

## PENGARUH SOLUTION HEAT TREATMENT TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK PROSES PENGELASAN FSSW AA6063-T5

Ciptadi Natawiguna<sup>1</sup>, Nurul Muhayat<sup>2</sup>, Teguh Triyono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>Staff Pengajar – Program Studi Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

e-mail addresses : [ciptadinatawiguna.10@gmail.com](mailto:ciptadinatawiguna.10@gmail.com)

### Keywords :

*FSSW, AA6063-T5, solution heat treatment, precipitation.*

### Abstract:

*Friction stir spot welding (FSSW) of aluminum alloy AA6063-T5 will decrease the strength and hardness. Physical and mechanical properties of aluminum alloy can be improved by heat treatment. Heat treatment is affected by temperature and holding time. The heat treatment process used for this research was solution heat treatment with temperature variation 470, 500, 530 °C and holding time 1 and 2 hours. The tests included microstructure test, tensile shear test and vickers hardness test. Result of the research, it was found that Mg<sub>2</sub>Si particles were precipitated from the grain boundaries part into the aluminum matrix with the coarser size and the distance was increasing as the temperature and the holding time increases. The highest shear tensile strength of 3735,2 N was obtained from the temperature variation of 470 °C and the holding time of 1 hour. The lowest tensile shear strength of 3172,6 N was obtained from temperature variation of 530 °C and 2 hours of holding time. The highest hardness value was obtained of 470 °C variation and 1 hour was 43,7 HVN and the lowest hardness value at 530 °C variation and 2 hours of holding time was 30,1 HVN.*

## PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan di bidang teknik karena mempunyai berbagai keunggulan antara lain ringan, mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi, tahan korosi. Sifat mekanik dari aluminium paduan dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin atau perlakuan panas, serta mempunyai sifat mampu las (*weldability*) yang bervariasi tergantung pada jenis paduannya. Berbagai kelebihan di atas menyebabkan aluminium dan paduannya banyak digunakan di bidang struktur dan pemesinan, seperti pesawat terbang, kapal, kendaraan serta industri otomotif.

Pengelasan merupakan bagian yang penting dalam suatu proses industri, dan kebutuhan akan pengelasan sangat tinggi oleh karena itu teknologi pengelasan semakin lama semakin berkembang. Penggunaan teknologi las biasanya dipakai dalam bidang konstruksi, otomotif, perkapalan, pesawat terbang, dan bidang lainnya yang dalam beberapa tahun terakhir ini mengembangkan teknologi material ringan seperti *aluminium alloy*.

Baru-baru ini, varian dari FSW disebut *Friction Stir Spot Welding* (FSSW) telah dikembangkan dan diimplementasikan dalam industri otomotif sebagai pengganti *resistance spot welding* untuk aluminium. Pada dasarnya, sistem kerja FSSW sama dengan FSW, yang membedakan adalah gerakan dalam proses

eksekusi. Pada FSW, *tool* bergerak sepanjang bagian yang dilas, sedangkan FSSW terfokus pada sambungan satu titik yang disebut sebagai sambungan titik (*spot*). Selama proses FSSW, pin mengalami kontak langsung dengan benda kerja untuk waktu yang lebih lama. Akibatnya, gaya gesekan antara pin dan benda kerja menghasilkan sebagian besar energi panas. Karakteristik ini membuat proses FSSW berbeda dari proses FSW (Awang, 2007).

Namun demikian las FSSW mempunyai kelemahan dalam mengelas material aluminium paduan khususnya AA6063, yaitu pada daerah *HAZ* (*Heat Affected Zone*), *TMAZ* (*Thermomechanically Affected Zone*) dan daerah las (*nugget*) sepanjang garis sambungan benda kerja, mengalami pelunakan akibat rekristalisasi saat proses *stirring*, sehingga kekerasan dan kekuatan tarik menurun. Untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik daerah lasan tersebut, benda las perlu mendapat perlakuan panas kembali dengan proses *precipitation hardening*. Proses *precipitation hardening* tersebut dapat dilakukan dengan beberapa rangkaian dan merupakan rangkaian *heat treatment* yang kedua, dimana sebelum melakukan *precipitation hardening* benda las harus diperlakukan *solution heat treatment* terlebih dahulu.

