

ANALISIS PERBANDINGAN METODE PENGELASAN UNTUK MENGENDALIKAN DISTORSI DAN TEGANGAN SISA – REVIEW

Heri Wibowo

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta
Email: heri_wb@uny.ac.id

ABSTRACT

Distortion and residual stress can have undesirable effects on weldments, such as repair work and higher fabrication costs. This study compares welding methods in reducing distortion and residual stress to obtain advantages and disadvantages. The study focused on reviewing several journals from previous research that focused on comparing welding methods. The results show that the Dynamically Controlled Low-Stress No Distortion (DC-LSND) welding method has the most significant ability to reduce distortion and residual stress and does not reduce the weld joint's fatigue resistance. The welding methods of static thermal tensioning (STT) and Transient thermal tensioning (TTT) can significantly decrease distortion and residual stress. They can improve the fatigue resistance of welded joints. The Double Side Arc Welding (DSAW) method effectively reduces distortion. However, the application in large construction welds is difficult to achieve.

Keywords: *distortion, residual stress, welding method*

ABSTRAK

Distorsi dan tegangan sisa memberikan pengaruh yang tidak diinginkan pada pengelasan seperti perlunya pekerjaan perbaikan dan meningkatnya biaya fabrikasi. Tujuan penelitian adalah membandingkan metode pengelasan untuk mereduksi distorsi dan tegangan sisa untuk memperoleh kelebihan dan kekurangan. Metode penelitian dilakukan dengan review beberapa literatur jurnal hasil penelitian sebelumnya yang difokuskan pada perbandingan metode pengelasan dalam mereduksi distorsi dan tegangan sisa. Hasil penelitian menunjukkan metode las dynamically controlled low stress no distortion (DC-LSND) memiliki kemampuan mereduksi distorsi dan tegangan sisa paling efektif dan tidak menurunkan ketahanan fatik sambungan las, metode las static thermal tensioning (STT) dan transient thermal tensioning (TTT) memiliki kemampuan mereduksi distorsi dan tegangan sisa dengan signifikan serta mampu meningkatkan ketahanan fatik sambungan las, metode las double side arc welding (DSAW) efektif mereduksi distorsi namun sulit diterapkan pada pengelasan konstruksi yang besar.

Kata kunci: distorsi, tegangan sisa, metode pengelasan

PENDAHULUAN

Distorsi dan tegangan sisa merupakan efek samping dari suatu proses pengelasan yang tidak diharapkan. Distorsi las merupakan perubahan bentuk setelah pengelasan yang menjadikan bentuk tidak sesuai desain awal, ukuran tidak presisi, serta butuh biaya perbaikan yang besar. Tegangan sisa merupakan tegangan yang merugikan yang terjadi setelah proses pengelasan. Tegangan sisa yang tinggi akan mempengaruhi kekuatan bahan dan kerusakan awal konstruksi las. Tegangan sisa sulit untuk diukur, namun

menjadi berbahaya jika dikombinasikan dengan tegangan saat pembebanan terjadi. Tegangan sisa yang tinggi menyebabkan turunnya ketahanan fatik, turunnya kekuatan tarik dan berkurangnya ketahanan korosi (Radaj, 1992). Oleh karena itu, tegangan sisa menjadi sangat penting untuk diketahui serta pengaruhnya pada efek kegagalan konstruksi.

Penelitian sebelumnya dilakukan Conrardy, dkk (2006) yang menyatakan pengelasan plat cenderung mudah terjadi distorsi, yang pada efek akhirnya meningkatkan biaya pada perbaikan las. Seperti dicontohkan pada pembuatan kapal di Australia dan Selandia

Baru yang menerapkan material *high strength steel* dengan ketebalan plat kurang dari 4 mm, distorsi akibat pengelasan terjadi pada sambungan plat tersebut menjadi permasalahan yang signifikan (Mcpherson, 2010). Menurut *The Welding Institute (TWI)*, biaya upah untuk memperbaiki distorsi pengelasan terhadap biaya upah total fabrikasi sebesar 30 % (Andritsos dan Prat, 2000).

