

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Proses Pengambilan Data**

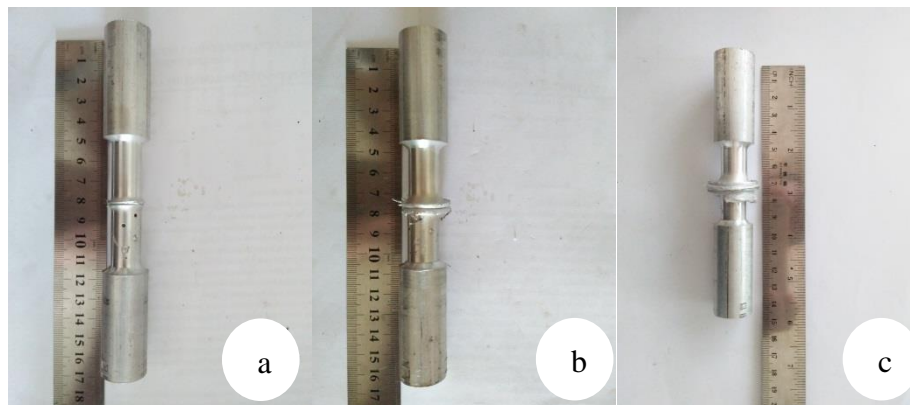
Sebelum proses pengelasan dilakukan, harus terlebih dahulu dilakukan penyetingan tekanan pada katup hidrolik mesin friction welding menggunakan load cell. Ketika proses pengelasan berlangsung dilakukan pengukuran temperatur menggunakan termokopel. Gambar 4.1 menunjukkan termokopel yang terpasang pada spesimen yang diam. Data yang diperoleh merupakan distribusi temperatur yang dihasilkan dari proses pengelasan gesek sama jenis Aluminium 6061 T6. Ketiga buah spesimen yang telah dilas selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro dan kekerasan dengan perbedaan variasi waktu gesek pada ketiga spesimen tersebut.



Gambar 4.1 Pemasangan termokopel pada spesimen yang diam yaitu Aluminium 6061 T6

#### **4.2. Hasil Pengelasan Gesek Aluminium 6061 T6**

Hasil proses pengelasan gesek Aluminium Alloy 6061 T6 setelah dilakukan proses penyambungan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



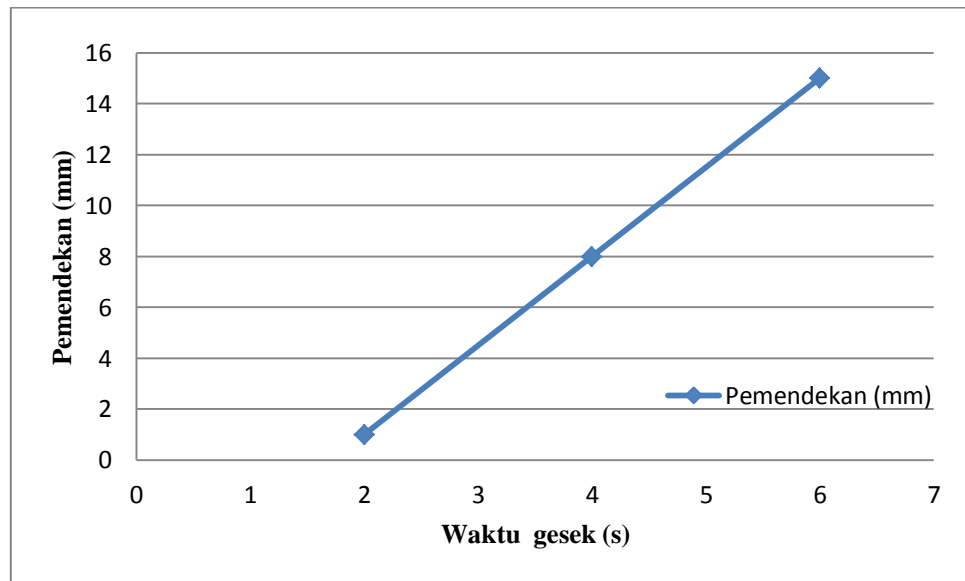
Gambar 4.2 Hasil pengelasan gesek (a) Variasi waktu gesek 2 detik, (b) Variasi waktu gesek 4 detik, (c) Variasi waktu gesek 6 detik.

Gambar 4.2 adalah hasil dari pengelasan gesek aluminium 6061 dengan metode CDFW. Gambar 4.2 (a) merupakan hasil pengelasan gesek dengan variasi waktu gesek 2 detik dan memiliki *flash* yang relatif kecil. Gambar 4.2 (b) merupakan hasil pengelasan gesek dengan variasi waktu gesek 4 detik dan memiliki *flash* yang cukup besar. Gambar 4.2 (c) merupakan hasil pengelasan gesek dengan variasi waktu gesek 6 detik dan memiliki *flash* yang besar. Tekanan gesek yang digunakan konstan yaitu 30 Mpa, tekanan tempa 70 Mpa dan waktu tempa 2 detik. Hasil dari pengelasan gesek membentuk *flash* pada material yang berputar dan diam. Kondisi ini menunjukkan bahwa kedua spesimen tersebut sama – sama mencapai keadaan *thermoplastic*. Sebelum dilakukan pengelasan spesimen diukur untuk mengetahui panjang awal dan kembali diukur setelah dilakukan pengelasan untuk mengetahui panjang akhir. Hasil pemendekan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pemendekan pengelasan gesek aluminium 6061 T6

No.	Waktu gesek (detik)	Panjang awal (mm)	Panjang setelah pengelasan (mm)	Pemendekan (mm)
1.	2	160	159	1
2.	4	160	152	8
3.	6	160	145	15