*Solution heat treatment* merupakan proses perlakuan panas ulang (*reheating*) dan

pendinginan yang terkontrol yang dilakukan pada hasil pengelasan suatu komponen, dengan tujuan mengubah sifat fisis dan sifat mekanis dari suatu bahan atau logam sesuai dengan yang diinginkan (Kamenichny, 1969). Penelitian ini akan membahas tentang pengaruh *solution heat treatment* terhadap sifat fisik dan mekanik proses pengelasan FSSW dengan material AA6063-T5 serta fenomena yang terjadi ketika proses *solution heat treatment* berlangsung.

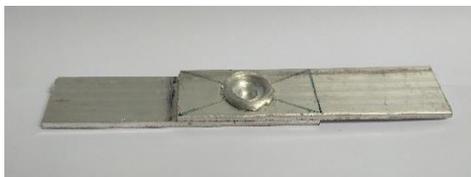
## METODOLOGI PENELITIAN

### Bahan

Plat aluminium yang digunakan untuk mengelas FSSW. Plat AA6063-T5 berdimensi 100 x 25 x 3 mm yang akan dilas FSSW dengan sambungan *lap joint*.

### Proses Persiapan

Pembuatan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan pengelasan *friction stir welding* (FSSW). Pengelasan dilakukan menggunakan mesin *milling* yang dimodifikasi dibagian *tool* nya. Parameter yang dipakai untuk pembuatan spesimen las yaitu kecepatan putar 1600 rpm, diameter *shoulder* 12 mm, diameter *pin* 7 mm, *plunge depth* 4 mm dan *dwell time* 5 s. Kemudian spesimen las tersebut diperlakukan *solution heat treatment* menggunakan mesin *furnace* dengan variasi suhu sebesar 470, 500, 530°C dan ditahan dengan lama waktu *holding time* 1 dan 2 jam, kemudian didinginkan cepat (*quenching*) menggunakan air.



Gambar 1 Spesimen hasil pengelasan FSSW

### Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, tarik geser dan foto mikrostruktur.

#### a. Uji keras

Uji keras bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis pada daerah lokal dan permukaan material. Pengujian ini menggunakan alat uji keras *micro hardness vickers* dengan menggunakan ASTM E384. Uji keras *Vickers* sering disebut *Diamond Pyramid Hardness Test* yaitu dengan menggunakan indenter berbentuk piramida yang saling berhadapan membentuk sudut 136°. Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.

#### b. Uji kekuatan tarik geser

Uji kekuatan tarik geser adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Pengujian ini menggunakan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) dengan menggunakan ASTM E8/E8M.

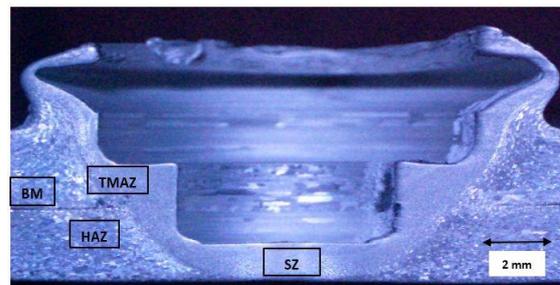
#### c. Uji mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur bertujuan untuk mengetahui perubahan bentuk struktur mikro dan persebaran endapan partikel (presipitat) yang terjadi pada spesimen uji dan pengaruhnya terhadap kekerasan dan kekuatan tarik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pengujian mikrostruktur

Observasi mikroskopik dilakukan sesuai dengan pemetaan daerah seperti pada Gambar 2. Observasi mikroskopik menunjukkan struktur mikro pada hasil sambungan bahwa pada tiap daerah yang diamati



(BM, HAZ, TMAZ, dan SZ) terdapat karakteristik perbedaan daerah yang sama.