Berbagai metode dan teknik pengelasan untuk mengurangi distorsi dan tegangan sisa telah dilakukan dengan memberi perlakuan tambahan pada pengelasan dengan memberi perlakuan mekanis maupun perlakuan thermal. Perlakuan mekanis dapat dilakukan dengan metode *Vibratory Weld Conditioning (VWC)* seperti yang dilakukan oleh Spooner, dkk (2008) dan Xu (2007) dan metode *stretching technology* seperti yang dilakukan oleh Triyono, dkk (2014). Kedua metode ini mampu memperbaiki ukuran butir pada las serta mampu menurunkan distorsi pengelasan, namun disertai penurunan kekuatan las.

Perlakuan thermal pada metode eksperimen pengelasan sudah banyak diteliti antara lain metode *static thermal tensioning (STT)*, metode *transient thermal tensioning (TTT)*, metode *double side arc welding (DSAW)* dan metode *dynamically controlled low stress no distortion (DC-LSND)*. Ilman, dkk (2016) dan Subeki, dkk (2017) meneliti perlakuan STT pada pengelasan Aluminium yang menyatakan bahwa metode ini dapat meminimalkan distorsi *buckling* serta mampu memperbaiki sifat fatiknya. Huang, dkk (2003),

Ilman, dkk (2013) dan Sauto, dkk (2015) meneliti perlakuan TTT pada pengelasan menyatakan bahwa distorsi las dapat dikontrol dan diminimalisasi melalui perlakuan TTT. Mochizuki (2007) menyelidiki metode DSAW mengungkapkan bahwa metode ini cukup efektif dalam mereduksi distorsi khususnya distorsi angular. Holder, dkk (2011) dan Shen (2013), Kala, dkk (2014), dan Wibowo, dkk (2019) meneliti metode DC-LSND dengan pendinginan CO₂ *snow* dan nitrogen cair pada las *gas metal arc welding (GMAW)* dengan hasil distorsi arah longitudinal dapat dikurangi dengan signifikan.

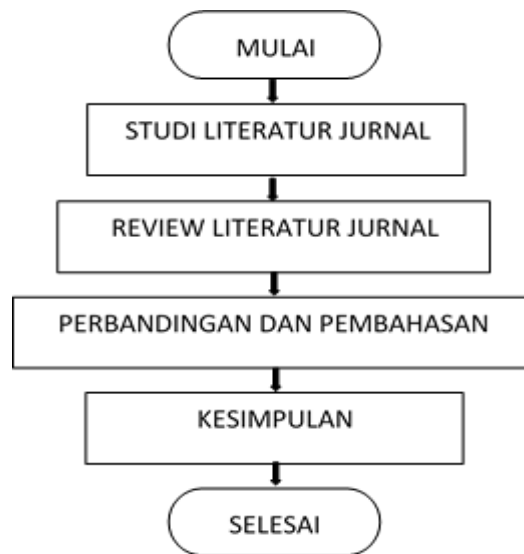
Tujuan penulisan paper ini adalah membandingkan beberapa metode pengelasan khususnya dengan perlakuan termal untuk mereduksi distorsi dan tegangan sisa dari beberapa jurnal, sehingga memperoleh kelebihan dan kekurangan dari metode metode yang telah diteliti.

METODE

Metode penelitian yang diterapkan yaitu metode *review* dengan mengambil beberapa literatur jurnal hasil penelitian sebelumnya. Penelitian difokuskan pada perbandingan beberapa metode pengelasan dalam kemampuannya mereduksi distorsi dan tegangan sisa. Metode pengelasan yang diperbandingkan ditampilkan pada Tabel 1. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Metode pengelasan dengan literatur penelitian sebelumnya.

No	Metode pengelasan	Peneliti
1	<i>Static thermal tensioning (STT)</i>	Ilman, dkk (2016) dan Subeki, dkk (2017)
2	<i>Transient thermal tensioning (TTT)</i>	Huang, dkk (2003), Ilman, dkk (2013) dan Sauto, dkk (2015)
3	<i>Double side arc welding (DSAW)</i>	Mochizuki (2007), Zhang (2009)
4	<i>Dynamically Controlled Low Stress No Distortion (DC-LSND)</i>	Holder, dkk (2011) dan Shen (2013), Kala, dkk (2014), dan Wibowo, dkk (2019)



