

OPTIMALISASI METODE CLAMPING SEBAGAI UPAYA MEREDUKSI DISTORSI PENGELASAN PADA PLAT BAJA KARBON RENDAH

(THE OPTIMIZATION OF CLAMPING METHOD IN REDUCING WELDING DISTORTION OF LOW CARBON STEEL)

Heri Wibowo

Program Studi Teknik Mesin FT Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo No. 1 Yogyakarta
e-mail: heriwibowo@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mereduksi tingkat distorsi pengelasan melalui metode *Clamping* sehingga diketahui parameter *Clamping* yang paling optimal terhadap distorsi dan ketahanan retak. Metode *Clamping* diterapkan pada benda kerja sebelum dilakukan pengelasan dengan 5 metode yang meliputi: tanpa *Clamping*, *Clamping* 2 titik, *Clamping* 4 titik, *Clamping* 6 titik dan *Clamping* 4 titik + penumpu. Pengujian dilakukan pada benda kerja las meliputi: pengujian distorsi (sudut, lengkung, dan puntir) dan penyusutan (transversal dan longitudinal) serta pengujian *bending* untuk ketahanan retak. Hasil penelitian menunjukkan metode *Clamping* mampu mengurangi tingkat distorsi akibat proses pengelasan. Metode *Clamping* 4 titik dianggap paling optimal dalam mereduksi distorsi dengan tingkat distorsi sudut $2,2^{\circ}$, distorsi lengkung 3,2 mm, dan tanpa distorsi puntir. Pengujian *bending* menunjukkan metode *Clamping* tidak menurunkan kualitas sambungan las berdasarkan kelolosan semua benda uji *bending*.

Kata kunci: *clamping*, distorsi, pengelasan

Abstract

This study aimed to reduce levels of distortion welding through Clamping method so that the parameters of the most optimal Clamping against distortion and cracking resistance would be recognized. The method was applied to the workpiece Clamping before welding by 5 methods that include: without Clamping, 2 points Clamping, 4 points Clamping, 6 points Clamping and 4 points + fulcrum campling. The tests carried out on the workpiece welding include: distortions test (angles, curves and twisting) and shrinkage tests (transverse and longitudinal) and bending test for crack resistance. The results show that Clamping method is capable on reducing the level of distortion due to the welding process. Four Clamping method is considered the most optimal point in reducing the level of distortion with 2.2° angular distortion, 3.2 mm bending distortion, and without twist distortion. Bending testing shows that Clamping method does not degrade the quality of welded joints based on the acceptance of all bending test specimen.

Keywords: clamping, distortion, welding

PENDAHULUAN

Teknik pengelasan secara intensif digunakan pada berbagai industri manufaktur, seperti otomotif, perkapalan, pesawat terbang, kereta api, konstruksi jembatan, bejana tekan, dan sebagainya. Teknik pengelasan ini dipandang memiliki berbagai keuntungan untuk produksi seperti fleksibilitas desain, hemat biaya, pengerjaan relatif mudah dan cepat. Disamping keuntungan tersebut, harus diakui teknik pengelasan menimbulkan efek yang merugikan, di antaranya perubahan struktur mikro; kekuatan dan ketangguhan bahan menurun; dan distorsi dan tegangan sisa.

Teknik pengelasan banyak digunakan di industri khususnya jenis las *GMAW* (*Gas Metal Arc Welding*). Hal ini dipandang lebih menguntungkan karena beberapa sifat yang baik antara lain: 1) konsentrasi busur yang tinggi, sehingga busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan, 2) arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik, 3) terak yang terbentuk cukup banyak, 4) ketangguhan dan elastisitas, kedap udara, ketidakpekaan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik dari pada yang dihasilkan dengan cara pengelasan lain (Wiryosumarto, 2000).

Faktor yang mempengaruhi adanya perubahan bentuk (distorsi) pada hasil las dapat dibagi dalam 2 kelompok. Kelompok pertama berhubungan dengan masukan

panas pengelasan yang dipengaruhi antara lain oleh tegangan las, arus las, kecepatan ukuran dan jenis elektroda, cara pengelasan, suhu pemanasan mula, tebal plat, geometri sambungan dan jumlah lapisan dari lasan. Sedang kelompok kedua disebabkan oleh penahan (*Clamping*) saat proses pengelasan. Cakupan kelompok ini antara lain: bentuk, ukuran, serta susunan batang-batang penahan dan urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000).