Gambar 2 Foto pemetaan daerah pengelasan FSSW

Hasil observasi mikroskopik pada daerah HAZ untuk setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 1. Pada daerah HAZ yang telah di *solution heat treatment* partikel  $Mg_2Si$  mengalami presipitasi, sehingga letak partikel  $Mg_2Si$  yang berasal dari sekeliling batas butir berpindah/mengalami endapan ke dalam butir  $\alpha$ . Kemudian dengan pendinginan cepat menggunakan *quenching* mengakibatkan partikel  $Mg_2Si$  tersebut akan mempertahankan bentuknya pada fasa tunggal.

Proses pendinginan dilakukan di dalam media cair yang bertujuan untuk mempertahankan larutan padat yang terbentuk selama proses *solution heat treatment*. Media pendingin yang digunakan pada proses ini yaitu air dengan temperatur 28 °C. Pendinginan ini juga berfungsi untuk mempertahankan jumlah tempat atom kosong yang dibutuhkan selama proses pembentukan endapan. Pengaruh dari menambah besarnya suhu *solution treatment* maka ukuran butir di daerah HAZ akan tampak bertambah besar, begitu pula dengan seiring bertambahnya waktu *heat treatment* nya (*holding time*). Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ukuran butir pada daerah HAZ yang paling besar terbentuk pada variasi spesimen C2

(suhu *solution heat treatment* 530°C dan *holding time* 2 jam).

Tabel 1 Observasi mikroskopik daerah HAZ

Variasi	Waktu	
	1 Jam	2 Jam
Suhu <i>Solution Heat Treatment</i>	470 °C	
	500 °C	
	530 °C	

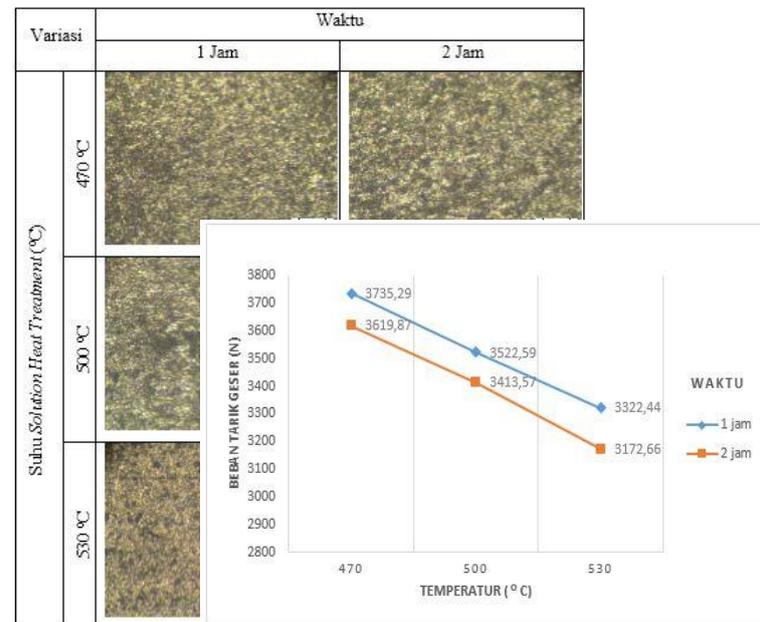
Tabel 2 Observasi mikroskopik daerah TMAZ

Variasi	Waktu	
	1 Jam	2 Jam
Suhu <i>Solution Heat Treatment</i>	470 °C	
	500 °C	
	530 °C	

