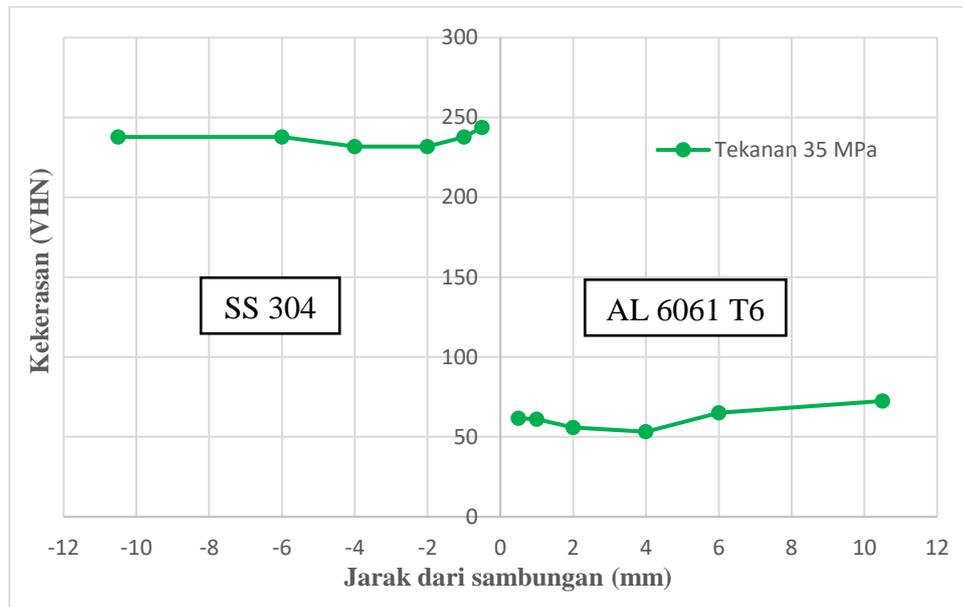
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kekerasan

No	Variasi	Jarak dari sambungan	d_1 (μm)	d_2 (μm)	$d_{rata-rata}$ (μm)	Kekerasan (VHN)			
1.	Tekanan Gesek 30 MPa	Al 6061 T6	10.0 mm	75.0	73.0	74.00	67.7		
			5.5 mm	90.0	87.0	88.50	47.4		
			3.5 mm	87.0	86.0	86.50	49.6		
			1.5 mm	87.0	86.0	86.50	49.6		
			0.5 mm	84.0	82.0	83.00	53.8		
			0.0 mm	80.0	80.0	80.00	58.0		
		SS 304	0.0 mm	39.0	38.0	38.50	250.2		
			0.5 mm	39.0	39.0	39.00	231.8		
			1.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8		
			3.5 mm	39.0	40.0	39.50	237.7		
			5.5 mm	39.0	40.0	39.50	237.7		
			10.0 mm	39.0	40.0	39.50	237.7		
		2.	Tekanan Gesek 35 MPa	Al 6061 T6	10.0 mm	72.0	71.0	71.50	72.5
					5.5 mm	67.0	84.0	75.50	65.1
3.5 mm	85.0				82.0	83.50	53.2		
1.5 mm	83.0				80.0	81.50	55.8		
0.5 mm	81.0				75.0	78.00	61.0		
0.0 mm	80.0				75.0	77.50	61.7		
SS 304	0.0 mm			39.0	39.0	39.00	243.8		
	0.5 mm			39.0	40.0	39.50	237.7		
	1.5 mm			40.0	40.0	40.00	231.8		
	3.5 mm			40.0	40.0	40.00	231.8		
	5.5 mm			40.0	39.0	39.50	237.7		
	10.0 mm			40.0	39.0	39.50	237.7		
3.	Tekanan Gesek 40 MPa			Al 6061 T6	10.0 mm	71.0	71.0	71.00	73.6
					5.5 mm	88.0	88.0	88.00	47.9
		3.5 mm	88.0		84.0	86.00	50.1		
		1.5 mm	86.0		86.0	86.00	50.1		
		0.5 mm	79.0		80.0	79.50	58.7		
		0.0 mm	77.0		76.0	76.50	63.4		
		SS 304	0.0 mm	40.0	40.0	40.00	231.8		
			0.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8		
			1.5 mm	39.0	39.0	39.00	243.8		
			3.5 mm	40.0	39.0	39.50	237.7		
			5.5 mm	39.0	39.0	39.00	243.8		
			10.0 mm	40.0	40.0	40.00	231.8		



