

PENGARUH *PREHEAT* DAN *THERMAL TENSIONING* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK PADA SAMBUNGAN LAS TIG AL 6061-T6

Yunaidi⁽¹⁾. Mochammad Noer Ilman⁽²⁾

⁽¹⁾ Dosen Program Studi Teknik Mesin Politeknik LPP, Yogyakarta
Email : joeneidi@yahoo.com

⁽²⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Email : noer_ilman@yahoo.com

ABSTRACT

Aluminum 6061-T6 is one the aluminum alloys which is widely used in engineering practice, such as automotive industry, piping, tanks, aircraft and shipping, because of many advantages including light weight, high tensile strength, corrosion resistant, able to shape and good weldability. Welding process is widely used today. The problem often encountered when using a welding method is the low strength of welded joints compared with the parent metal and the presence of distortion, especially for thin materials, due to residual stresses that arise during welding process. High tensile residual stress in welded joints can lead to brittle fracture, stress corrosion cracking, and accelerate the propagation rate of fatigue.

This study aims to determine the effect of preheat, static thermal tensioning (STT), and transient thermal tensioning (TTT) on the quality of welding as indicated by the test of micro structure, hardness test, and tensile test of TIG welded joints of Al 6061-T6.

The results showed that the preheat, STT, and TTT can change the size and shape of grains in the weld area and HAZ regions. Preheat, STT, and TTT can increase the tensile strength and yield stress in the weld area. The highest tensile strength occurs in the STT that is equal to 194 MPa, or increase by 43.5% compared to the tensile strength of the weld without treatment. The highest yield stress also occurs in the STT that is equal to 154 MPa, or increase by 104.4% compared to the yield stress in the weld without treatment.

Key word : preheat, static, transient, thermal tensioning, TIG, Al 6061-T6, mechanical properties

PENDAHULUAN

Al 6061-T6 merupakan salah satu jenis paduan aluminium Al-Mg-Si yang dapat diberi perlakuan panas (*heat-treatable alloys*), mempunyai kekuatan tarik sedang dan sifat mampu las (*weldability*) yang relatif baik. Paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan, dan pesawat karena ringan dan kekuatan tarik (*strength to weight ratio*) tinggi. Dalam proses fabrikasi, metode penyambungan Al 6061-T6 yang paling banyak dipakai saat ini adalah dengan proses pengelasan terutama las MIG dan TIG. Masalah yang sering dijumpai bila menggunakan metode pengelasan adalah kecenderungan bahan mengalami perubahan dimensi (*distortion*) terutama untuk bahan

yang tipis, karena tegangan sisa yang muncul akibat proses pengelasan sehingga akan menurunkan sifat mekanik sambungan las.

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi tegangan sisa dan distorsi pada proses pengelasan yaitu siklus termal las, sifat bahan, ketebalan plat, dan bentuk las. Dari beberapa faktor tersebut, siklus termal mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap terjadinya tegangan sisa dan distorsi pada struktur las. Siklus termal dan distribusi suhu sangat berhubungan dengan metode pengelasan, *heat input*, dan kondisi lingkungan (Masubuchi, 1980).

Proses *preheat* dilakukan untuk memperlambat laju pendinginan, mengurangi tegangan penyusutan dan distorsi akibat

pengelasan, meningkatkan penyatuan logam induk dengan lasan, dan menghilangkan kelembaban. Untuk paduan aluminium, *preheat* dapat dilakukan pada temperatur 80°C – 200°C tergantung pada ketebalan plat dan jenis paduannya. Paduan aluminium Al-Mg-Si termasuk paduan yang sensitif terhadap retak (*liquation cracking*) bila mengalami *overheating* (www.bocworldofwelding.com.au).

Beberapa metode telah dikembangkan untuk menghilangkan tegangan sisa dan distorsi ini sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik sambungan las. Salah satu metode tersebut adalah *thermal tensioning*, yaitu dengan cara pemberian panas lokal di sekitar jalur las selama pengelasan.