Setiap proses pengelasan, distorsi dan tegangan sisa merupakan efek yang sangat tidak diharapkan, namun efek ini tidak dapat dihindarkan. Efek ini sangat merugikan karena bentuk jadi tidak sesuai dengan desain, ukuran tidak akurat, biaya perbaikan yang besar dan kerusakan awal akibat tegangan sisa. 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 dan menjadi permasalahan yang signifikan (Mcpherson, 2010). Menurut *The Welding Institute (TWI)*, biaya untuk memperbaiki distorsi pengelasan terhadap biaya total fabrikasi sebesar 30% (Andritsos, 2000).

Usaha untuk meminimalkan distorsi pengelasan sudah banyak diteliti. Huang, *et al.* (2003) menyatakan distorsi las dapat dikontrol dan diminimisasi melalui peregang komponen, optimalisasi pemo-

tongan dan urutan pengelasan, pengurangan masukan panas dan *Transient Thermal Tensioning (TTT)*. Sukanto & Muhayat (2014) mengembangkan metode untuk mereduksi distorsi khususnya pada plat tipis berpenguat yaitu dengan metode *stretching technology*. Metode ini diawali dengan penarikan *sheeting* sehingga permukaan menjadi rata dan kencang. Hasil penelitian menunjukkan pengelasan dengan metode *stretching technology* yaitu pada *stretching* 0,05% mampu menurunkan distorsi sebesar 60% dibanding tanpa metode ini.

Melihat bahwa distorsi pada pengelasan merupakan persoalan penting yang perlu segera dipecahkan, maka pada penelitian ini akan memfokuskan optimalisasi teknik *Clamping* untuk mengurangi tingkat distorsi pada plat baja karbon rendah dengan ketebalan tertentu. Metode ini dipandang paling mudah dan murah dibanding dengan metode yang sudah banyak diteliti.

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dan pembanding untuk menentukan metode/prosedur pengelasan yang tepat sehingga dapat menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan distorsi. Adapun tujuan penelitian yang diharapkan adalah a) mengetahui tingkat efektivitas metode *Clamping* terhadap distorsi membujur, distorsi melintang, distorsi sudut, dan distorsi lengkung, b) mengetahui pengaruh metode *Clamping* terhadap ketahanan retak, dan c) mengetahui metode *Clamping* yang

paling optimal terhadap tingkat distorsi dan ketahanan retak.

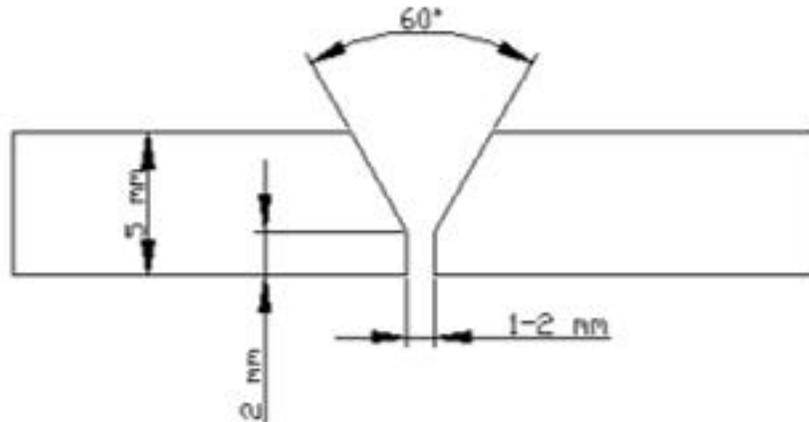
METODE PENELITIAN

Benda kerja menggunakan bahan plat *eyser* jenis baja karbon rendah ST 37 dengan ketebalan 4 mm. Sebelum dilakukan proses pengelasan, benda kerja dipotong dengan ukuran 300 mm x 100 mm, dibentuk alur V pada kedua ujungnya dan diletakkan pada tempat yang benar-benar datar dengan ukuran ditampilkan pada Gambar 1. Panjang penampang membujur, melintang dan sudut diukur untuk menentukan panjang awal dan sudut awal sebelum dilakukan pengelasan.

