

PENGARUH PROSES *TACKING* DAN *WELDING SEQUENCE* TERHADAP DISTORSI PADA PENGELASAN BUTT JOINT PIPA DENGAN *FLANGE* BERBAHAN CARBON STEEL

Nurman Pamungkas^{1*}, Nur Fitria Pujo Leksonowati², Mufti Fathonah Mufariz³, Rahman Hakim², Budi Baharudin², Mohamad Alif Dzulfiqar⁴, Ihsan Saputra², Adhe Aryswan², Muhammad Ryan Reynaldi²

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Politeknik Negeri Batam

² Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

³ Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Politeknik Negeri Batam

⁴ Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: nurman@polibatam.ac.id

Article history

Received:
08-12-2023

Accepted:
20-12-2023

Published:
31-12-2023

Copyright © 2023
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi isu distorsi pada *spool pipe* dalam konteks proses fabrikasi, dengan penekanan khusus pada sambungan pipa dengan *flange*. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menyelidiki dampak distorsi yang timbul akibat proses *tacking* selama *fit up* dan urutan *welding sequences* pada proses *welding*. Eksperimen dilakukan dengan metode pengambilan data melalui inspeksi konsentrisitas sambungan menggunakan alat Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159, dengan toleransi 1 mm dan 0,75 mm pada *capping weld*. Lokasi pengujian yang digunakan adalah *Fabrication Piping and Structure Onshore*, dengan ASTM A671 CC60-12 sebagai material pengujian. Seluruh pengujian dilakukan pada suhu ruang. Hasil inspeksi digunakan sebagai pedoman untuk proses perbaikan, memberikan arahan kepada *fitter* untuk memperbaiki sambungan, dan memungkinkan *welder* mempertahankan kepresisian sambungan pipa dengan *flange* agar tidak mengalami distorsi. Berdasarkan hasil percobaan, konsentrisitas sambungan pipa mencerminkan distorsi yang terjadi, sementara *sequences* pengelasan menunjukkan efek *counter* pada setiap langkah pengelasan. Hasil distorsi setelah pengelasan sebesar 0,75 mm sehingga masih sesuai dengan spesifikasi klien.

Kata Kunci: Distorsi, Spool Pipe, Tacking, Flange, Welding sequences

Abstract

This research explores the issue of distortion in spool pipes within the context of the fabrication process, with a specific focus on pipe connections with flanges. The main objective of this study is to investigate the impact of distortion caused by the tacking process during fit-up and the sequence of welding sequences in the welding process. The experiments were conducted by collecting data through inspections of concentricity in the connections using the Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159 tool, with tolerances set at 1 mm, and 0.75 mm for capping weld. Fabrication Piping and Structure Onshore served as the testing location, with ASTM A671 CC60-12 as the testing material. All tests were conducted at room temperature. The inspection results were used as a guide for the repair process, providing instructions to the Fitter for improving the connections and enabling the welder to maintain the precision of the pipe connections with flanges to avoid distortion. Based on the experimental results, the concentricity of pipe connections reflects the occurring distortion, while welding sequences show a counter effect at each welding step. The distortion after welding, measured at 0.75, still complies with client specifications

Keywords: Distortion, Spool pipe, Tacking, Flange, Welding sequences

1.0 PENDAHULUAN

Pengelasan pipa adalah elemen krusial dalam industri seperti gas, nuklir, minyak, air, dan kimia. Tantangan utamanya melibatkan kedalaman penetrasi dan distorsi yang dapat mempengaruhi aliran pada pipa serta menyebabkan perubahan bentuk diameter. Sambungan antar pelat dalam proses fabrikasi seringkali dilakukan melalui pengelasan, yang merupakan aspek krusial namun memunculkan sejumlah masalah signifikan. Penentuan sifat dan kekuatan sambungan las dapat dilakukan dengan mengidentifikasi cacat yang terjadi baik selama proses pengelasan maupun pada tahap pengerjaan material akibat dari proses mesin dan *fit up*. Dalam lingkup fabrikasi, permasalahan umum seringkali muncul, termasuk distorsi, *ovality*, dan *misalignment*. Deformasi akibat proses pengelasan berdampak pada akurasi pemasangan selama tahap fabrikasi, menurunkan kapasitas dukung terutama pada struktur besar, dan bahkan dapat mengurangi kinerja operasional. Koreksi deformasi yang dihasilkan oleh pengelasan seringkali memerlukan penggunaan peralatan tambahan dan proses perbaikan pasca pengelasan, yang tidak hanya membutuhkan waktu yang cukup lama tetapi juga menimbulkan biaya tambahan yang signifikan [1].