Metode *thermal tensioning* untuk mengontrol distorsi dan tegangan sisa telah dilakukan oleh Burak dkk (1977 dan 1979) dengan membuat tegangan tarik di daerah las sebelum dan selama pengelasan dengan mengatur gradien suhu. Dalam proses ini digunakan kombinasi antara pemanasan dan pendinginan. Elemen pemanas harus diletakkan sedekat mungkin dengan elemen pendingin.

Guo dan Li (2001), dalam studinya tentang pengaruh *static thermal tensioning* terhadap distorsi akibat proses las TIG (*Tungsten Inert Gas*) pada plat tipis paduan aluminium 2024 menunjukkan bahwa metode pengelasan ini dapat mengurangi terjadinya tegangan sisa dan distorsi secara efektif. Mekanisme *static thermal tensioning* dapat mengurangi tegangan tekan plastik longitudinal yang terbentuk selama proses pemanasan di daerah las dan daerah sekitarnya. Perbedaan suhu merupakan parameter utama pada proses ini. Perbedaan suhu yang besar dapat mengurangi distorsi secara lebih baik.

Barsanescu dkk (2011), dalam penelitiannya untuk mengurangi tegangan sisa pengelasan dengan pemanas gas paralel menunjukkan bahwa dengan metode tersebut tegangan sisa yang terjadi di jalur las dapat berkurang dibandingkan dengan tanpa pemanas gas paralel.

Li dkk (2004), dalam penelitiannya tentang karakteristik temperatur pengelasan dengan TIG menggunakan metode *thermal tensioning* dengan *trailing heat sink* menjelaskan bahwa dengan metode ini,

temperatur maksimum pada spesimen las akan turun dan terjadi dalam waktu yang lebih pendek dibandingkan pada las konvensional. Tegangan sisa dan distorsi yang sering dijumpai dalam pengelasan plat secara konvensional dapat menjadi hampir datar bila menggunakan cara ini.

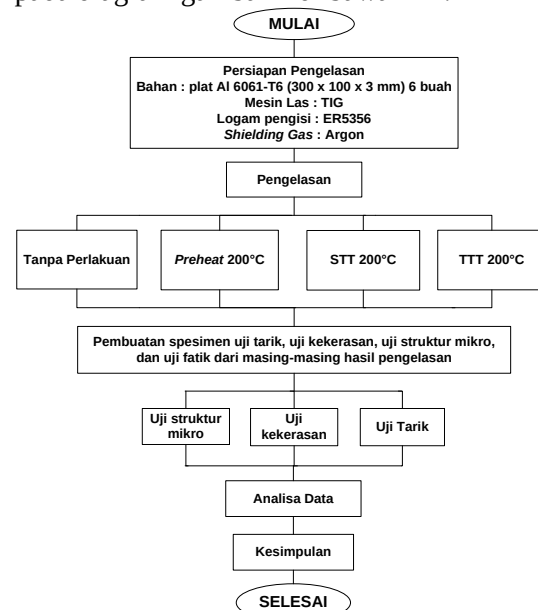
Aa dan Murugaiyan (2006), dalam penelitiannya tentang pengaruh pengelasan dengan *trailing heat sink* terhadap distribusi tegangan sisa menyatakan bahwa pengelasan plat tipis dengan metode ini dapat mengurangi tegangan sisa yang terjadi akibat proses pengelasan. Distorsi yang terjadi pada plat juga lebih kecil. Pengaruh pendinginan-aktif (*active cooling*) yang diletakkan di bawah sambungan las selama pengelasan juga tampak jelas. Pengaruh *active cooling* pada kecepatan rendah lebih efektif bila dibandingkan pada kecepatan tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *preheat* dan *thermal tensioning* terhadap kualitas las yang ditunjukkan dengan uji struktur mikro, uji kekerasan, dan uji tarik sambungan las TIG Al 6061-T6.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan langkah-langkah seperti pada diagram gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Secara umum penelitian dapat dibagi ke dalam 4 langkah, yaitu proses pembuatan spesimen las, proses pembuatan sampel uji, proses pengujian sampel uji, dan terakhir analisis hasil pengujian sampel. Proses pembuatan spesimen las dilaksanakan di Laboratorium Pengelasan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Bandung, sedangkan proses pembuatan sampel uji dan proses pengujian sampel dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin UGM.