Jenis mesin las yang dipakai pada penelitian ini adalah Las *GMAW* dengan parameter pengelasan sebagai berikut:

Jenis plat dan tebal	: Baja karbon ST 37 dengan tebal 4 mm
Jenis las	: GMAW tipe MIG 250 dengan gas pelindung CO ₂
Jenis elektroda	: ER70S-6 berdiameter 0,8 mm
Kecepatan kawat las	: 8130 mm per menit (Miller Electric, 2012)
Arus pengelasan (I)	: 160 A (Kobesteel, 1991)
Voltase las	: 22-23 V (Kobesteel, 1991)
Kecepatan pengelasan	: 3,9 mm/detik atau 24 cm/menit (hasil percobaan pendahuluan paling optimal)

Langkah selanjutnya adalah proses pengelasan dengan memanfaatkan metode *Clamping*. Ada 5 metode *Clamping* yang



Gambar 1. Bentuk Plat untuk Sambungan *Butt Joint Tipe V*

akan diterapkan pada penelitian ini, yaitu a) tanpa *Clamping*, b) *Clamping* 2 titik, c) *Clamping* 4 titik, d) *Clamping* 6 titik, dan e) *Clamping* 4 titik + penumpu, seperti ditampilkan pada Gambar 2.

Pengujian distorsi meliputi 5 pengujian yang dilakukan setelah proses pengelasan dengan berbagai metode *Clamping* yang dilakukan. Benda hasil pengelasan tersebut kemudian diuji meliputi: distorsi longitudinal, distorsi melintang, distorsi sudut, distorsi lengkung dan distorsi puntir. Kelima jenis pengujian menggunakan empat peralatan utama yaitu *dial indicator*, penggaris, busur sudut dan jangka sorong.

Pada uji *bending* (lengkung) dilakukan dengan mesin *Universal Testing Machine (UTM)* (terkalibrasi) dengan tambahan alat *bending*. Benda uji dilakukan dengan beban tertentu sampai benda uji membentuk U dengan sudut minimal 120° dengan ukuran benda uji ditampilkan pada Gambar 3.

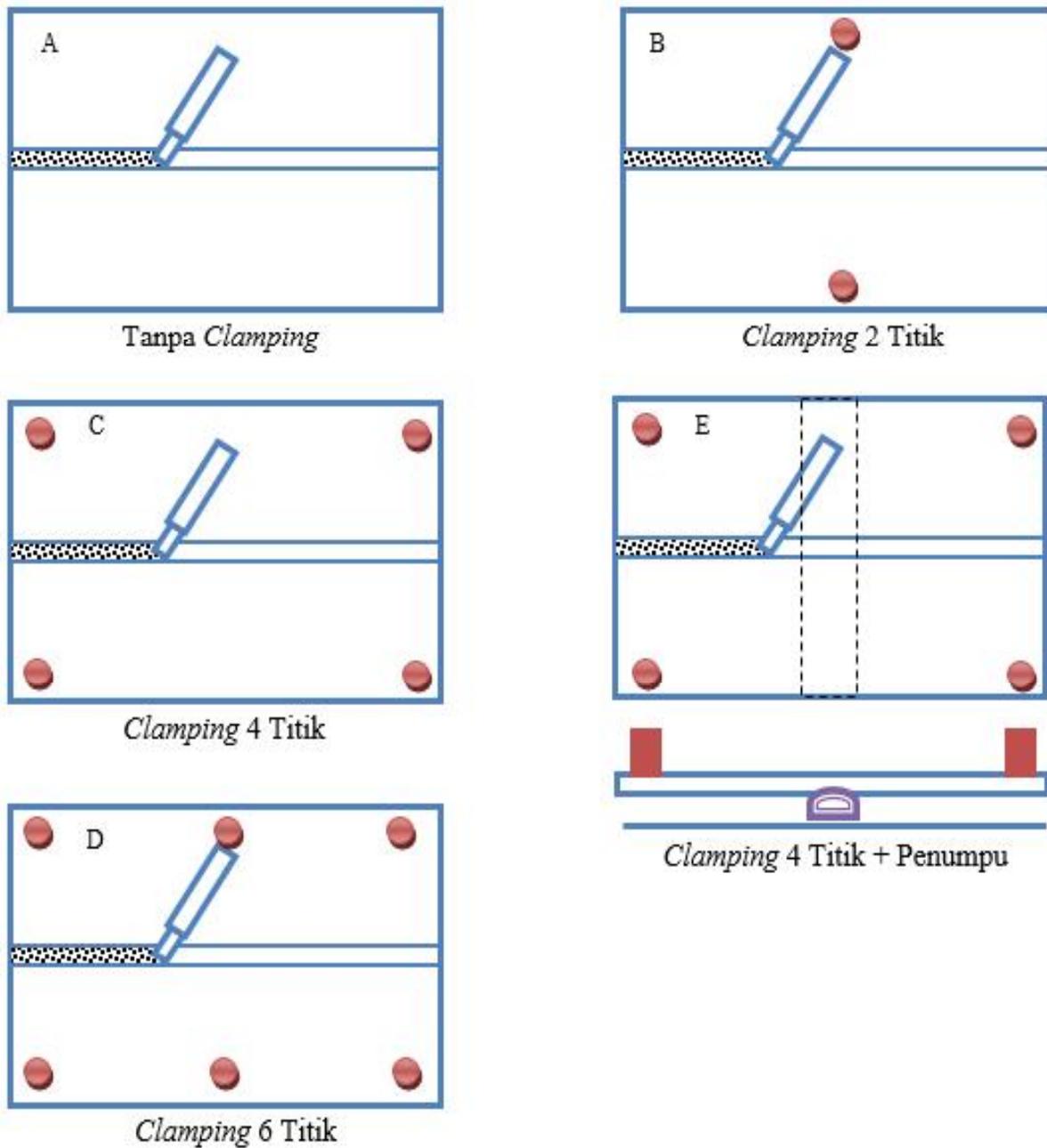
Kriteria batas lolos uji *bending*, dengan mengukur garis-garis retak pada bagian lengkungan benda uji (daerah logam las). Syarat batas maksimal jumlah garis retak pada bagian lengkungan mengacu standar uji bending standar ASTM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Distorsi