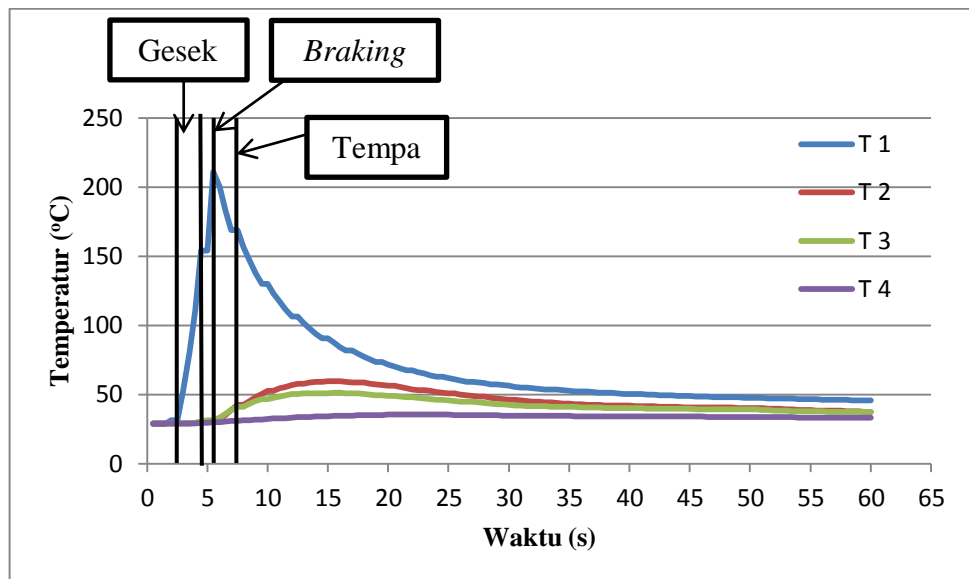
Dari tabel 4.1 dibuat grafik hubungan antara waktu gesek dan pemendekan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara waktu gesek dan pemendekan

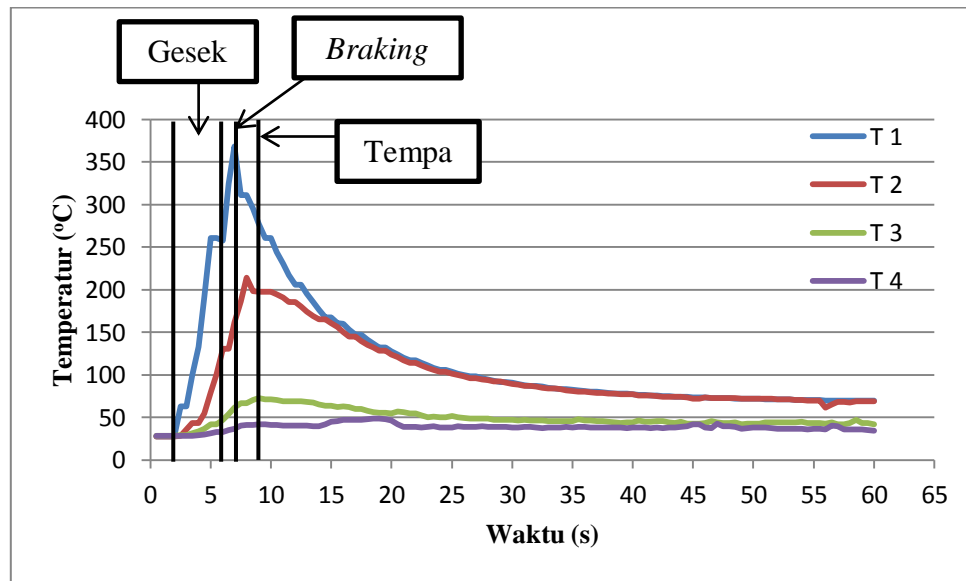
Dari Gambar 4.3 menunjukkan bahwa waktu gesek yang diberikan sangat mempengaruhi hasil pemendekan. Semakin lama waktu gesek yang diberikan maka semakin besar juga nilai pemendekan yang terjadi. Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki sifat lunak tidak seperti baja, jadi pada proses pengelasan gesek tidak membutuhkan waktu yang lama untuk tersambung. HAZ yang terbentuk pada variasi waktu gesek 2 detik diperkirakan kecil, hal ini terlihat *flash* yang terjadi juga relatif kecil. Pemendekan yang terjadi pada variasi waktu gesek 4 detik menyebabkan *flash* yang terbentuk cukup besar. HAZ yang terbentuk juga diperkirakan relatif panjang dan ada sebagian daerah HAZ yang terbuang menjadi *flash*. Besarnya pemendekan yang terjadi pada variasi waktu gesek 6 detik menyebabkan *flash* yang terbentuk besar. HAZ yang terbentuk di perkirakan panjang tetapi banyak daerah HAZ terbuang menjadi *flash*.

### 4.3. Profil Distribusi Temperatur



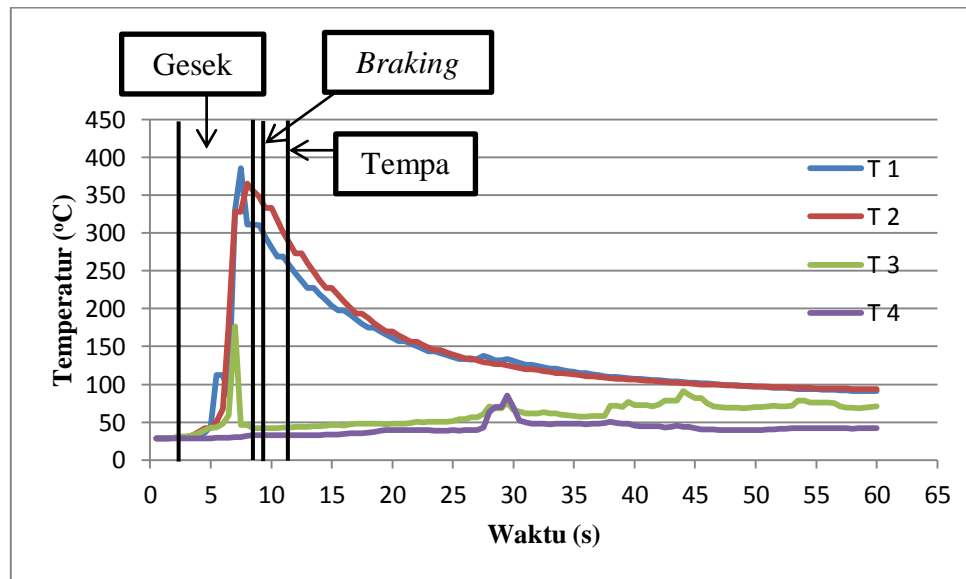
Gambar 4.4 Grafik distribusi temperatur dengan variasi waktu gesek 2 detik