Hasil observasi mikroskopik TMAZ dapat dilihat pada Tabel 2. Bagian TMAZ ditunjukkan dengan ukuran butiran *aluminium alloy* yang lebih kecil dibandingkan ukuran butiran pada HAZ. TMAZ merupakan daerah yang terkena panas serta deformasi plastis akibat desakan dari *tool* pada material selama proses penyambungan. Karakteristik TMAZ dapat dilihat dari arah orientasi butiran yang seragam karena terbentuk menyesuaikan arah adukan material. Terlihat pada Tabel 2 bahwa variasi spesimen A1

memiliki ukuran butiran yang paling kecil dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh suhu *solution heat treatment* yang diperlakukan pada spesimen A1 adalah suhu dengan variasi yang paling rendah yaitu 470 °C dan *holding time* 1 jam. Sedangkan ukuran butiran paling besar pada daerah TMAZ didapat dari variasi spesimen C2. Hal ini disebabkan oleh suhu *solution heat treatment* yang diperlakukan pada spesimen C2 adalah suhu dengan variasi yang paling tinggi yaitu 530 °C dan *holding time* 2 jam.

Tabel 3 Observasi mikroskopik daerah SZ



Data observasi mikroskopik pada SZ (*stir zone*) ditunjukkan pada Tabel 3. Butiran yang terdapat pada SZ memiliki ukuran butiran yang paling kecil dibandingkan dengan daerah lainnya.

**Hasil pengujian tarik geser**

Pengujian tarik geser dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari hasil pengelasan dengan pembebanan maksimum. Beban yang diberikan pada sambungan las merupakan beban statis dengan beban sebesar 20 kN dan dengan kecepatan penarikan 5 mm/min. Hasil dari pengujian tarik geser pada sambungan las FSSW setelah proses *solution heat treatment* ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 Grafik hasil pengujian tarik geser

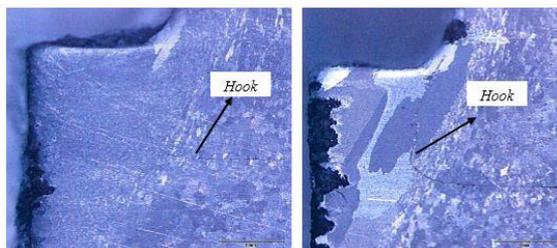
Berdasarkan grafik nilai hasil pembebanan uji tarik geser diatas didapatkan *trend* yang berbeda untuk setiap variasi. Variasi spesimen A1 (suhu *solution heat treatment* 470°C dan *holding time* 1 jam) memiliki nilai pembebanan tarik geser yang lebih besar besar daripada variasi spesimen yang lainnya. Variasi spesimen A1 memiliki nilai pembebanan tarik geser tertinggi yaitu 3735,2 N. Variasi spesimen B1 (suhu *solution heat treatment* 500°C dan *holding time*

1 jam) menghasilkan trend yang turun yaitu 3522,59 N, begitupun juga dengan variasi spesimen C1 (suhu *solution heat treatment* 530°C dan *holding time* 1 jam).

Variasi spesimen A2 (suhu *solution heat treatment* 470°C dan *holding time* 2 jam) memiliki nilai pembebanan tarik geser yang lebih besar dibanding variasi spesimen B2 (suhu *solution heat treatment* 500°C dan *holding time* 2 jam), dan nilai pembebanan tarik geser variasi spesimen C2 (suhu *solution heat treatment* 530°C dan *holding time* 2 jam) menunjukkan hasil nilai beban uji tarik terendah diantara variasi-variasi lainnya yaitu 3172,6 N. Hal ini didukung dengan penelitian Totik yang menyatakan bahwa nilai regangan akan naik dan tegangan tarik akan turun seiring dengan pertambahan suhu homogenisasi (Totik, 2003). Selain itu juga disebabkan oleh meluasnya *hook* yang merambat keatas sampai dengan daerah *nugget* pada benda las yang diakibatkan oleh retakan panas (*hot cracking*) dari proses *solution heat treatment* dengan suhu 530 °C dan *holding time* 2 jam kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*) dengan air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sebagai perbandingan, spesimen BSHT (*before solution heat treatment*) atau spesimen yang telah dilas FSSW dan sebelum diberi perlakuan *solution heat treatment* menghasilkan nilai beban uji tarik geser yang lebih tinggi daripada spesimen yang sudah diberi perlakuan *solution heat treatment*, yaitu sebesar 4660,1 N.