Proses pengelasan menggunakan las TIG yang pada plat Al 6061-T6 dengan ukuran 300x100x3 mm dengan elektroda ER 5356. Komposisi kimia bahan plat aluminium berdasarkan hasil pengujian spektrometer dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

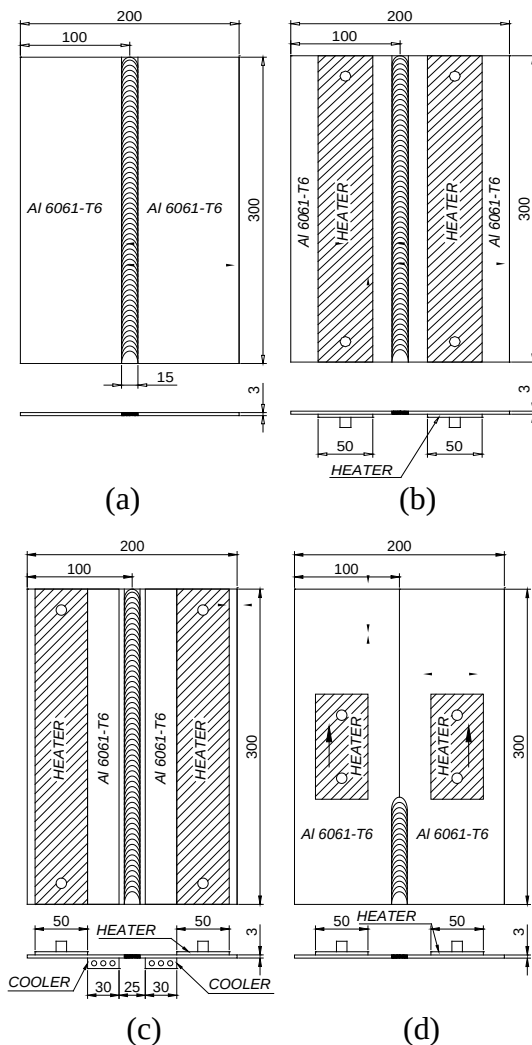
Tabel 1. Komposisi kimia bahan (% berat)

Al :	97,11	Cr :	0,277	Ca :	*0,035
Si :	0,77	Ni :	<0,02	Sr :	<0,0005
Fe :	0,37	Zn :	0,013	V :	0,017
Cu :	0,730	Sn :	<0,05	Zr :	0,022
Mn :	0,09	Ti :	0,024	Lain-lain	
Mg :	1,110	Pb :	<0,03		

Parameter dan peralatan pengelasan yang digunakan adalah arus listrik AC dengan (I) : 134 amper, tegangan (E) : 15 volt, aliran gas argon : 10 liter/menit, kecepatan pengelasan (v) : 175 mm/menit masukan panas (Q_w) : 689 J/mm., diameter elektroda : 2,4 mm, diameter tungsten : 3 mm, dan posisi pengelasan mendatar.

Terdapat empat metode atau variasi pengelasan yang digunakan yaitu pengelasan konvensional/tanpa perlakuan, pengelasan dengan *preheat* 200°C, pengelasan STT suhu 200°C, dan pengelasan TTT suhu 200°C.

Proses dan prosedur pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah ini :



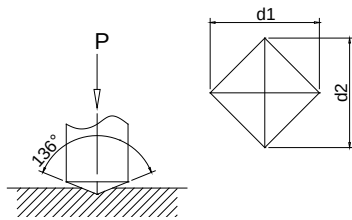
Gambar 2. Proses dan prosedur pengelasan : (a) tanpa perlakuan, (b) *preheat* 200°C, (c) STT suhu 200°C, (d) TTT suhu 200°C.