Gambar 4.4 menunjukkan hasil distribusi temperatur dengan parameter tekanan gesek 30 MPa waktu gesek 2 detik tekanan tempa 70 MPa dan waktu tempa 2 detik, dimana distribusi temperatur maksimal sebesar: T1 = 210,9649°C, T2 = 59,35°C, T3 = 51,1568°C dan T4 = 35,4898°C. Puncak temperatur T1 terjadi pada proses pengereman. Penambahan tekanan tempa yang terlalu cepat ketika proses pengereman masih berlangsung menyebabkan kenaikan temperatur pada T1. Kenaikan temperatur pada T2, T3 dan T4 terbilang minim. Daerah HAZ yang terbentuk pada variasi waktu gesek 2 detik diperkirakan hanya sepanjang T1, hal ini dikarenakan waktu gesek yang sangat singkat menyebabkan rendahnya kenaikan temperatur yang terjadi.



Gambar 4.5 Grafik distribusi temperatur dengan variasi waktu gesek 4 detik

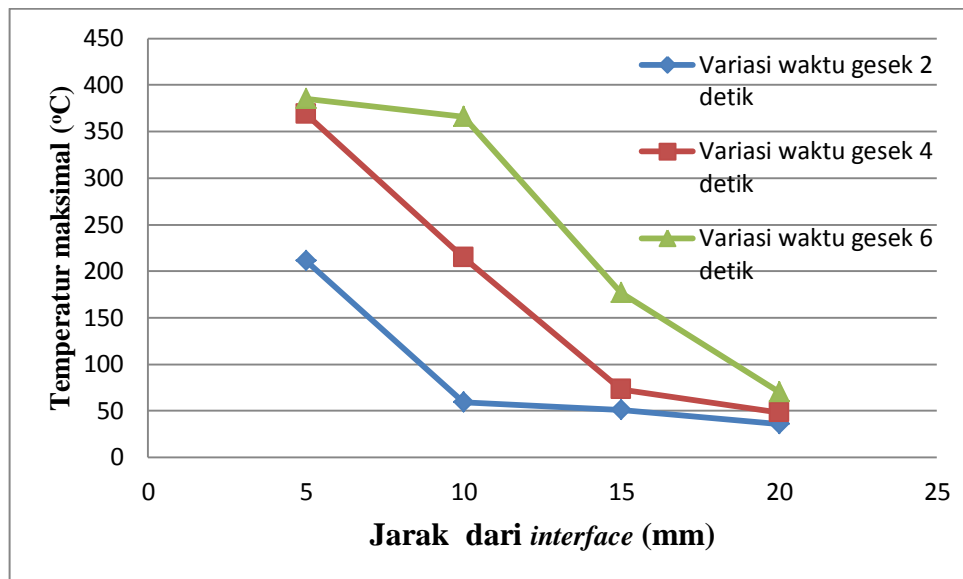
Gambar 4.5 menunjukkan hasil distribusi temperatur dengan parameter tekanan gesek 30 MPa, waktu gesek 4 detik, tekanan tempa 70 MPa dan waktu tempa 2 detik. Hasil pengelasan gesek menunjukkan distribusi temperatur sebesar:  $T1 = 368,4893^{\circ}\text{C}$ ,  $T2 = 214,4807^{\circ}\text{C}$ ,  $T3 = 72,7946^{\circ}\text{C}$  dan  $T4 = 48,4053^{\circ}\text{C}$ . Profil distribusi temperatur yang terjadi pada variasi waktu gesek 4 detik memiliki persamaan seperti variasi waktu gesek 2 detik. Puncak temperatur T1 terjadi pada proses pengereman. Penambahan tekanan tempa yang terlalu cepat ketika proses pengereman masih berlangsung menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat signifikan pada T1. Puncak temperatur T2 terjadi pada proses penempaan, hal ini disebabkan panas yang terjadi pada T1 mulai merambat secara aksial menuju T2. Kenaikan temperatur pada T3 terlihat cukup tinggi walaupun tidak signifikan. Kenaikan temperatur pada T4 sangat rendah dikarenakan jaraknya yang jauh dari *interface*. Profil distribusi temperatur pada Gambar 4.5 dapat di perkirakan daerah HAZ yang terbentuk bisa mencapai jarak hingga T3.



Gambar 4.6 Grafik distribusi temperatur dengan variasi waktu gesek 6 detik

Gambar 4.6 merupakan grafik distribusi temperatur dengan parameter tekanan gesek 30 MPa, waktu gesek 6 detik, tekanan tempa 70 MPa dan waktu tempa 2 detik. Variasi waktu gesek 6 detik memiliki distribusi temperatur sebesar:  $T1 = 385,4879^{\circ}\text{C}$ ,  $T2 = 365,6648^{\circ}\text{C}$ ,  $T3 = 176,5555^{\circ}\text{C}$  dan  $T4 = 85,436^{\circ}\text{C}$ . Penurunan temperatur yang terjadi pada T1 dan T2 disebabkan karena pada jarak T1 dan T2 sudah menjadi *flash* terlebih dahulu sebelum proses pengelasan berakhir. Temperatur T3 yang turun secara drastis disebabkan kurangnya kemampuan termokopel dalam mempertahankan panas yang dihasilkan dari proses pengelasan. Lamanya waktu gesek pada variasi ini mempunyai nilai temperatur tertinggi dibandingkan variasi waktu gesek yang lain. Daerah HAZ yang terbentuk pada variasi ini di perkirakan mencapai jarak T4.