Gambar 1. Diagram alir penelitian

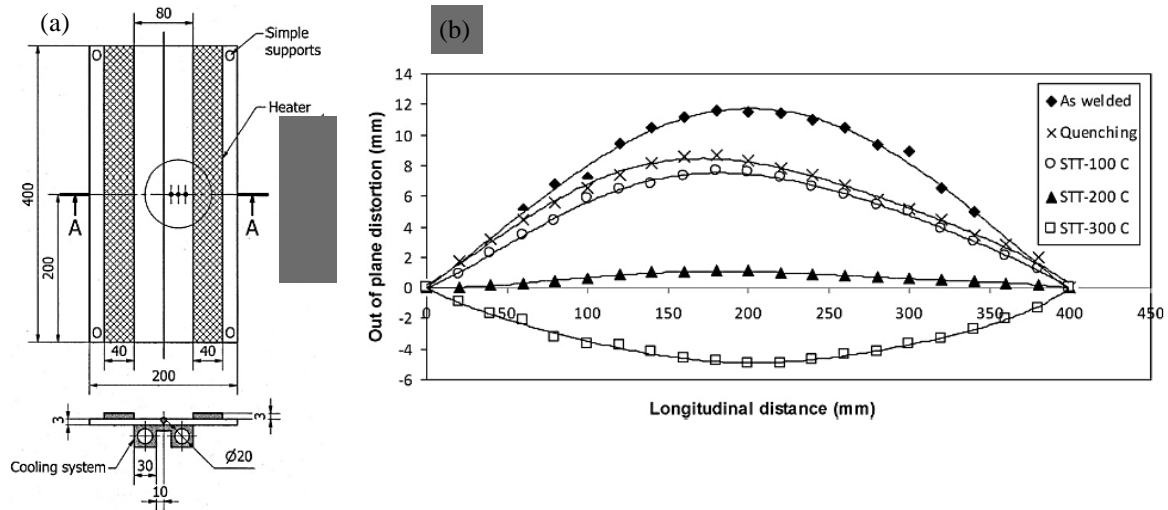
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan beberapa literatur yang dicermati, diketahui karakteristik beberapa metode pengelasan untuk mereduksi distorsi dan tegangan sisa. Metode tersebut secara garis besar dibagi menjadi metode pengelasan perlakuan mekanis dan perlakuan termal. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing disertai efek samping dari perlakuan tersebut. Pembahasan review metode pengelasan ini difokuskan pada metode pengelasan dengan perlakuan termal antara lain metode STT, TTT, DSAW, dan DC-LSND dengan merangkum hasil penelitian sebelumnya.

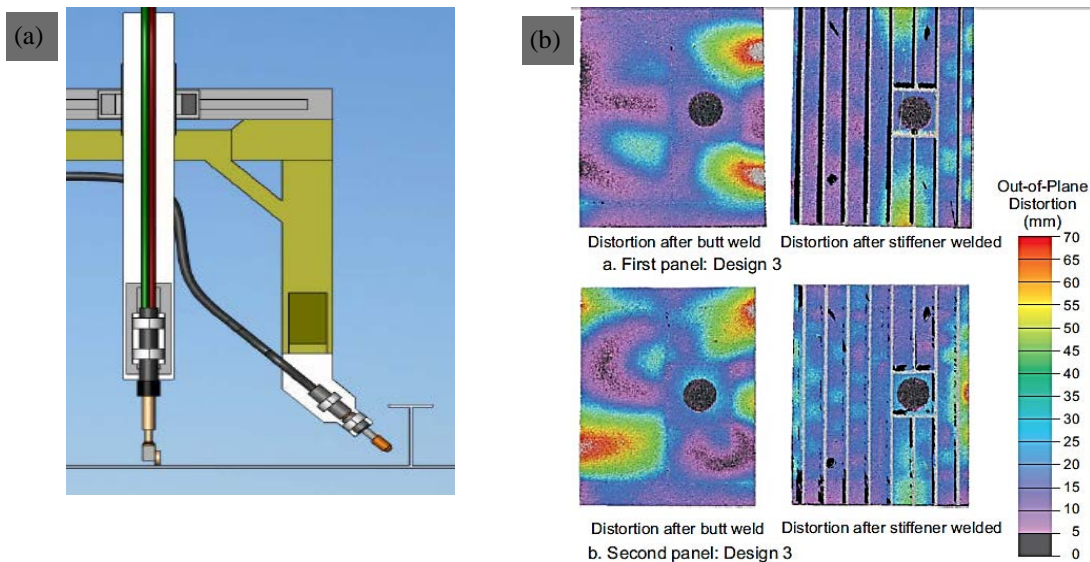
Metode pengelasan dengan STT telah diteliti oleh Iman, dkk (2016) dan Subeki, dkk (2017) yang meneliti distorsi dan tegangan sisa las pada plat tipis aluminium paduan. Perlakuan ini dilakukan dengan memberikan efek pendinginan dibagian bawah plat dan disisi bagian atas plat diberikan efek pemanasan dengan variasi suhu 100, 200 dan 300 °C seperti ditunjukkan Gambar 2a. Hasil menunjukkan metode STT dapat mereduksi distorsi dan tegangan sisa dengan signifikan. *Thermal*