Hasil pengukuran penyusutan transversal (Δtr), penyusutan longitudinal (Δb), distorsi sudut ($\Delta \theta$), distorsi lengkung (Δs) dan distorsi puntir ($\Delta \phi$) pada ke 5 metode *Clamping* sambungan plat baja dapat dilihat pada Tabel 1.

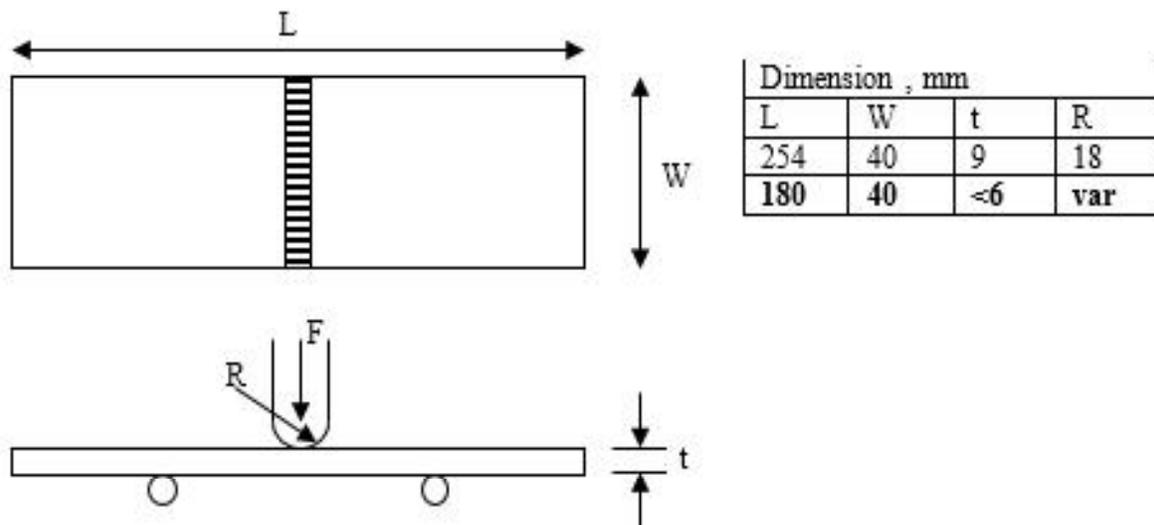
Hasil pengukuran distorsi sudut berdasarkan Tabel 1 menunjukkan distorsi sudut tanpa *Clamping* sebesar $4,5^{\circ}$ bisa di reduksi dengan pemberian berbagai metode *Clamping*. Metode *Clamping* dengan 4 titik penjepit mampu menurunkan distorsi sehingga hanya terjadi distorsi sudut $2,2^{\circ}$