Tack weld digunakan untuk memperbaiki pengaturan las dan mencegah pelat atau komponen bergerak pada posisi yang tidak memadai yang dapat menyebabkan penurunan kualitas las. *Tack weld* mempengaruhi distorsi struktur yang dilas karena pengaruhnya terhadap kekakuan struktur. Pengelasan *tack*, teknik yang melibatkan pembuatan titik-titik pengelasan kecil untuk menahan bagian-bagian bersama-sama sebelum pengelasan penuh, sering digunakan dalam berbagai aplikasi pengelasan untuk menjaga stabilitas dan penyelarasan bagian. Meskipun demikian, jika tidak dilakukan dengan benar, dapat menyebabkan cacat pengelasan dan berpotensi mempengaruhi integritas struktural dari bagian yang dilas. Dalam konteks ini, penelitian oleh De Abreu et al mengevaluasi efek pengelasan *tack* pada *fatigue life* dari *electro welded wire reinforcement* (WWR) berkekuatan tinggi. Hasil eksperimen, yang dilakukan pada sampel dari balok beton pracetak, menunjukkan bahwa pengelasan *tack* yang dirancang dan dieksekusi dengan baik mampu menahan beban *fatigue* yang lebih tinggi daripada resistensi *fatigue* WWR yang ditentukan oleh kode teknis. Tes juga menunjukkan bahwa tidak ada kerusakan *fatigue* yang mampu mengurangi kapasitas beban tarik penguatan D20[2].

M. Panji dalam penelitiannya menggunakan bahan uji pipa baja ringan tipe A36. *Wire feeder* yang digunakan adalah ER70-S6 dengan sambungan *V-groove* sebagai jenis sambungan las, dengan variasi arus dan kecepatan las. Hasilnya, parameter pengelasan dengan arus pengelasan 170 A dan kecepatan pengelasan 0,9 mm/s menghasilkan kampuh las terluas serta distorsi terbesar. Selain itu, hasil tapers dan distorsi pada arah aksial lebih besar dibandingkan dengan arah melintang pipa[3]. Sedangkan A. Widyianto dalam papernya meneliti

pengaruh urutan pengelasan dan arus pengelasan terhadap distorsi, sifat mekanik, dan pengamatan metalurgi dalam pengelasan pipa orbital dengan sambungan ujung kotak SS 316L. Studi ini menggunakan variasi arus pengelasan (100 A, 110 A, dan 120 A) dan urutan pengelasan (satu urutan, dua urutan, tiga urutan, dan empat urutan). Hasil penelitian menunjukkan penurunan 51% dalam kekuatan tarik ultim dibandingkan dengan bahan dasar, dengan nilai *microhardness* tertinggi diamati dalam pengelasan dengan satu urutan [4] Sattari et al., dalam penelitian mereka, menyajikan analisis termomekanis tiga dimensi untuk menginvestigasi pengaruh *welding sequences* terhadap deformasi pada sambungan pipa AISI *Stainless Steel*. Proses pengelasan yang digunakan adalah TIG *single pass* dengan sambungan V pada pipa berdiameter 274 mm dan tebal 6,2 mm. Dalam penelitian ini, dilakukan sembilan *welding sequences*. Hasilnya menunjukkan bahwa pemilihan *welding sequences* yang tepat dapat mengurangi distorsi pada pipa yang dihasilkan dari proses pengelasan [5]. Penelitian terhadap *tack weld* dilakukan oleh M Abid, mengeksplorasi dampaknya terhadap distortions pengelasan dan *residual stress* pada pipa sambungan *flange* melalui teknik pengelasan MIG *butt joint*. Penelitian ini melibatkan kombinasi eksperimen lapangan dan pemodelan komputasional dengan menggunakan model *Finite Element* (FE). Mereka menyimpulkan bahwa perpindahan aksial dan kemiringan permukaan *flange* sangat bergantung pada *tack weld* dan sedikit bergantung pada *root gap* [6].