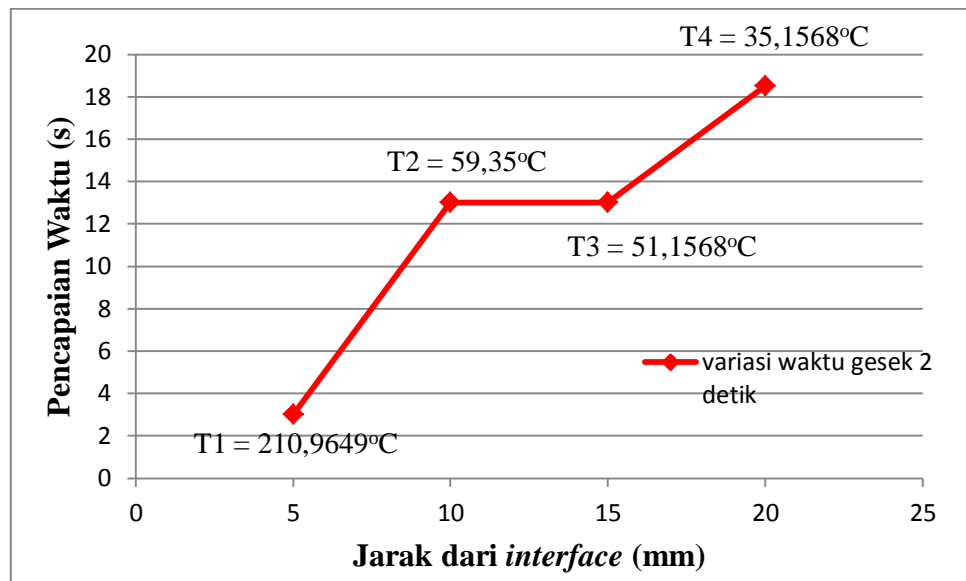
#### 4.4. Hasil Perbandingan Distribusi Temperatur



Gambar 4.7 Grafik perbandingan temperatur maksimal

Gambar 4.7 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 sebesar :  $T_1 = 210,9649^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2 = 59,35^{\circ}\text{C}$ ,  $T_3 = 51,1568^{\circ}\text{C}$  dan  $T_4 = 35,4898^{\circ}\text{C}$ . Variasi waktu gesek 4 detik memiliki nilai distribusi temperatur sebesar :  $T_1 = 368,4893^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2 = 214,4807^{\circ}\text{C}$ ,  $T_3 = 72,7946^{\circ}\text{C}$  dan  $T_4 = 48,4053^{\circ}\text{C}$ . Pada variasi waktu gesek 6 detik memiliki distribusi temperatur yang paling tinggi dibandingkan yang lainnya sebesar :  $T_1 = 385,4879^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2 = 365,6648^{\circ}\text{C}$ ,  $T_3 = 176,5555^{\circ}\text{C}$  dan  $T_4 = 85,436^{\circ}\text{C}$ . Hasil perbandingan temperatur maksimal membuktikan bahwa lamanya waktu gesek berbanding lurus dengan kenaikan temperatur yang terjadi.

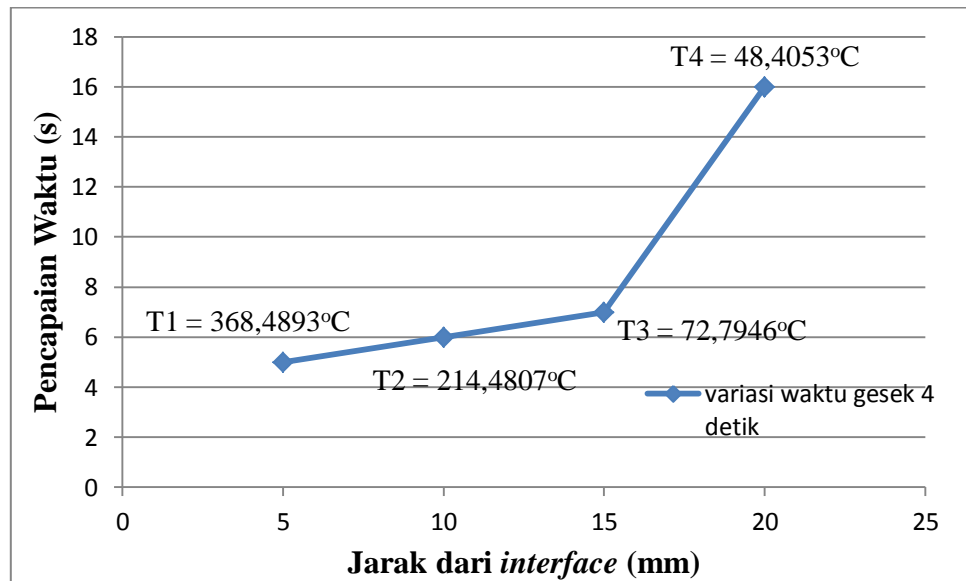
#### 4.5. Hasil Pencapaian Temperatur Maksimal Terhadap Waktu



Gambar 4.8 Grafik pencapaian temperatur maksimal terhadap waktu pada variasi waktu gesek 2 detik

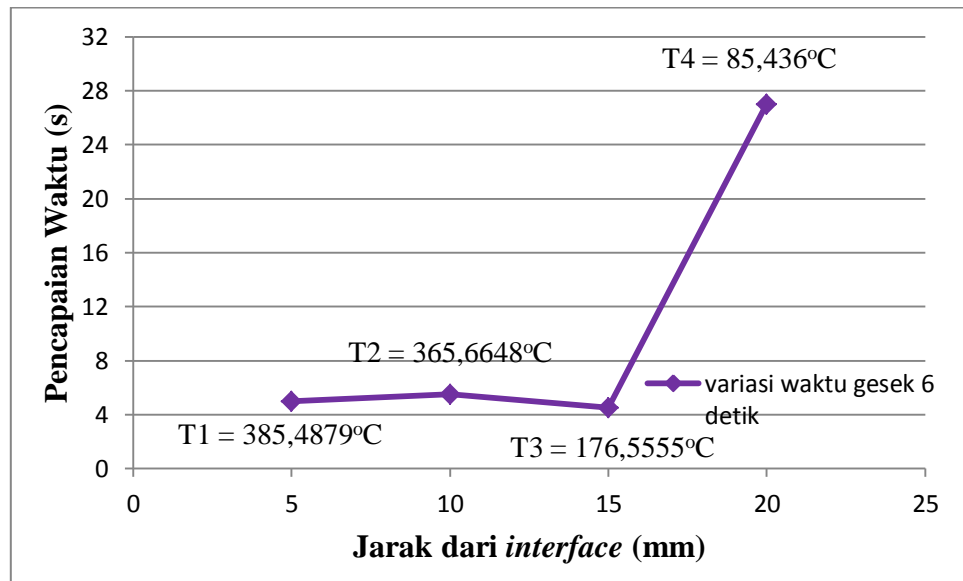
Gambar 4.8 menunjukkan pencapaian temperatur maksimal terhadap waktu. T1 mencapai temperatur maksimal dalam waktu 3 detik. Pencapaian temperatur maksimal dalam waktu 3 detik dikarenakan adanya penambahan tekanan tempa ketika proses pengereman. T2 dan T3 mencapai temperatur maksimal dalam waktu yang bersamaan yaitu 13 detik. Panas yang merambat menuju T4 membutuhkan waktu yang cukup lama untuk bisa mencapai temperatur maksimal yaitu 18,5 detik.