Gambar 2. Metode Penempatan *Clamping* Saat Pengelasan: A) Tanpa *Clamping*, B) *Clamping* 2 Titik, C) *Clamping* 4 Titik, D) *Clamping* 6 Titik, E) *Clamping* 4 Titik + Penumpu

dan kualitas visual las (berdasar pengamatan visual) sama dengan kualitas las tanpa *Clamping*. Penurunan distorsi dengan metode *Clamping* ini disebabkan adanya gaya penahan pada titik-titik yang potensial

terjadi distorsi sudut, sehingga penjepit mampu memberi perlawanan pada distorsi. Selanjutnya metode *Clamping* 4 titik + penumpu mampu menurunkan distorsi paling signifikan yaitu menjadi distorsi sudut



Gambar 3. Benda Uji Lengkung Standar ASTM

0,75⁰ (waktu penjepitan 5 menit setelah proses pengelasan).

Hasil pengukuran distorsi lengkung, metode *Clamping* 4 titik mampu menurunkan distorsi lengkung menjadi 3,2 mm. Penurunan distorsi lengkung paling signifikan terjadi juga pada metode *Clamping* 4 titik + penumpu yaitu menjadi 1,7 mm. Penerapan *Clamping* ini juga diberikan selama 5 menit setelah proses pengelasan, sehingga suhu benda las sudah di bawah 100⁰ C.

Penurunan distorsi lengkung ini terjadi juga karena adanya penjepit yang menahan perubahan lengkungan dan distabilkan oleh penumpu sehingga perubahan lengkungan diberi perlawanan di penumpu sehingga menurunkan distorsi lengkung. Distorsi lengkung ini juga terjadi setelah *Clamping* dilepas dari benda kerja, yang berarti distorsi lengkung ini juga disebabkan oleh

tegangan thermal dengan arah memanjang (longitudinal) akibat proses pengelasan (Mochizuki & Toyoda, 2007).

Hasil pengukuran uji puntir berdasar Tabel 2 menunjukkan distorsi puntir hanya terjadi pada hasil las metode *Clamping* 4 titik + penumpu sebesar 1,5⁰ sedangkan metode yang lain tidak terjadi. Karakteristik lain akibat puntiran pada las ini adalah ketidaksegarisan (*mismatch*) sambungan hasil las, dimana *mismatch* ini dihindari dalam pengelasan. Distorsi puntir dan *mismatch* ini diakibatkan oleh tidak meratanya tekanan pada ke 4 *Clamping* dan tidak meratanya distorsi yang terjadi pada berbagai tempat.

Dari Gambar 4 dan 5 juga dapat dianalisa bahwa metode *Clamping* dengan 2 titik dan 6 titik penjepit cenderung meningkatkan distorsi sudut dan distorsi lengkung bukan mengurangi tingkat distorsi. Hal ini menunjukkan bahwa *Clamping* pada

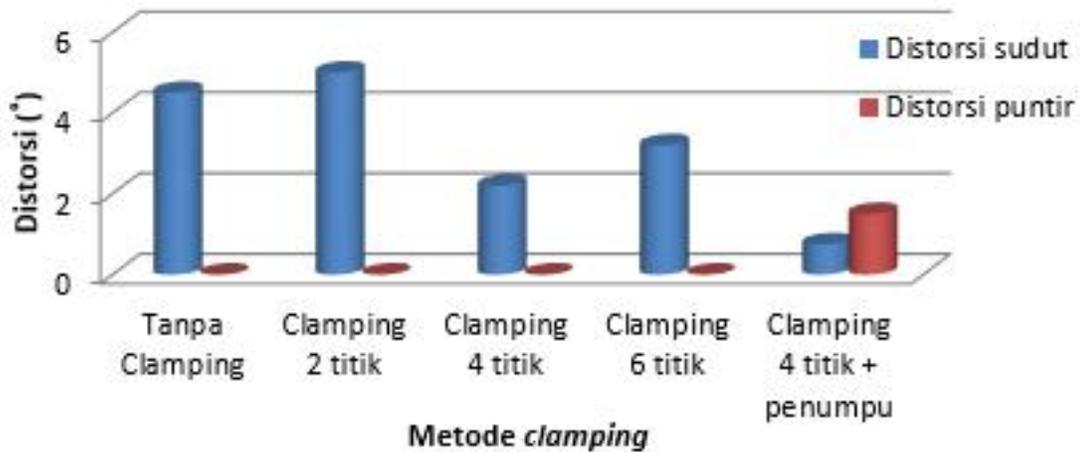
Tabel 1. Hasil Pengujian dan Komparasi Hasil Pengukuran Distorsi