Penelitian tentang urutan pengelasan (*welding sequence*) telah menjadi fokus utama dalam berbagai studi, terutama dalam konteks aplikasi kecerdasan buatan (AI). Romero et al. menitikberatkan pada pandangan futuristik mengenai kemampuan AI dalam mengaplikasikan urutan pengelasan. Mereka membahas bagaimana teknik-teknik AI dapat digunakan untuk mengoptimalkan urutan pengelasan, dengan perhatian utama pada kualitas, deformasi, dan tekanan residual. Telah terbukti bahwa urutan pengelasan memiliki efek signifikan pada deformasi dan magnitudo yang lebih kecil untuk tekanan residual[7].

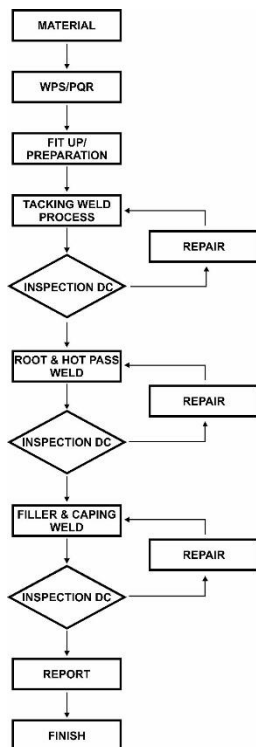
Di sisi lain, Wu, Wang, dan Kim mengembangkan kerangka kerja untuk optimasi urutan pengelasan (WSO) menggunakan *Artificial Neural Network* dan *Bees Algorithm*. Tujuan mereka adalah meminimalkan distorsi pengelasan pada komponen tabung paduan plat tipis Al-Mg-Si. Sebuah model *Artificial Neural Network* dilatih untuk memperkirakan distorsi residual dari urutan pengelasan acak. *Bees Algorithm* digunakan untuk memecahkan masalah WSO yang rumit. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa kerangka kerja ini dapat diterapkan dalam rekayasa praktis untuk mendapatkan urutan pengelasan optimal[8]. Selain itu, penelitian oleh Biswas dan Kumar menunjukkan bagaimana urutan pengelasan memiliki efek signifikan pada pola distorsi panel besar yang diperkuat secara ortogonal, yang biasanya digunakan dalam kapal dan struktur lepas pantai. Deformasi ini berdampak buruk pada penyesuaian dan penjajaran panel berikutnya dan juga dapat mengakibatkan hilangnya integritas struktural. Tingkat

distorsi tergantung pada beberapa parameter seperti kecepatan pengelasan, ketebalan pelat, arus pengelasan, tegangan, batasan yang diterapkan pada pekerjaan saat pengelasan, sejarah termal serta urutan pengelasan. Dalam penelitian ini, model *Finite Element* telah dikembangkan untuk mempelajari efek urutan pengelasan pada pola distorsi dan besarnya distorsi dalam fabrikasi panel pelat yang diperkuat secara ortogonal[9].

Berdasarkan serangkaian penelitian sebelumnya, tampaknya masih ada celah pengetahuan yang signifikan terkait dampak integrasi *tack weld* dan *welding sequences* pada distorsi dalam pengelasan *butt joint* pipa dengan sambungan *flange*. Meskipun distorsi pada sambungan pengelasan telah diidentifikasi sebagai aspek kritis dalam industri kelautan, dengan toleransi distorsi yang ditetapkan oleh berbagai standar dan kode industri sebesar $\pm 0,75$ milimeter [10], belum ada penelitian yang secara khusus mengeksplorasi dan mengintegrasikan *tack weld* dan *welding sequences* untuk memahami dampaknya terhadap distorsi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menutup celah ini dengan menentukan tingkat distorsi yang terjadi pada sambungan pipa dan *flange* selama proses *tacking* saat *fit up* dan *welding sequence* selama proses pengelasan. Penelitian ini juga akan mempertimbangkan pentingnya urutan yang tepat dari proses *tacking* dan *welding* dalam mengoptimalkan pengurangan dimensi distorsi

2.0 METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengukur dimensi spool pipe menggunakan alat pengukur digital, yakni Total Station. Proses pengukuran atau penginspeksian mengikuti prosedur sebagaimana tergambar pada Gambar 1.