Gambar 4.9 Grafik pencapaian temperatur maksimal terhadap waktu pada variasi waktu gesek 4 detik

Gambar 4.9 menunjukkan pencapaian temperatur maksimal terhadap waktu. T1 mencapai temperatur maksimal dalam waktu 5 detik. Pencapaian temperatur maksimal dalam waktu 5 detik dikarenakan adanya penambahan tekanan tempa ketika proses pengereman. Panas yang merambat menuju T2 menghasilkan temperatur maksimal dalam waktu 6 detik, dimana waktu tersebut adalah waktu tempa. T3 mencapai temperatur maksimal dalam waktu 7 detik yaitu berakhirnya waktu tempa. Panas yang merambat menuju T4 membutuhkan waktu yang cukup lama untuk bisa mencapai temperatur maksimal yaitu 16 detik.



Gambar 4.10 Grafik pencapaian temperatur maksimal terhadap waktu pada variasi waktu gesek 6 detik

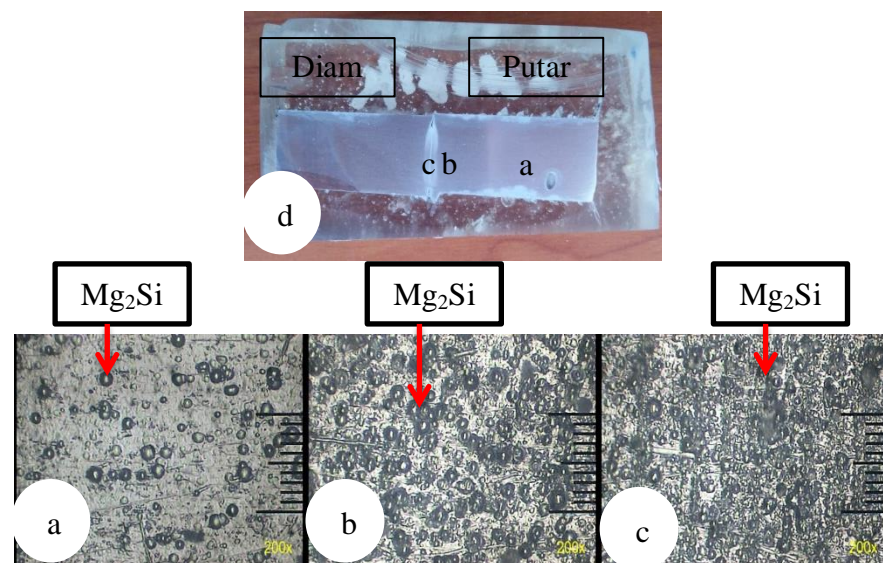
Gambar 4.10 menunjukkan pencapaian temperatur maksimal terhadap waktu. T1 mencapai temperatur maksimal dalam waktu 5 detik, walaupun proses pengelasan belum berakhir pada jarak T1 sudah menjadi *flash*. Panas yang merambat secara aksial mengakibatkan menurunnya temperatur pada T1. Panas yang merambat menuju T2 menghasilkan temperatur maksimal dalam waktu 5,5 detik, tetapi kondisi yang terjadi pada T2 sama dengan T1. T3 mencapai temperatur maksimal dalam waktu 4,5 detik. T4 membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai temperatur maksimal yaitu dalam waktu 27 detik. Lamanya waktu gesek menghasilkan temperatur yang tinggi dan membuat panas yang dihasilkan terjebak dalam spesimen untuk waktu yang lama, itulah sebabnya mengapa T4 membutuhkan waktu yang lama untuk bisa mencapai temperatur maksimal.

#### 4.6. Hasil Struktur Mikro



Gambar 4.11 benda uji struktur mikro

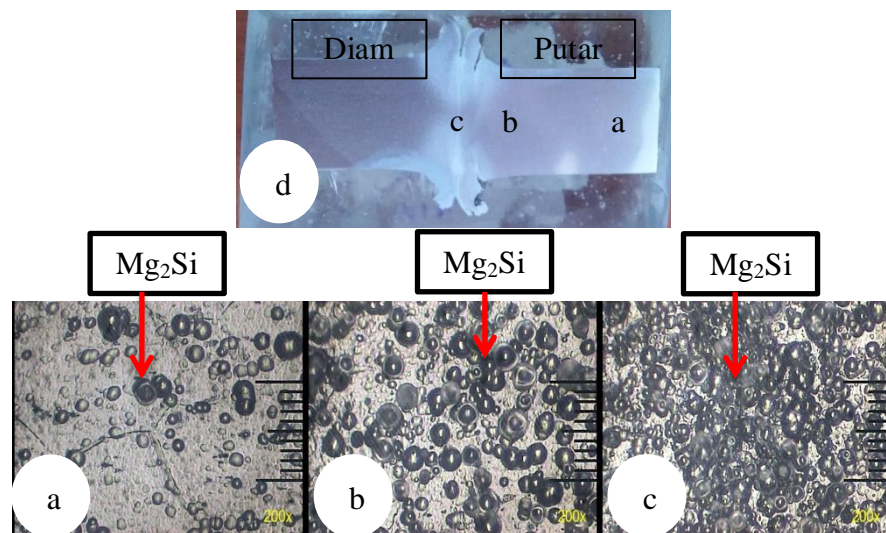
Gambar 4.11 merupakan benda uji yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Pengamatan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada hasil sambungan material aluminium 6061 T6. Setelah diketahui daerah – daerah yang mengalami perubahan struktur mikro dan panjang HAZ, barulah ditentukan titik untuk dilakukan pengujian kekerasan.