Pengujian/Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

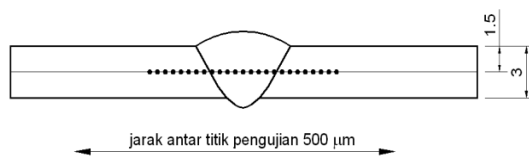
Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan dengan mengamati daerah las pada arah transversal dengan melakukan foto mikro. Untuk mengetahui bentuk struktur mikro dilakukan dengan mengambil empat penampang permukaan spesimen untuk dipoles dan dietsa dengan larutan *Hydrofluorid Acid* (HF).

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers* untuk mengetahui distribusi kekerasan di daerah *unaffected*, *HAZ*, dan daerah las dari hasil proses pengelasan, seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut ini :



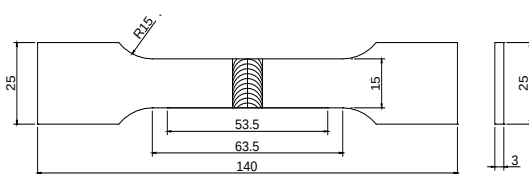
Gambar 3. Skema pengujian Vickers.



Gambar 4. Posisi Pengujian kekerasan.

Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan pada arah transversal dan spesimen dibuat sesuai dengan standar JIS Z2201 no. 6 (JIS, 1973) seperti terlihat pada Gambar 5. Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari material dasar dan material setelah proses pengelasan TIG sehingga dapat mengetahui sifat mekanis dari benda uji yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*) dan perpanjangan (*elongation*).

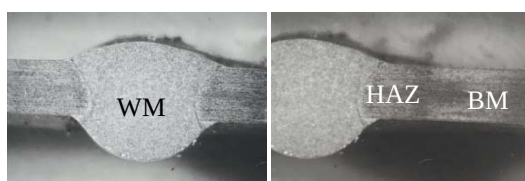


Gambar 5. Spesimen uji tarik berdasarkan JIS Z2201 no. 6.

HASIL PENELITIAN

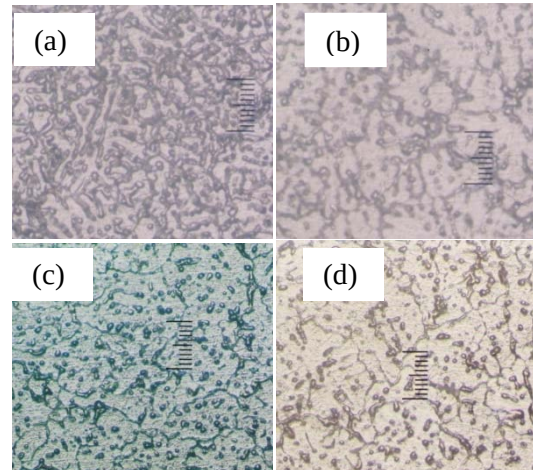
Hasil Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

Gambar 6 di bawah ini menunjukkan hasil foto makro sambungan las TIG yang terdiri dari logam las (WM), HAZ, dan logam induk (BM).



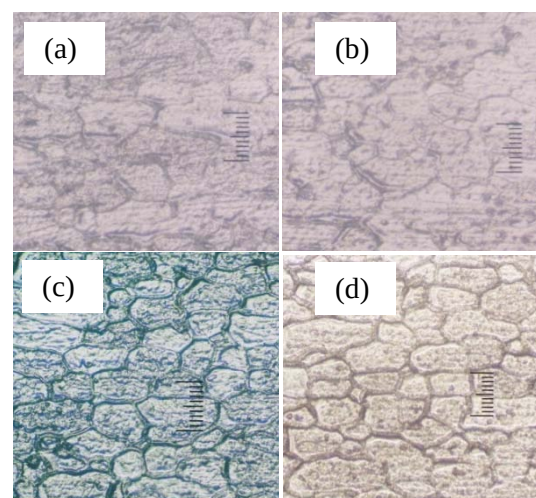
Gambar 6. Kampuh las.