Tensioning dapat menurunkan bentuk tegangan tekan plastis pada tahap pemanasan melalui pemberian tegangan awal. Hasil distorsi minimal dicapai pada perlakuan STT suhu 200 °C seperti ditampilkan Gambar 2b. Perlakuan STT pada suhu ini juga mampu memperbaiki laju perambatan retak fatik dibanding tanpa perlakuan.

Huang, dkk (2003) mengidentifikasi metode TTT pada *prototipe* benda uji untuk baja tipis panel kapal (Gambar 3a). Perlakuan dilakukan dengan memberikan pemanasan secara bergerak (*transient*) pada permukaan benda kerja pada jarak tertentu dari panas las. Hasil menunjukkan metode TTT pada plat baja tipis berhasil mengurangi distorsi *buckling* sepanjang dekat daerah las. Peningkatan kerataan pada benda uji juga ditunjang oleh *stiffness* dan *clamping* pada las seperti ditunjukkan Gambar 3b. Iman, dkk (2013) meneliti perlakuan TTT bahan aluminium paduan terhadap laju perambatan retak fatik, yang menyatakan perlakuan TTT secara umum mampu mengurangi laju perambatan retak fatik serta pemanasan di depan sumber panas las cukup efektif untuk mereduksi tegangan.



Gambar 2. (a) Mekanisme perlakuan STT , (b) hasil uji distorsi perlakuan STT (Ilman, dkk, 2016).



Gambar 3. a) Ilustrasi metode TTT dengan las GMAW, b) Hasil simulasi *out of plane distortion* dengan metode TTT (Huang, dkk, 2003)

Metode pengelasan dengan metode DSAW diteliti oleh Mochizuki (2007) dengan pemanasan las *tungsten inert gas* (TIG) pada sisi balik benda kerja untuk melawan distorsi sudut akibat tegangan termal (Gambar 4a). Hasil mengungkapkan bahwa metode ini cukup efektif dalam mereduksi distorsi khususnya distorsi angular seperti tampilan Gambar 4b. Namun demikian, metode ini sulit diaplikasikan pada pengelasan kapal karena tidak dimungkinkan memberikan pemanasan di sisi balik benda kerja. Zhang (2009) menyelidiki

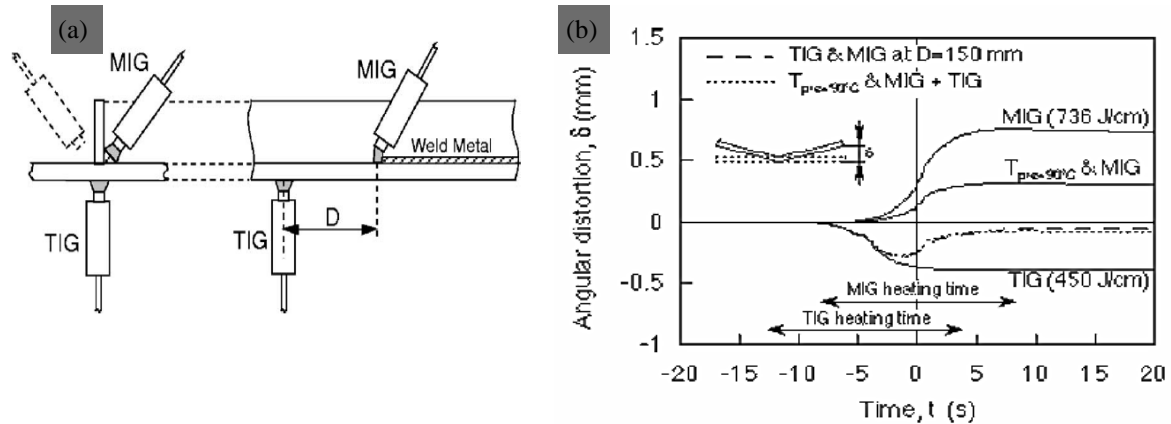
teknologi DSAW dengan sistem robot pada plat baja kekuatan tinggi untuk meningkatkan kualitas las khususnya terhadap distorsi sudut. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan jarak las pada kedua sisi tidak memberikan hubungan yang linier terhadap distorsi sudut hasil las.