Gambar 4.12 (a) Daerah logam induk, (b) HAZ, (c) Daerah sambungan las, (d) Benda uji dengan variasi waktu gesek 2 detik

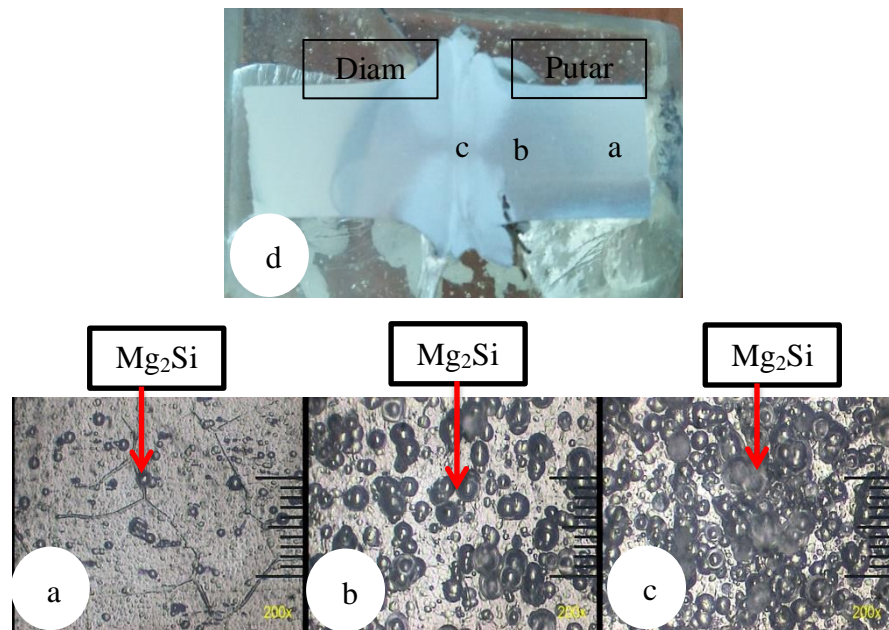
Gambar 4.12 (d) merupakan benda uji variasi waktu gesek 2 detik yang sudah dilakukan pengamatan struktur mikro. Gambar 4.12 (a) adalah hasil dari pengamatan pada bagian logam induk dan terlihat butiran Mg memiliki jarak yang berjauhan dengan butiran Mg yang lain. Gambar 4.12 (b) merupakan

daerah HAZ yang terbentuk akibat proses pengelasan. Waktu gesek yang singkat membentuk HAZ yang relatif pendek dan terlihat butiran Mg mulai mendekati satu sama lainnya. Gambar 4.12 (c) merupakan daerah sambungan dan terlihat jelas butiran Mg saling berkumpul dan menempel.



Gambar 4.13 (a) Daerah logam induk, (b) HAZ, (c) Daerah sambungan las, (d) Benda uji dengan variasi waktu gesek 4 detik

Gambar 4.13 (d) merupakan benda uji dengan variasi waktu gesek 4 detik yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro. Gambar 4.13 (a) adalah daerah logam induk yang dimana butiran Mg memiliki jarak yang jauh dengan butiran Mg lainnya. Gambar 4.13 (b) merupakan HAZ yang terbentuk akibat proses pengelasan dan mulai terjadi perubahan struktur mikro dimana jarak antara butiran Mg saling mendekat satu sama lainnya. Gambar 4.13 (c) merupakan daerah sambungan yang mengalami perubahan struktur mikro paling jelas dimana butiran Mg saling menempel lebih rapat dan ukuran butiran yg lebih besar dibandingkan logam induk.

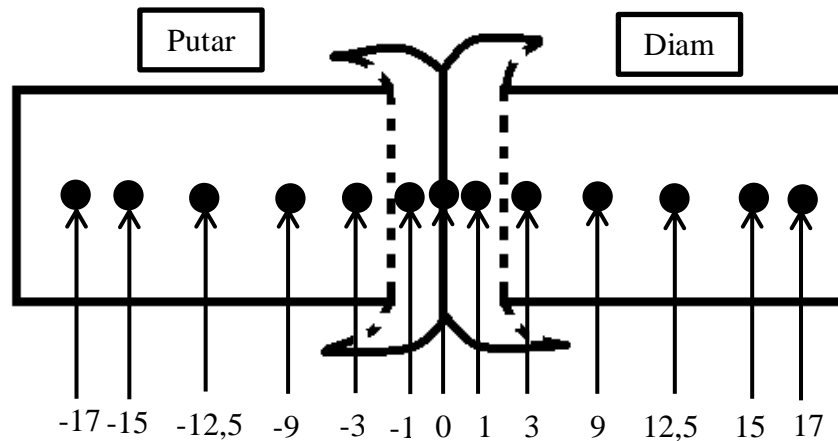


Gambar 4.14 (a) Daerah logam induk, (b) HAZ, (c) Daerah sambungan las, (d) Benda uji dengan variasi waktu gesek 6 detik

Gambar 4.14 (d) merupakan benda uji dengan variasi waktu gesek 6 detik yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Gambar 4.14 (a) merupakan daerah logam induk yang dilakukan pengamatan struktur mikro dan terlihat bahwa butiran Mg memiliki jarak yang berjauhan dan ukuran butiran Mg yang kecil. Gambar 4.14 (b) merupakan HAZ yang terbentuk akibat proses pengelasan gesek yang dilakukan pengamatan struktur mikro dan terlihat perubahan struktur mikro pada HAZ dimana butiran Mg mulai mendekati satu sama lainnya. Gambar 4.14 (c) adalah daerah sambungan yang dilakukan pengamatan struktur mikro dan terlihat jelas perubahan yang terjadi, dimana butiran Mg terlihat saling menempel lebih rapat dibandingkan dengan variasi waktu gesek yang lain dan ukuran butiran yang membesar.