Metode <i>Clamping</i>	Prosedur Las	Hasil pengukuran penyusutan		Hasil pengukuran distorsi			Keterangan
		(tr)	(b)	()	(s)	()	
Tanpa <i>Clamping</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dibuat alur V kedua benda <i>Setting</i> jarak <i>root</i> sesuai diameter elektroda (1 mm) <i>Tack weld</i> pada kedua ujung benda kerja jalur las Dilakukan pengelasan tanpa penambahan alat <i>Clamping</i> (Gambar 5 A) 	<0.1 mm	<0.1 mm	4,5 ⁰	6,2 mm	0 ⁰	Distorsi lengkung paling besar
<i>Clamping</i> 2 titik	<ul style="list-style-type: none"> Dibuat alur V kedua benda <i>Setting</i> jarak <i>root</i> sesuai diameter elektroda (1 mm) <i>Tack weld</i> pada kedua ujung benda kerja jalur las Dilakukan pengelasan dengan memberi <i>Clamping</i> pada 2 titik ujung las (Gambar 5 B) 	<0.1 mm	<0.1 mm	5,0 ⁰	6,05 mm	0 ⁰	Distorsi sudut paling besar
<i>Clamping</i> 4 titik	<ul style="list-style-type: none"> Dibuat alur V kedua benda <i>Setting</i> jarak <i>root</i> sesuai diameter elektroda (1 mm) <i>Tack weld</i> pada kedua ujung benda kerja jalur las Dilakukan pengelasan dengan memberi <i>Clamping</i> pada 4 titik ujung las (Gambar 5 C) 	<0.1 mm	<0.1 mm	2,2 ⁰	3,2 mm	0 ⁰	
<i>Clamping</i> 6 titik	<ul style="list-style-type: none"> Dibuat alur V kedua benda <i>Setting</i> jarak <i>root</i> sesuai diameter elektroda (1 mm) <i>Tack weld</i> pada kedua ujung benda kerja jalur las Dilakukan pengelasan dengan memberi <i>Clamping</i> pada 6 titik ujung las (Gambar 5 D) 	<0.1 mm	<0.1 mm	3,2 ⁰	4,3 mm	0 ⁰	
<i>Clamping</i> 4 titik + penumpu	<ul style="list-style-type: none"> Dibuat alur V kedua benda <i>Setting</i> jarak <i>root</i> sesuai diameter elektroda (1 mm) <i>Tack weld</i> pada kedua ujung benda kerja jalur las Dilakukan pengelasan dengan memberi <i>Clamping</i> pada 4 titik ujung las dan ditumpu di tengahnya (Gambar 5 E) 	<0.1 mm	<0.1 mm	0,75 ⁰	1,7 mm	1,5 ⁰	Distorsi sudut dan lengkung terkecil namun terjadi distorsi puntir dan <i>mismatch</i>

daerah pertengahan las tidak efektif dalam mereduksi distorsi. Hal ini bisa dijelaskan bahwa pada pertengahan las merupakan

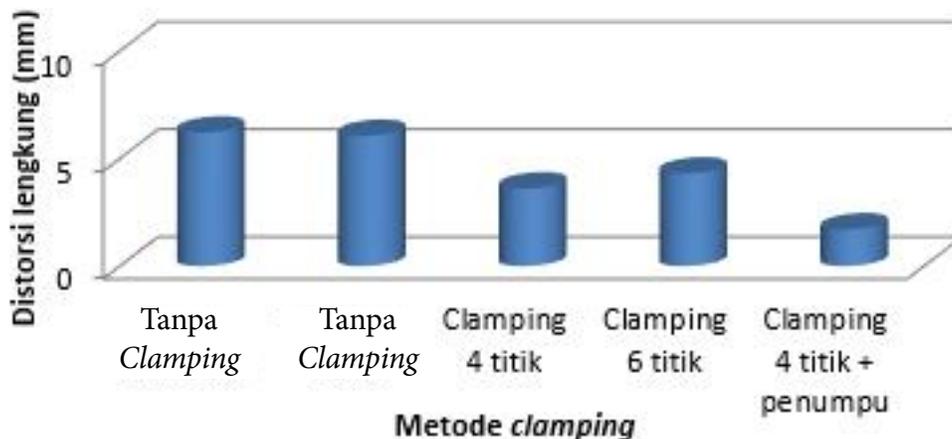
pusat kelengkungan pada distorsi lengkung, sehingga *Clamping* pada daerah tersebut justru akan menghambat netralisasi distorsi.