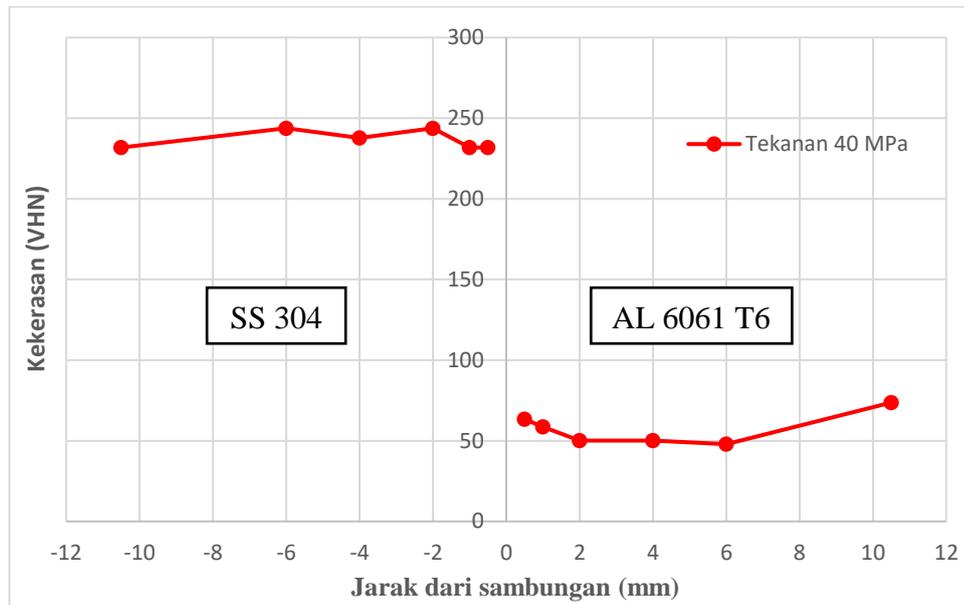
Gambar 4.12 Grafik Distribusi Kekerasan Tekanan 30 MPa

Pada pengamatan grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada variasi tekanan gesek 30 MPa nilai kekerasan yang terdapat pada sambungan aluminium 58.0 VHN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada HAZ 49.6 VHN. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada logam induk 67.7 VHN. Sedangkan pada *stainless steel* nilai kekerasan pada sambungan 250.2 VHN. Dan pada titik berikutnya sampai titik 10 mm hanya mengalami sedikit perubahan nilai kekerasan dengan logam induknya, maka diasumsikan nilai kekerasannya sama dengan logam induknya yaitu 237.7 VHN.



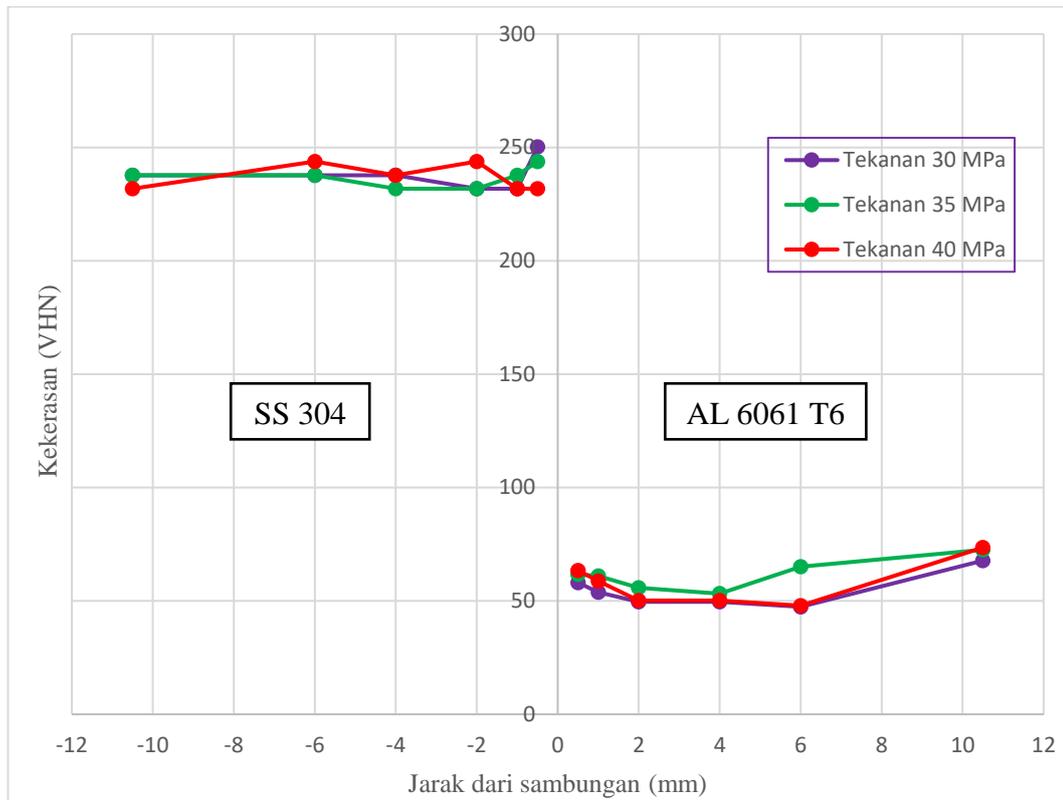
Gambar 4.13 Grafik Distribusi Kekerasan Tekanan 35 MPa

Pada pengamatan grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada variasi tekanan gesek 35 MPa nilai kekerasan yang terdapat pada sambungan aluminium 61.7 VHN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada HAZ 55.8 VHN. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada logam induk 72.5 VHN. Sedangkan pada *stainless steel* nilai kekerasan pada sambungan 243.8 VHN. Dan pada titik berikutnya sampai titik 10 mm hanya mengalami sedikit perubahan nilai kekerasan dengan logam induknya, maka diasumsikan nilai kekerasannya sama dengan logam induknya yaitu 237.7 VHN.