#### 4.7. Pengujian Kekerasan

Setelah selesai melakukan pengamatan terhadap struktur mikro dan sudah mengetahui dimana letak daerah sambungan, panjang HAZ dan logam induk barulah menentukan titik untuk dilakukan pengujian kekerasan, seperti pada gambar 4.15.



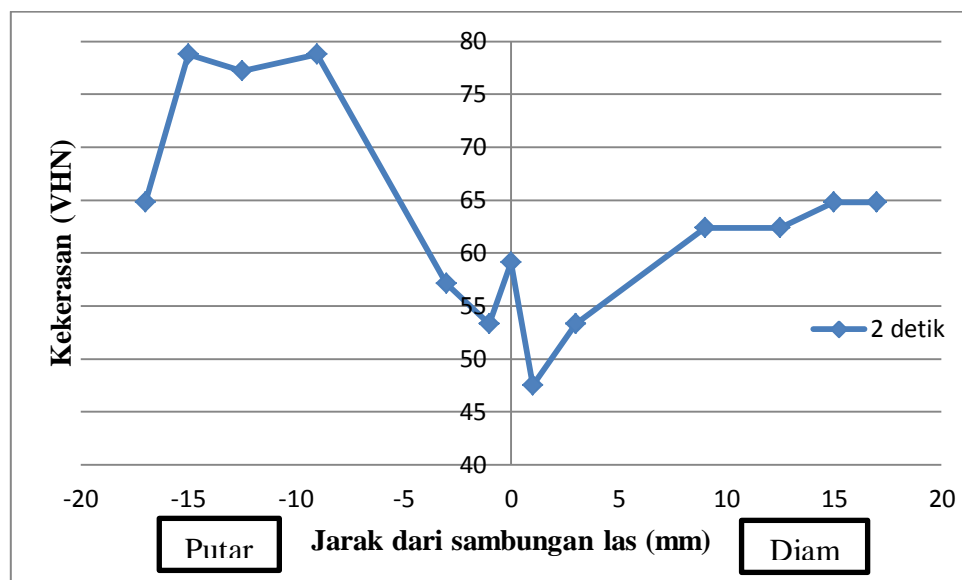
Gambar 4.15 Titik pengujian kekerasan

Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan

Jarak		2 detik (VHN)	4 detik (VHN)	6 detik (VHN)
Putar	-17	64,8	63,6	
	-15	78,8	53,3	78,8
	-12,5	77,2	51,5	69,9
	-9	78,8	46	49,8
	-3	57,1	51,5	45,3
	-1	53,3	51,5	46
Sambungan	0	59,1	51,5	50,7
Diam	1	47,5	51,5	46,7
	3	53,3	51,5	43,9
	9	62,4	46,7	43,2
	12,5	62,4	51,5	71,3
	15	64,8	52,4	74,2
	17	64,8	63,6	

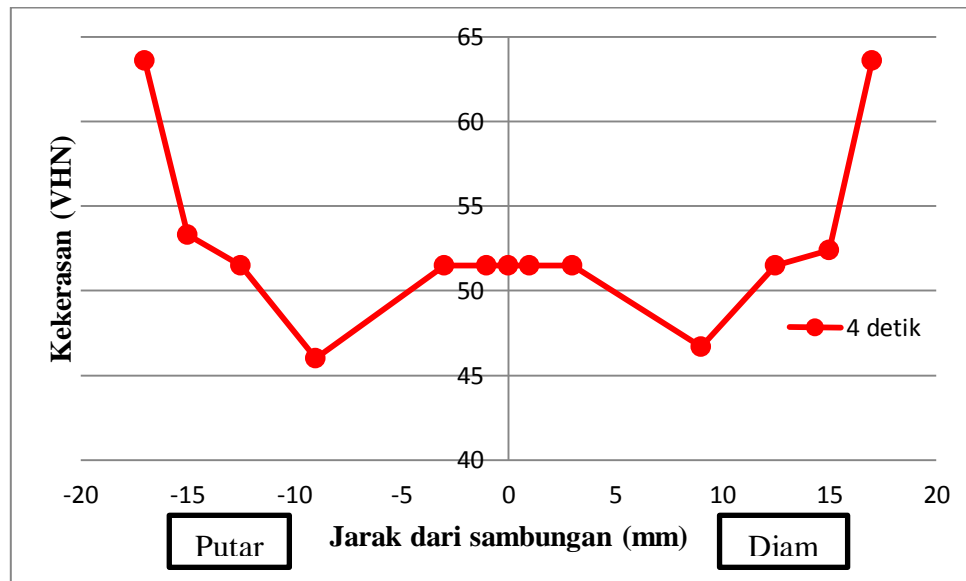
Pada Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian kekerasan dengan titik pengujian yang sudah ditentukan berdasarkan dari hasil pengamatan struktur

mikro. Jarak titik yang diujikan adalah -17,-15, -12.5, -9, -3, -1, 0, 1, 3, 9, 12.5, 15,17 dengan beban 100 gf dan waktu 5 detik menggunakan *vickers*.



Gambar 4.16 Grafik distribusi kekerasan variasi waktu gesek 2 detik

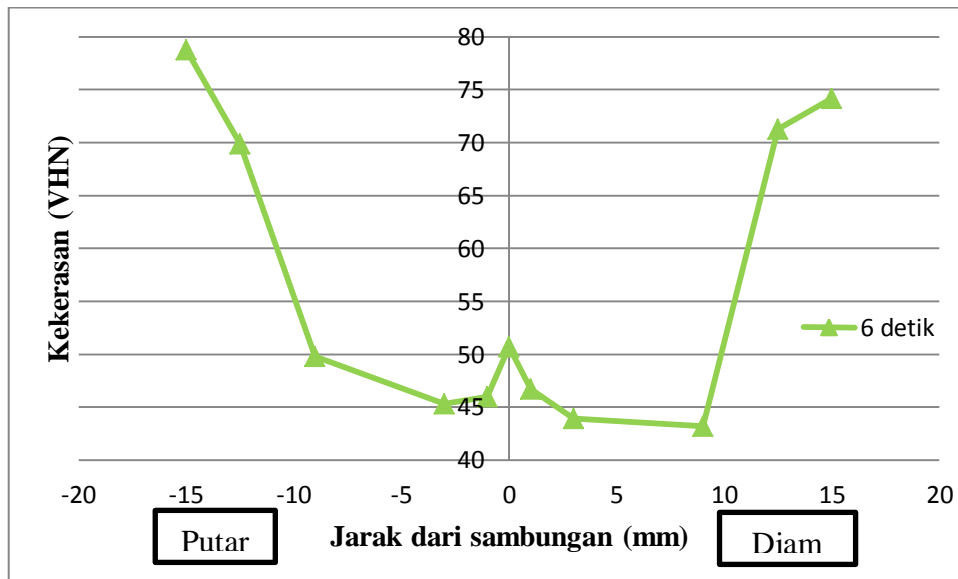
Gambar 4.16 merupakan grafik distribusi kekerasan dengan variasi waktu gesek 2 detik. Nilai kekerasan yang terdapat pada sambungan sebesar 59,1 VHN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah HAZ sebesar 47,5 VHN. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada logam induk sebesar 78,8 VHN. Daerah HAZ yang terbentuk sangat pendek hanya sepanjang 3 mm. Pendeknya daerah HAZ yang terbentuk dikarenakan waktu gesek yang singkat dan kenaikan temperatur yang tidak terlalu tinggi.