Distorsi sudut dan puntir pada metode clamping



Gambar 4. Distorsi Sudut yang Terjadi pada Berbagai Metode Clamping.

Distorsi Lengkung pada Metode Clamping



Gambar 5. Distorsi Lengkung yang Terjadi pada Berbagai Metode Clamping

Hasil Uji Bending

Pengujian ini dilakukan pada benda uji hasil pengelasan, dengan jenis pengujian yang dipakai adalah *root bend* dan *face bend*. Radius lengkung uji *bending* digunakan radius 10 mm (sudah memenuhi standar uji AWS, ketebalan plat 3 sampai 6 mm

mensyaratkan radius lengkung maksimal 12 mm).

Analisa pengujian bending dilakukan dengan mengukur panjang retak yang terjadi setelah pengujian *bending* (bisa merupakan penjumlahan retak sesuai kriteria lolos uji *bending*). Dari ukuran retak yang diperoleh

dipakai untuk mengetahui kelolosan uji *bending* dengan memastikan ukuran retak tidak melebihi batas kriteria lolos uji *bending* (standar AWS uji *bending*). Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian panjang retak pada tabel diatas terlihat bahwa pada pengujian *root bend* dan *face bend* untuk semua benda uji yaitu tanpa *Clamping*, *Clamping* 2 titik, *Clamping* 4 titik, *Clamping* 6 titik dan *Clamping* 4 titik + penumpu dinyatakan memenuhi kriteria lolos uji standar AWS (standar AWS mensyaratkan jumlah panjang garis-garis retak diukur pada semua arah yang terdapat pada permukaan lengkungan adalah 1/8 in (3 mm) dan retak ujung yang terbesar tidak melebihi 2/8 in (6 mm).

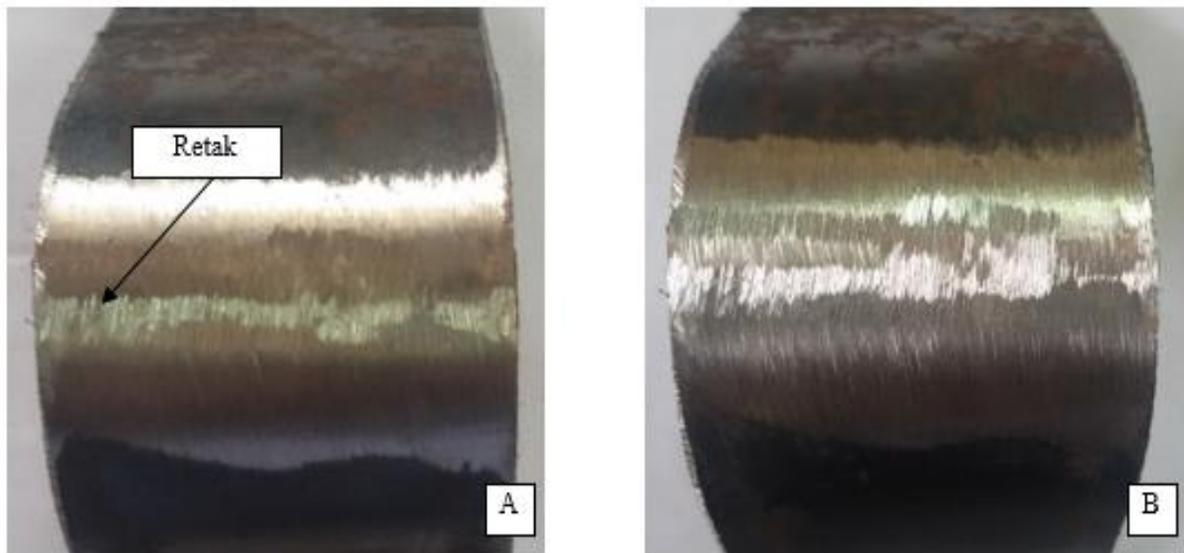
Walaupun semua benda uji *bending* memenuhi kriteria kelolosan uji *bending*, namun bila diperhatikan letak retakan setelah