Holder, dkk (2011) dan Shen (2013) menyelidiki metode DC-LSND berpendingin CO₂ *snow* untuk mengurangi distorsi pada plat baja DH-36 di industri perkapalan. Hasil

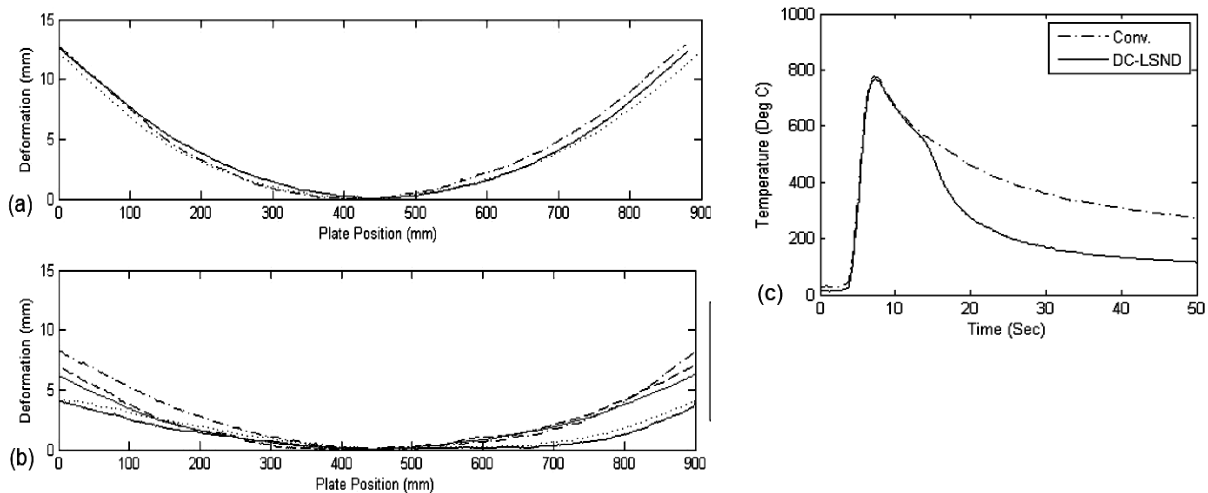
penelitian ini menunjukkan proses las dengan DC-LSND mampu merubah pola gradien temperatur pada daerah las dibanding las GMAW konvensional, yang ditunjukkan dalam Gambar 5c. Perbandingan hasil pengelasan antara las GMAW konvensional dengan proses las metode DC-LSND ditunjukkan pada Gambar 5a dan 5b. Hasil pengukuran distorsi menunjukkan pengurangan distorsi dengan metode DC-LSND mampu mengurangi distorsi pengelasan sebesar 81 %.

Metode pengelasan DC-LSND berpendingin nitrogen cair diselidiki oleh Kala, dkk (2014) dan Wibowo, dkk (2019) yang mengidentifikasi perlakuan pendingin saat proses pengelasan dengan mekanisme