Gambar 1: Prosedur Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data, material yang digunakan untuk bahan percobaan ialah ASTM A671 CC60-12 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi Pipa dan *Flange*

Pipa	EFW 38"x14.27 x 11.6M
ASTM A671	Batch No:SPR7142160
CC60-12	Heat No:QK602259
	Pipe No:1707J0892
	1162285 35 D
	4.0 MPA
<i>Flange</i>	SM:525
S.14731	CS:13214.PO
5.1.L1	HN:83547
	RF:46970
	38"

Setelah pemilihan material, pembuatan *Welding Procedure Specification* (WPS) dan *Procedure Qualification Record* (PQR) dilakukan untuk proses penyambungan melalui pengelasan. Dokumen ini kemudian diberikan kepada *welder* sebagai pedoman selama proses pengelasan. Dalam pembuatan WPS, keberadaan PQR yang telah terqualifikasi diperlukan untuk mendapatkan persetujuan penggunaan WPS. PQR yang terqualifikasi memiliki peran penting dalam menilai kekuatan pengelasan pada saat menyambung pipa dengan *flange*. Setelahnya, WPS dapat diterapkan sesuai dengan pedoman yang telah disusun oleh insinyur Pengelasan (*welding engineer*). Apabila terjadi kesalahan selama proses pengelasan, dapat dibuat *WPS repair* atau solusi akan diberikan oleh insinyur pengelasan untuk mengatasi masalah tersebut [11].

Selanjutnya, proses dilanjutkan ke tahap *fit up* dan *tack weld* dengan titik sesuai pada Gambar 2. Tujuan dari *tacking weld* adalah untuk menjaga posisi penyambungan pipa dengan *flange*. Urutan yang benar dalam melakukan proses *tack weld* penting untuk mencegah distorsi atau melampaui batas toleransi distorsi yang telah ditetapkan. Apabila terjadi distorsi melebihi batas toleransi (± 1 mm), maka diperlukan proses perbaikan.



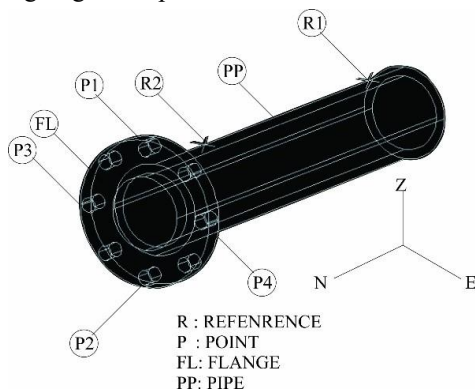
Gambar 2: Proses *Fit up* dan *Tack weld*

Setelah *tack weld* selesai, pengukuran dilakukan untuk mengetahui dimensi dari *spool pipe*. Alat yang digunakan adalah *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159*, *Measuring Tape*, *Angle Square Ruler*, *Digital Level*, *Curve O Mark*, dan Magnet Target Prisma. Pengukuran dilakukan di lokasi *workshop*. Posisi pengukuran dimensi *squareness* untuk mengetahui distorsi pada sambungan pipa dengan *flange* dilakukan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3: Posisi Pengambilan Data Pengukuran *Squareness*

Pengukuran awal diambil dari titik koordinat pada titik R1 dan R2 sebagai referensi untuk pengukuran *point 1, 2, 3, dan 4*. Data pengukuran diambil pada sumbu N dan Z, seperti yang tergambar pada Gambar 4.



Gambar 4: Titik Pengambilan Data

Setelah selesai pengukuran pada proses *tack weld*, dilanjutkan dengan pengelasan *root* dan *Hot pass* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Pengelasan *Root* dan *Hot Pass*

Penginspeksian kembali dilakukan untuk menilai besaran distorsi yang terjadi, sehingga dapat diatur *welding sequence* untuk mengembalikan ke posisi yang seharusnya. Toleransi yang diperbolehkan adalah ± 1 mm.

Langkah berikutnya adalah proses *filler* dan *capping*, untuk *finishing* pengelasan sambungan antara pipa dan *flange*. Selanjutnya, dilakukan inspeksi untuk mengevaluasi besaran distorsi pada sambungan tersebut. Proses pengukuran dilakukan dengan metode yang sama seperti pada saat proses *tack weld* dan *root/hot pass*. Toleransi yang diperbolehkan untuk distorsi adalah $\pm 0,75$ milimeter.