Struktur mikro daerah las secara umum berbentuk dendrit dengan warna gelap yang menunjukkan fasa silikon-magnesium (Mg_2Si) dan atau silikon (Si), sedangkan warna terang merupakan fasa α aluminium seperti telah disampaikan oleh Chakrabarti dan Laughlin (2004). Ukuran dendrit semakin besar dengan adanya perlakuan STT atau TTT seperti terlihat pada Gambar 7.



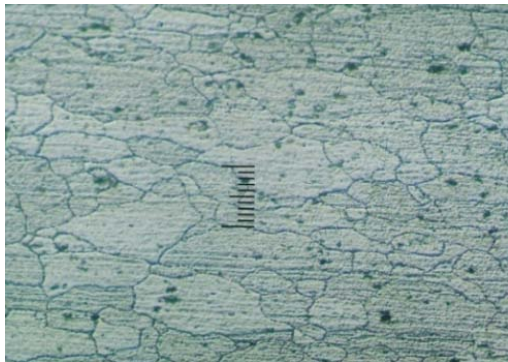
Gambar 7. Struktur mikro daerah las : (a) tanpa perlakuan, (b) *preheat* 200°C, (c) STT 200°C, (d) TTT 200°C.

Struktur mikro daerah HAZ menunjukkan terjadinya pertumbuhan butir pada saat pengelasan. Butir-butir pada daerah HAZ mengalami pengasaran dan berbentuk poligonal. Munculnya partikel halus pada daerah ini kemungkinan merupakan presipitat seperti terlihat pada Gambar 8 di bawah ini :



Gambar 8. Struktur mikro daerah HAZ : (a) tanpa perlakuan, (b) *preheat* 200°C, (c) STT 200°C, (d) TTT 200°C.

Struktur mikro daerah logam induk menunjukkan tidak adanya perbedaan yang terjadi baik pada metode las konvensional maupun dengan STT atau TTT. Hal ini dapat terjadi karena daerah logam induk tidak terkena proses pemanasan selama proses pengelasan. Struktur mikro pada daerah ini berupa butir halus memanjang dengan orientasi searah rol seperti yang terlihat pada Gambar 9 di bawah ini. Butir halus pada logam induk menyebabkan kekerasannya menjadi lebih tinggi.



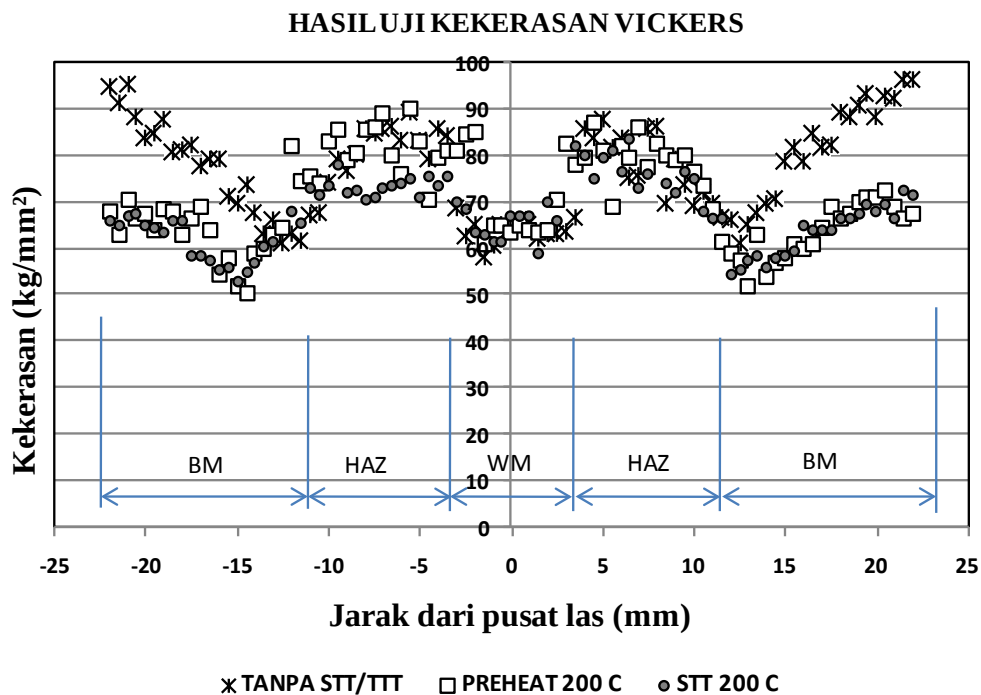
Gambar 9. Struktur mikro daerah logam induk (*base metal*).

Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Hasil uji kekerasan memperlihatkan bahwa kekerasan di daerah las memberikan hasil yang relatif sama baik yang tanpa STT/TTT maupun yang menggunakan STT/TTT, sedangkan bila dibandingkan dengan daerah HAZ maupun logam induk kekerasan di daerah las relatif lebih rendah. Di daerah HAZ kasar terjadi kenaikan kekerasan dan di daerah HAZ halus terjadi penurunan kekerasan. Hal ini disebabkan terjadinya proses rekristalisasi pada daerah HAZ halus. Proses STT/TTT juga menurunkan kekerasan di daerah logam induk, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa patah tarik terjadi di daerah batas antara HAZ kasar dan HAZ halus, hal ini disebabkan daerah batas ini mempunyai kekerasan yang relatif rendah sehingga merupakan daerah yang paling lemah. Permukaan patah berbentuk tegak lurus dan membentuk sudut 45° dengan arah gaya tariknya, hal ini menunjukkan terjadinya patah getas dan ulet pada spesimen uji.



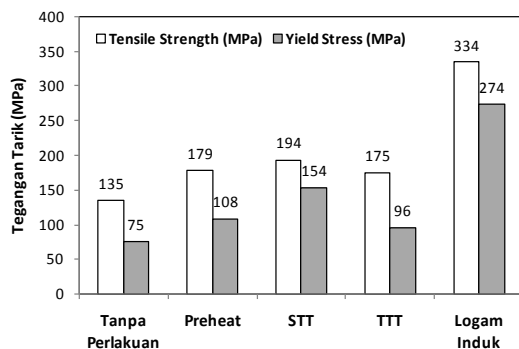
Gambar 10. Hasil pengujian kekerasan Vickers.



Gambar 11. Hasil uji tarik :
(1) tanpa perlakuan, (2) *preheat* 200°C, (3) STT 200°C, (4) TTT 200°C.

Proses STT/TTT dapat meningkatkan kekuatan tarik bila dibandingkan dengan las konvensional seperti terlihat pada Gambar 12.

Kekuatan tarik maksimal ($\sigma_{\max}$) tertinggi terjadi pada spesimen STT yaitu 194 MPa sedangkan yang terendah terjadi pada las tanpa perlakuan yaitu 135 MPa. Tegangan luluh (σ_y) tertinggi terjadi pada spesimen STT yaitu 154 MPa sedangkan yang terendah terjadi pada las tanpa perlakuan yaitu 75 MPa. Peningkatan kekuatan tarik ini terjadi akibat munculnya presipitat selama proses pengelasan.



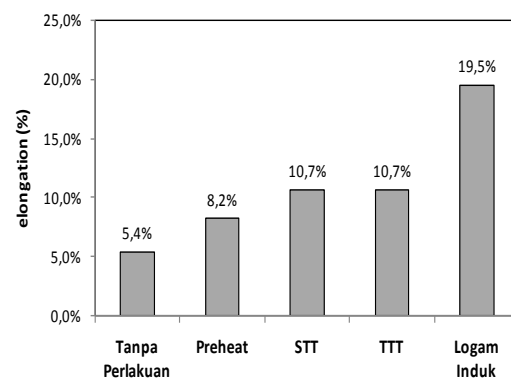
Gambar 12. Diagram perbandingan hasil uji tarik.