(a) (b)

Gambar 4 (a) *Hook* pada spesimen BSHT, (b) *Hook* spesimen C2 (suhu 530°C; waktu 2 jam) yang



merambat akibat retakan panas.

Mode patahan yang terjadi pada tiap variasi membuktikan hubungan antara nilai *tensile shear load* dengan nilai kekerasan *vickers* dan juga besarnya daerah *stir zone*. Dapat dilihat pada Tabel 4 bahwa pada semua variasi A1, A2, B1, B2, C1 dan C2 mengalami mode patahan *pullout* dimana pada daerah sekitar sambungan mengalami pembengkokan terlebih dahulu sebelum patah. Hasil yang didapatkan bahwa pengaruh dari nilai *tensile shear load* dan nilai kekerasan *vickers* yang lebih baik serta luas sambungan yang lebih besar akan menghasilkan mode patahan *pullout*. Patahan *pullout* mampu menahan gaya yang lebih baik pada pengujian tarik

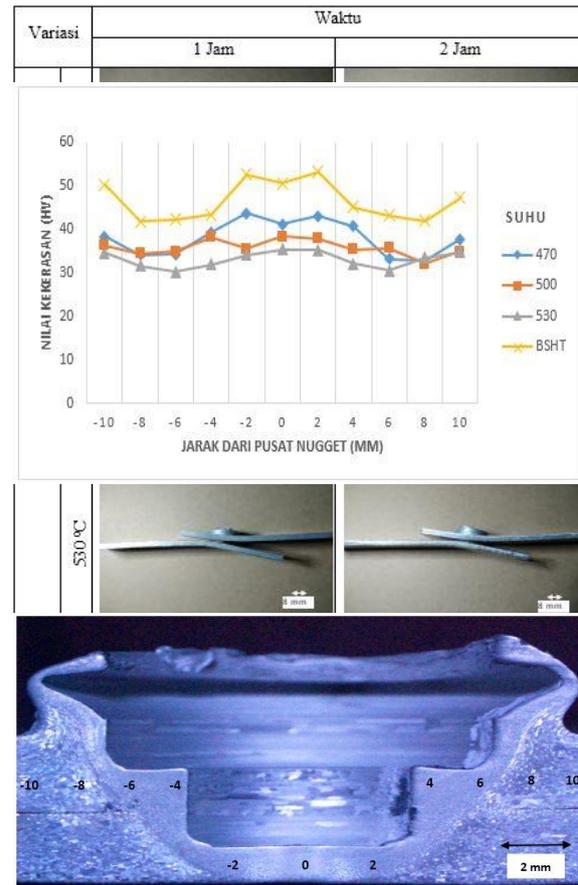
geser dibandingkan dengan sambungan yang memiliki mode patahan *interface* (Zhang, 2011).

Tabel 4 Mode patahan tampak samping hasil uji tarik geser

Hasil uji keras vickers

Gambar 5 Titik pengambilan data uji keras *Micro Vickers*

Hasil pengujian kekerasan *micro vickers* menunjukkan adanya *trend* yang hampir sama pada