Gambar 4.17 Grafik distribusi kekerasan variasi waktu gesek 4 detik

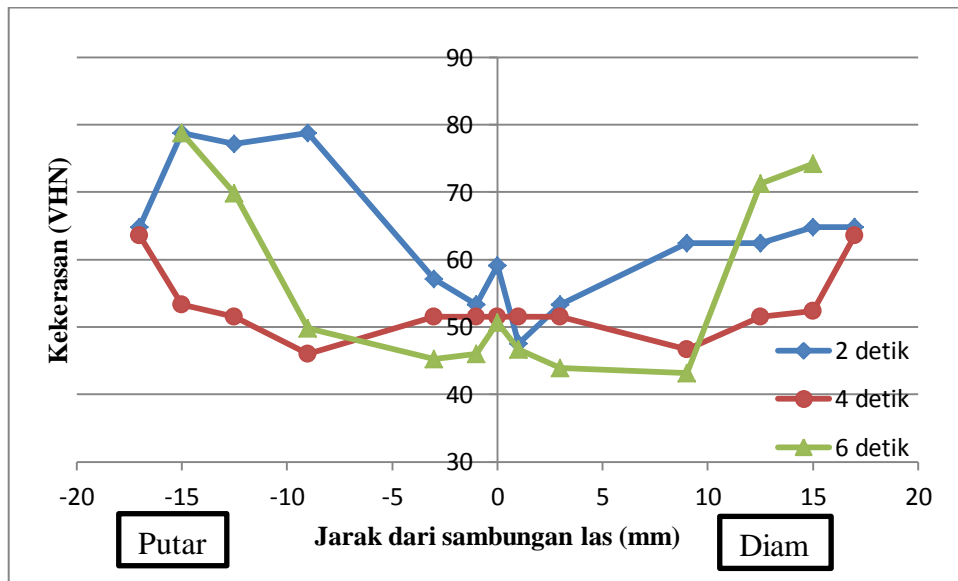
Gambar 4.17 merupakan grafik distribusi kekerasan dengan variasi waktu gesek 4 detik. Nilai kekerasan yang terdapat pada sambungan sebesar 51,5 VHN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah HAZ sebesar 46 VHN. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada logam induk sebesar 63,6 VHN. Kenaikan temperatur yang sangat signifikan mengakibatkan HAZ yang terbentuk sangat panjang mencapai 15 mm. *Flash* yang terbentuk cukup besar sehingga mengakibatkan ada bagian HAZ yang terbuang. Nilai kekerasan logam induk baru ditemukan pada jarak 17 mm.





Gambar 4.18 Grafik distribusi kekerasan variasi waktu gesek 6 detik

Gambar 4.18 merupakan grafik distribusi kekerasan dengan variasi waktu gesek 6 detik. Nilai kekerasan yang terdapat pada sambungan sebesar 50,7 VHN. Nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah HAZ sebesar 43,2 VHN. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada logam induk sebesar 78,8 VHN. Kenaikan temperatur yang sangat signifikan mengakibatkan HAZ yang terbentuk cukup panjang mencapai 9 mm. *Flash* yang terbentuk sangat besar sehingga mengakibatkan banyak bagian HAZ yang terbuang. Nilai kekerasan logam induk baru ditemukan pada jarak 12,5 mm.



Gambar 4.19 Grafik perbandingan distribusi kekerasan

Gambar 4.18 adalah grafik perbandingan uji kekerasan dengan variasi waktu gesek 2 detik, 4 detik dan 6 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama waktu gesek dan semakin tinggi kenaikan temperatur yang terjadi pada daerah sambungan maka hasil uji kekerasan semakin kecil, hal ini dibuktikan dengan hasil variasi waktu gesek 2 detik dengan nilai kekerasan tertinggi pada sambungan sebesar 59,1 VHN, 4 detik memiliki nilai kekerasan 51,5 VHN dan 6 detik memiliki nilai kekerasan terendah pada sambungan sebesar 50,7 VHN. Panjang daerah HAZ pada waktu gesek 2 detik sangat pendek yaitu hanya 3 mm dari sambungan las dan nilai kekerasan sebesar 57,1 VHN. Daerah HAZ dengan waktu gesek 4 detik mempunyai panjang 15 mm dari sambungan las dan nilai kekerasan sebesar 53,3 VHN. Panjang HAZ terbentuk dikarenakan kenaikan temperatur yang cukup tinggi membuat panas yang dihasilkan mempunyai waktu untuk menyebar. Daerah HAZ pada variasi waktu gesek 6 detik cukup panjang yaitu 9 mm dan nilai kekerasan sebesar 49,8 VHN, fenomena panjang HAZ yang terjadi pada waktu gesek 6 detik banyak terbang menjadi *flash*. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 78,8 VHN pada logam induk dengan variasi waktu gesek 2 detik. Logam induk dengan waktu gesek 4 detik mempunyai nilai kekerasan sebesar 63,6 VHN. Nilai

kekerasan tertinggi logam induk sebesar 78,8 VHN pada variasi waktu gesek 6 detik.