Tabel 2. Perbandingan kekuatan tarik dan tegangan luluh spesimen las.

Spec.	Kekuatan tarik (MPa)	% peningkatan	Tegangan luluh (MPa)	% peningkatan
Tanpa perlakuan	135	-	75	-
<i>Preheat</i>	179	32,5%	108	43,8%
STT	194	43,5%	154	104,4%
TTT	175	29,5%	96	27,8%
Logam induk	334	-	274	-

Tabel 2 menunjukkan perbandingan prosentasi kenaikan kekuatan tarik dan tegangan luluh antara spesimen las tanpa perlakuan dibandingkan dengan proses yang lainnya.

Keuletan spesimen uji atau yang sering dinyatakan dengan % *elongation* atau % perpanjangan setiap spesimen terlihat pada Gambar 13. Persen perpanjangan baik pengelasan dengan *preheat*, STT, dan TTT mengalami peningkatan dibandingkan dengan pengelasan tanpa perlakuan.



Gambar 13. Diagram perbandingan % *elongation*.

KESIMPULAN

Dari penelitian di atas dapat disimpulkan :

1. Proses *preheat* dan STT/TTT dapat mengurangi distorsi yang terjadi akibat proses pengelasan.
2. Proses *preheat* dan STT/TTT dapat mengubah ukuran dan bentuk butiran pada daerah las dan daerah HAZ.

3. Kekerasan pada daerah las menunjukkan hasil yang relatif sama baik yang menggunakan las konvensional/tanpa perlakuan maupun yang menggunakan perlakuan *preheat* dan STT/TTT. Kekerasan pada logam induk akan menurun bila diberi perlakuan *preheat* dan STT/TTT bila dibandingkan dengan yang tanpa perlakuan, kekerasan akan meningkat pada daerah HAZ kasar dan menurun pada daerah HAZ halus.
4. Penggunaan metode *preheat* dan STT/TTT selama proses pengelasan dapat meningkatkan kekuatan tarik di daerah las. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada proses STT 200°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Aa, E.M., Murugaiyan, A., 2006, *Influence of Trailing Heat Sink on the Welding Residual Stress Distribution*, ESRF.
- Barsanescu, P.D., Leitoiu, B., Goanta, V., Cantemir, D., Gherasim, S., 2011, *Reduction of Residual Stresses Induced by Welding in Monel Alloy Using Parallel Heat Welding*, International Journal of Academic Research vol. 3 no.1. part II, Baku, Azerbaijan.
- Burak, Ya.I., Besedina, L.P., Romanchuk, Ya.P., Kazimirov, A.A. and Morgun, V.P., 1977, *Controlling the Longitudinal Plastic Shrinkage of Metal During Welding*, Avt. Svarka.
- Burak, Ya.I., Romanchuk, Ya.P., Kazimirov, A.A. and Morgun, V.P., 1979, *Selection of the Optimum Fields for Preheating Plates Before Welding*, Avt. Svarka.
- Chakrabarti, D.J., Laughlin, D.E., 2004, *Phase Relation and Precipitation in Al-Mg-Si Alloys with Cu Additions*, Progress in Materials Science
- Guo, S., Li, X., 2001, *Welding Distortion Control of Thin Al Alloy Plate by Static Thermal Tensioning*, Journal Materials and Science Technology vol. 17 no. 1.
- JIS, 1973, "Non Ferrous Metal", Japanese International Standar.
- Li, J., Q Guan, Q., Shi, Y., Guo, D., Du, Y., Sun, Y., 2004, *Studies on Characteristics of Temperature Field During GTAW with a Trailing Heat Sink for Titanium Sheet*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 147, pages 328-335.
- Masubuchi, K., 1980, *Analysis of Welded Structures : Residual Stresses, Distortion, and their Consequences*, Pergamon Press.
- Preheating of Material*,
www.bocworldofwelding.com.au