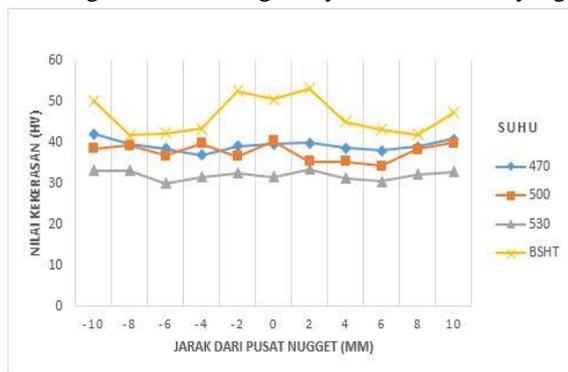


setiap spesimen, nilai kekerasan sambungan tertinggi diperoleh pada lokasi *stir zone* atau biasa disebut *nugget*. Namun masih terdapat sedikit perbedaan pada persebaran kekerasan pada penelitian ini. Sebagai perbandingan nilai hasil uji kekerasan tertinggi yang dihasilkan dari spesimen BSHT (*Before Solution Heat Treatment*) yaitu 53,3 HV yang didapat pada *nugget* tepatnya di daerah sekeliling *keyhole*. Kemudian nilai kekerasan tertinggi ditunjukkan oleh variasi A1 (suhu *solution heat treatment* 470°C dan *holding time* 1 jam) dengan nilai kekerasan 43,7 HV terdapat pada sisi tepi *stir zone* atau tepatnya didapatkan pada *nugget* tepatnya di daerah sekeliling *keyhole* yaitu pada titik nomer 2 dan -2 dari skema gambar lokasi pengambilan data uji keras *vickers* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 6 Grafik hasil uji *Micro Vickers* dengan suhu *solution heat treatment* selama 1 jam pada suhu 470, 500, 530°C dan BSHT.

Gambar 7 Grafik hasil uji *Micro Vickers* dengan suhu *solution heat treatment* selama 2 jam pada suhu 470, 500, 530°C dan BSHT.

*Center of nugget* merupakan daerah dengan nilai kekerasan tinggi karena memiliki temperatur tertinggi pada proses pengelasan FSSW. Hal ini didukung oleh penelitian Elangovan dkk (2008) yang mendapatkan nilai kekerasan tertinggi berada pada *center of nugget* pada AA6061. Daerah *center of nugget* ini mengalami perubahan deformasi plastis yang hebat akibat desakan *pin* dan putaran *tool* pada permukaan benda kerja. Hal ini mengakibatkan mengecilnya ukuran butir yang



dihasilkan. Dengan semakin mengecilnya ukuran butir yang dihasilkan maka ikatan antar butir yang terbentuk akan semakin banyak. Pernyataan ini didukung oleh penelitian Chi-Sung dkk (2012) yang menyatakan bahwa ukuran butir di bawah *pin* disebabkan oleh deformasi akibat torsi bertekanan tinggi disertai dengan peningkatan temperatur. Hal inilah yang menyebabkan nilai kekerasan tertinggi berada pada *center of nugget* sambungan las FSSW.

Sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan dari variasi C2 (suhu *solution heat treatment* 530°C dan *holding time* 2 jam) dengan nilai kekerasan 30,1 HV terdapat pada daerah HAZ atau tepatnya pada titik nomer 8 dari skema gambar lokasi pengambilan data uji keras *vickers* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Berkurangnya nilai kekerasan pada daerah HAZ dan TMAZ dari material dapat diakibatkan oleh hilangnya efek *strain hardening* yang merupakan *hardening treatment* pada awal proses penguatan material dengan cara *cold work rolling*. Efek *cold work rolling* hilang dikarenakan tercapainya temperatur rekristalisasi dari material yang disebabkan oleh proses pengelasan akibat desakan *tool* terhadap material yang meningkatkan temperatur sehingga efek *dislocation density* pada batas butir menghilang dan mengakibatkan kekuatan ikatan antar butir berkurang. *Dislocation density* adalah jumlah banyaknya dislokasi yang terjadi pada luasan

material. Karena dislokasi berbentuk garis, maka dirumuskan menjadi panjang total garis dislokasi per volume material. Tujuan dari *work hardening* adalah menguatkan material dengan cara memberikan deformasi plastis pada temperatur yang jauh lebih rendah dari *melting point* sehingga nilai *dislocation density* akan bertambah (Shoba, 2015).