Gambar 4.14 Grafik Distribusi Kekerasan Tekanan 40 MPa

Pada pengamatan grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada variasi tekanan gesek 40 MPa nilai kekerasan yang terdapat pada sambungan aluminium 63.4 VHN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada HAZ 50.1 VHN. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada logam induk 73.6 VHN. Sedangkan pada *stainless steel* nilai kekerasan pada sambungan 231.8 VHN. Dan pada titik berikutnya sampai titik 10 mm hanya mengalami sedikit perubahan nilai kekerasan dengan logam induknya, maka diasumsikan nilai kekerasannya sama dengan logam induknya yaitu 231.8 VHN.



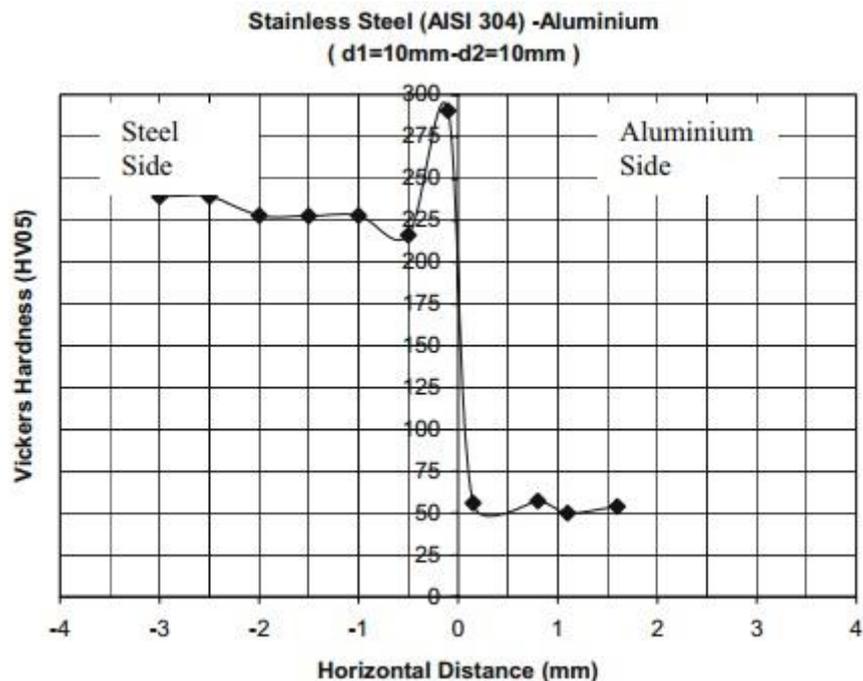
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Distribusi Kekerasan

Dari ketiga grafik diatas dapat dijelaskan bahwa hasil variasi tekanan gesek 30 MPa dengan nilai kekerasan pada sambungan sebesar 67.7 VHN, 35 MPa dengan nilai kekerasan pada sambungan sebesar 72.5 VHN dan 40 MPa dengan nilai kekerasan pada sambungan sebesar 73.6 VHN. Untuk nilai kekerasan terendah pada logam aluminium terjadi pada bagian HAZ. Pada bagian HAZ AL 6061 mengalami pelunakan logam yang disebabkan karena panas pengelasan yang timbul. Dan Nurdiansyah, dkk, (2012) mengatakan bahwa ukuran butiran Mg yang semakin besar menyebabkan tingkat kekerasan menurun. Sedangkan pada *stainless steel* hasil nilai kekerasan yang terlihat pada Tabel 4.6 pada tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang didapat diasumsikan sama dengan nilai kekerasan logam induknya.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa parameter pengelasan gesek dengan didukung hasil distribusi temperatur dan struktur mikro membuktikan bahwa tekanan gesek 35 MPa memiliki nilai kekerasan yang paling baik dibandingkan

dengan tekanan 30 dan 40 MPa. Data di atas menunjukkan bahwa tekanan gesek tidak berbanding lurus dengan hasil kekerasan yang didapat. Kekerasan terbaik didapat dari tekanan gesek yang tidak terlalu tinggi dan distribusi temperatur yang tidak berlebihan.

Hasil Penelitian Sahin, (2009), dalam hasil penelitian kekerasannya memiliki kemiripan dengan penelitian ini dan untuk hasil kekerasan memiliki selisih yang tidak banyak. Pada daerah aluminium, rata-rata memiliki nilai kekerasan 50-60 VHN. 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 penelitiannya digunakan parameter optimal pada variasi tekanan gesek 30 MPa, tekanan *upset* 60 MPa dan waktu gesek 4 detik. Sedangkan waktu *upset* 12 detik dan kecepatan putar 1410 Rpm.



Gambar 4.16 Distribusi Kekerasan (Sahin, 2009)