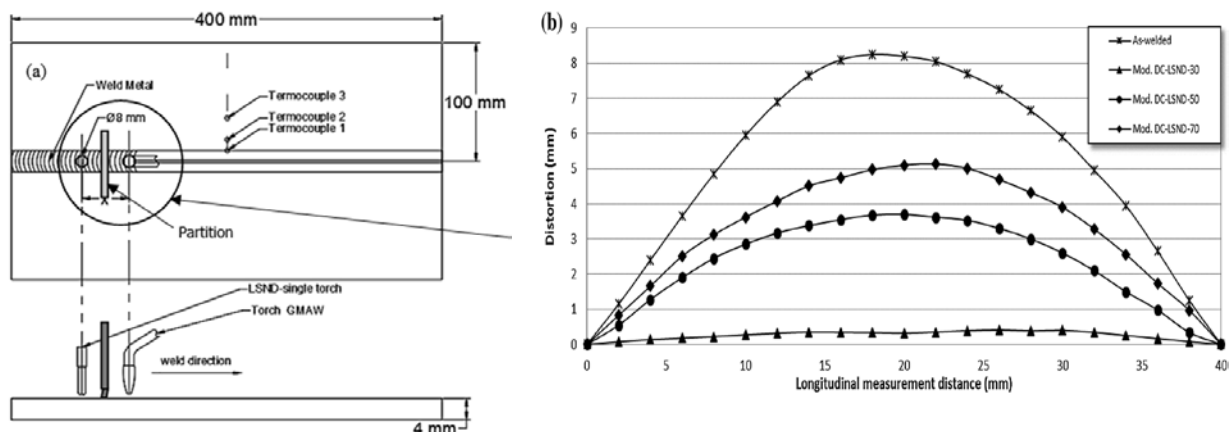
pendinginan terlihat pada Gambar 6a. Hasil menunjukkan terjadi perubahan siklus thermal yang signifikan akibat penerapan campuran nitrogen cair bersuhu $T=-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ dibanding tanpa perlakuan. Tingkat distorsi dapat ditekan sampai lebih dari 95% dengan memodifikasi *torch*. Laju perambatan retak pada pengujian fatik memiliki angka hampir sama antara perlakuan DC-LSND dan tanpa perlakuan, yang mengindikasikan tidak terjadi kerapuhan akibat perlakuan las. Tingkat distorsi mengalami penurunan ketika jarak *torch* las dan *nozzle* pendingin semakin dekat seperti ditunjukkan Gambar 6b. *Residual stress* juga mengalami penurunan cukup signifikan pada daerah logam las dan *fusion zone*.



Gambar 4. a) Ilustrasi metode DSAW dengan pemanasan TIG , b) Distorsi angular pada metode DSAW (Mochizuki, 2007)



Gambar 5. a) Hasil pengukuran distorsi las konvensional, (b) hasil pengukuran distorsi metode DC-LSND, c) Perbandingan gradien temperatur (Holder, dkk, 2011)



Gambar 6.(a) Mekanisme perlakuan DC-LSND , (b) hasil uji distorsi perlakuan DC-LSND (Wibowo, dkk, 2019)

Ringkasan hasil perbandingan metode pengelasan untuk mereduksi distorsi dan tegangan sisa berdasarkan kelebihan dan kekurangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan metode pengelasan untuk mereduksi distorsi dan tegangan sisa.

No	Metode Pengelasan	Media Pendingin/ Pemanas	Kelebihan	Kekurangan
1	STT	Air dan Pemanas	<ul style="list-style-type: none"> a) Efektif mereduksi distorsi dan tegangan sisa b) Meningkatkan ketahanan fatik sambungan las c) Media cukup murah 	Struktur peralatan bantu rumit melibatkan pendingin dan pemanas bersamaan
2	TTT	Semburan api/ pemanas bergerak	<ul style="list-style-type: none"> a) Efektif mereduksi distorsi dan tegangan sisa b) Meningkatkan ketahanan fatik sambungan las c) Efektif untuk diterapkan pada plat tipis 	Struktur peralatan semburan api yang bergerak bersama las cukup rumit.
3	DSAW	Pemanas las (sisi balik las)	Efektif mereduksi distorsi	Sulit diterapkan pada las kapal karena tidak dimungkinkan memberikan pemanasan di sisi balik benda kerja.
4	DC-LSND	CO ₂ snow/ Nitrogen cair	<ul style="list-style-type: none"> a) Efektif mereduksi distorsi dan tegangan sisa sampai lebih dari 95%. b) Ketahanan fatik tidak menurun akibat perlakuan c) Peralatan bantu cukup sederhana. 	Media pendingin cukup mahal dan boros.

SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Metode pengelasan DC-LSND memiliki kemampuan mereduksi distorsi dan

tegangan sisa paling efektif dibandingkan perlakuan lainnya dan tidak menurunkan ketahanan fatik sambungan las.

2. Metode pengelasan STT dan TTT memiliki kemampuan mereduksi distorsi dan

tegangan sisa serta mampu meningkatkan ketahanan fatik sambungan las.

3. Metode pengelasan DSAW efektif mereduksi distorsi namun sulit diterapkan pada pengelasan konstruksi yang besar.

DAFTAR RUJUKAN

- Radaj, D., 1992, *Heat Effects of Welding: Temperature field, Residual Stress and Distortion*, Springer, Verlag-Berlin.
- Conrardy, C., Huang, D., Harwig, D., Pong, P., Kvidahl, L., 2006, Practical welding techniques to minimize distortion in lightweight ship structures, *Journal of ship Production* vol 22, pp. 239-247.
- Mepheron, N.A., 2010, Correcting thin-plate distortion in ship building, *Welding Journal*.
- Spooner, S., David, S.A., Wang, X.L., Hubbard, C.R., Holden, T.M., and Root, J.H., 2008, Effect of vibratory stress relief during welding of thick stainless steel plate, *International journal of Engineering Science and Technology*.
- Xu, J., 2007, Effect of vibratory weld conditioning on the residual stresses and distortion in multipass girth-butt welded pipes, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*.
- Triyono, Sukanto, H., Muhayat, M., dan Sutyono, 2014, Effect of Stretching during Welding Process on the Weldability of Dissimilar Metals Resistance Spot Welded between Carbon Steel and Low Nickel Stainless Steel, *Advanced Materials Research*, vol 894, pp. 206-211.
- Ilman, M.N., Muslih, M.R., Subeki, N., Wibowo, H., 2016, Mitigating Distortion and Residual Stress by Static Thermal Tensioning to Improve Fatigue Crack Growth Performance of MIG AA5083 Welds, *Materials and Design* vol. 99, pp. 273–283.
- Subeki, N., Ilman, M.N., Iswanto, P.T., 2017, The Effect of Heating Temperature in Static Thermal Tensioning (STT) Welding on Mechanical Properties and Fatigue Crack Propagation Rate of FCAW in Steel A 36, *International Conference on Eng. Sci. and Nanotech*,30057.
- Ilman, M.N., Kusmono, Iswanto, P.T., 2013, Fatigue crack growth rate behavior of friction-stir aluminium alloy AA 2024-T3 welds under transient thermal tensioning, *Materials and Design*, pp. 235-243.
- Huang, T.D, Dong, P., Decan, L.A., and Harwig, D.D., 2003, Residual Stress and Distortions in Lightweight ship panel structures, *Technology Review Journal*.
- Souto, J., Ares, E., Alegre, P., 2015, Procedure in Reduction of Distortion in Welding Process by High Temperature Thermal Transient Tensioning, *Procedia Engineering* vol. 132, pp. 732–739.
- Mochizuki, 2007, Weld Distortion Control During Welding Process with Reverse-side Heating, *Journal of Engineering Materials and Technology* vol 29, ASME.
- Zhang, H., Yang, C., Zong, J., Chen, Y., and Chen, S., 2009, The effect of DSAW on preheating temperature in welding thick plate of high-strength low-alloy steel, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Holder R., Larkin, N., Li, H., Kuzmikova, L., and Pan, Z., 2011, Development of a DC-LSND welding process for GMAW on DH-36 Steel, 56th WTIA Annual Convergence 2011.

Shen, C., 2013, Low Distortion Welding for Shipbuilding Industry, Master of Engineering Thesis, Mechanical, Material and Mechatronic Engineering, University of Wollongong.

Kala, S.R., Siva Prasad, N., and Phanikumar, G., 2014, Studies on multipass welding with trailing heat sink considering phase transformation, *Journal of Materials Processing Technology*, vol 214, p : 1228-

1235.

Wibowo, H., Ilman, M.N., Iswanto, P.T., and Muslih, M.R., 2019, Reducing Distortion and Residual Stress Using Dynamically Controlled Low Stress No Distortion and Its Influence on Fatigue Crack Growth Properties of Steel Welded Joints, *Transactions of the Indian Institute of Metals*.