Dari grafik hasil uji keras *vickers* yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan berturut-turut dari variasi A1 ke C2. Semakin menurunnya nilai kekerasan dari variasi spesimen ini dipengaruhi oleh suhu *solution heat treatment* dan waktu *holding time*. Semakin besar suhu *solution heat treatment* dan semakin lama waktu pemanasan mengakibatkan endapan partikel  $Mg_2Si$  menjadi tersebar pada jarak yang agak berjauhan, serta akan membuat ukuran endapan partikel tersebut membesar seperti yang terlihat pada Tabel 1, 2 dan 3. Terjadinya hal tersebut akan mengakibatkan nilai kekuatan dan kekerasan material akan menjadi berkurang. Hal ini seperti yang diungkapkan oleh Sinaga (1998) bahwasanya temperatur pemanasan yang terlalu tinggi atau waktu pemanasan yang terlalu lama akan mengakibatkan terjadinya penurunan kekuatan atau kekerasan material. Kekuatan dan kekerasan sangat dipengaruhi oleh morfologi endapan partikel yang terjadi. Dalam proses *solution heat treatment* ini terjadi endapan partikel yang besar dan tersebar pada jarak yang sangat jarang, maka dislokasi sangat mudah bergerak, sehingga kekuatan materialnya akan menjadi sangat rendah.

## KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir pada daerah SZ, HAZ, TMAZ membesar seiring dengan bertambahnya suhu *solution heat treatment* dan lama waktu *dwell time*.
2. Seiring dengan bertambahnya suhu *solution heat treatment* dan lama waktu *dwell time* maka kekuatan tarik geser dari benda las akan semakin berkurang. Nilai pembebanan uji tarik geser tertinggi terjadi pada spesimen A1 (suhu *solution heat treatment* 470°C dan *holding time* 1 jam) yaitu sebesar 3735,2 N, sedangkan nilai pembebanan uji tarik geser terendah terjadi pada spesimen C2 (suhu *solution heat treatment* 530°C dan *holding time* 2 jam) yaitu sebesar 3172,6 N.
3. Seiring dengan bertambahnya suhu *solution heat treatment* dan lama waktu *dwell time* maka nilai kekerasan dari benda las akan semakin berkurang. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen A1 (suhu *solution heat treatment* 470°C dan *holding time* 1 jam) yaitu sebesar 43,7 HVN, sedangkan nilai kekerasan terendah

terjadi pada spesimen C2 (suhu *solution heat treatment* 530°C dan *holding time* 2 jam) yaitu 30,1 HVN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chi-Sung, J., et al. (2012). "*Material properties of friction stir spot welded joints of dissimilar aluminum alloys.*" Transactions of Nonferrous Metals Society of China 22: s605-s613.
- [2] Elangovan, K. dan V. Balasubramanian (2008). "*Influences of tool pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA6061 aluminium alloy.*" Materials & design 29(2): 362-373.
- [3] Kamenichny, I., 1969, Short Handbook of Heat Treatment, Moscow Peace Publishers.
- [4] Mokhtar Awang, 2007. *Simulation of Friction Stir Spot Welding (FSSW) Process: Study of Friction Phenomena.. Department of Mechanical and Aerospace Engineering Morgantown, West Virginia.*
- [5] R. Sinaga, 1998. Meningkatkan sifat mekanik bahan aluminium paduan (Al-Mg-Si). Prosiding pertemuan ilmiah sains materi III, Serpong.
- [6] Shoba, C., et al. (2015). "*Influence of dislocation density on the residual stresses induced while machining Al/SiC/RHA hybrid composites.*" Journal of Materials Research and Technology 4(3): 273-277.
- [7] Y. Totik, 2003. *The effect of homogenisation treatment on cold deformations of AA 2014 and AA 6063 alloys*, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum, Turkey.
- [8] Zhaohua Zhang, 2011. *Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy.* Materials and Design 32 (2011) 4461–4470.