bending (Gambar 6) terlihat semua berada pada daerah perbatasan logam las dan HAZ atau didaerah *fusión line*. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil pengelasan ini daerah yang paling lemah dan dimungkinkan terjadi awal retak berada di daerah *fusión line*. Penyebab daerah ini menjadi yang terlemah adalah fusi antara logam *filler* las dan logam induk tidak sempurna menyatu yang disebabkan beberapa faktor antara lain: unsur-unsur di logam *filler* yang tidak sesuai dengan logam induk, arus pengelasan terlalu kecil, dan kecepatan las terlalu tinggi.

Berdasarkan hasil uji *bending* diatas, didapatkan bahwa metode *Clamping* tidak menurunkan dan tidak mempengaruhi kualitas sambungan las khususnya ketahanan retak uji *bending*, yang dibuktikan dengan kelolosan benda uji *bending* untuk semua metode *Clamping*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Panjang Retak Hasil Pengujian *Bending*

Benda Uji Hasil Las	Panjang Retak Hasil Uji <i>Root Bend</i>		Panjang Retak Hasil Uji <i>Face Bend</i>		Keterangan
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 1	Spesimen 2	
	Tanpa <i>Clamping</i>	-	2 mm	-	
<i>Clamping</i> 2 titik	-	-	2 mm	-	Lolos uji (panjang retak max. 3 mm)
<i>Clamping</i> 4 titik	-	-	-	-	Lolos uji (batas lolos uji 3 mm)
<i>Clamping</i> 6 titik	3 mm	-	-	-	Lolos uji (batas lolos uji 3 mm)
<i>Clamping</i> 4 titik + penumpu	4 mm	2 mm	-	-	Lolos uji (batas lolos uji 3 mm pada benda uji terbaik)



Gambar 6. Bentuk Penampang Benda Uji Bending:
A) Root Bend Tanpa Clamping, B) Root Bend Clamping 4 Titik

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa dari beberapa metode yang diuji coba, didapatkan metode *Clamping* 4 titik yang paling optimal dalam mereduksi tingkat distorsi dengan tingkat distorsi sudut $2,2^{\circ}$, distorsi lengkung 3,2 mm, dan tanpa distorsi puntir. Hasil pengujian *bending* menunjukkan metode *Clamping* tidak menurunkan kualitas sambungan las khususnya ketahanan retak uji *bending*, yang diperlihatkan pada kelolosan semua benda uji bending pada semua metode *Clamping*. Berdasarkan hasil uji distorsi dan uji *bending*, diketahui bahwa metode *Clamping* 4 titik (*clamp* pada keempat sudut benda kerja) merupakan metode *Clamping* terbaik, walaupun tingkat distorsi belum mencapai *zero distortion*. Selanjutnya, agar mendapatkan tingkat distorsi seminimal

mungkin (*zero distortion*) perlu dilakukan penggabungan metode *Clamping* dengan metode lain seperti metode *Transient Thermal Tensioning* (TTT), metode *Stretching*, dan metode *Low Stress No Distortion* (LSND).

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society. 2002. *AWS D1.1: Struktur Welding Code--Steel*. An American National Standard, Canada.
- Andritsos, F., & Perez-Prat, J. 2000. *State of The Art Report on The Automation and Integration of Production Processes in Shipbuilding*. European Commission, Joint Research Centre, ISIS.
- Huang, T.D, Dong, P., Decan, L.A., & Harwig, D.D. 2003. *Residual Stress and Distortions in Lightweight Ship Panel Structures*. *Technology Review Journal*, 11(1), 1-26.

- Kobelco Steel. 1991. *Kobelco Welding Handbook*. USA: Kobe Steel Ltd.
- Mcperson, N.A. 2010. *Correcting Thin-Plate Distortion in Ship Building*. *Welding Journal*, 89(1), 30-34.
- Miller Electric Mfg. 2012. "Guidelines For Gas Metal Arc Welding (GMAW)". Illinois, USA: Miller Electric Mfg. Co.
- Mochizuki, M., & Toyoda, M. 2007. Weld Distortion Control during Welding Process with Reverse-Side Heating. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 129(2), 265-270.
- Sukanto, H., & Muhayat, N. 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*, 894, 206-211.
- Wiryo Sumarto, H., & Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.