Gambar 6: Proses *Filler* dan *Capping Weld*

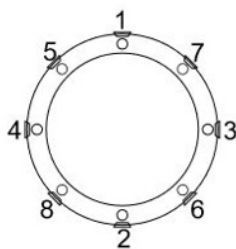
Langkah terakhir melibatkan pembuatan laporan sebagai dokumen resmi dari perusahaan.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

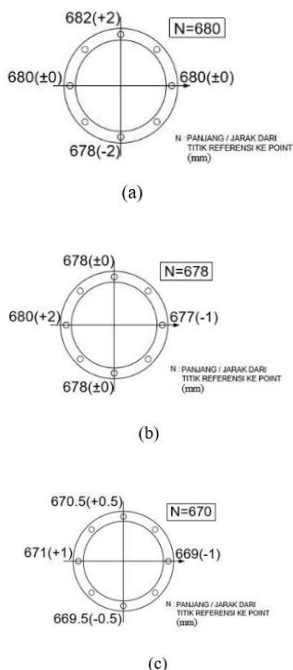
Percobaan ini diarahkan untuk menyesuaikan jumlah inspeksi yang dilakukan pada setiap tahap proses pengelasan. Ada empat tahap inspeksi dalam percobaan ini, dimulai dengan *fit-up*, dilanjutkan dengan proses *root* dan *hot pass*, dan diakhiri dengan proses *filler* dan *capping*. Setiap tahap pengelasan dipantau menggunakan alat pengukur *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159*, dengan tujuan menjaga agar sambungan pipa dengan *flange* tetap berada dalam batas toleransi yang ditetapkan, yaitu $\pm 0,75$ milimeter setelah pengelasan

3.1. Tahap Inspeksi *Fit up*

Inspeksi tahap pertama dilakukan setelah proses *fit-up* pada pipa dengan *flange* selesai. Empat titik inspeksi, yaitu titik 1, 2, 3, dan 4, telah ditentukan. Data diambil tiga kali untuk setiap titik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa jarak/panjang referensi ke titik *tack welding* pada percobaan ke-1, ke-2, dan ke-4 masih berada dalam batas toleransi. Hal ini dapat diterima karena konsentrisitas jaraknya kurang dari 1 setelah hasil pengukuran dikurangi dengan nilai N.



Gambar 7: *Tacking Sequences* (Titik inspeksi)



Gambar 8: Hasil Pengukuran (a) Percobaan 1. (b) Percobaan 2 (c) Percobaan 3

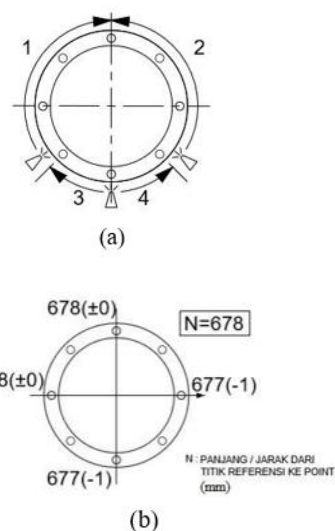
Tabel 2. Hasil pengukuran *Tacking Sequences*

	Pengukuran Percobaan ke (mm)		
	1	2	3
P1	682	678	670.5
P2	678	678	669.5
P3	680	680	671
P4	680	677	669
RUMUS	$N = (P1+P2+P3+P4)/4$		
HASIL	680	678	670

3.2. Tahap Inspeksi Proses *Root* dan *Hot pass*

Inspeksi tahap kedua dilakukan setelah proses *root* dan *Hot pass* weld selesai. Penghitungan dilakukan dengan metode yang sama seperti yang tercantum dalam Tabel 2, dengan penyesuaian jumlah percobaan. Proses pengelasan pada tahap *Root* dan *Hot pass* menggunakan metode GTAW dengan klasifikasi AWS ER70S-6. Elektroda memiliki diameter sebesar 2,4 mm, dan posisi pengelasan dilakukan pada 6G-Uphill. Hasil pengukuran *root* dan *Hot pass* ditampilkan pada Tabel 3.

Tahap ini melibatkan proses pengelasan pada sambungan pipa dengan *flange*, yang menyebabkan terjadinya distorsi. Meskipun demikian, distorsi yang terbentuk masih berada dalam batas toleransi, yaitu sebesar 1. Dalam tahap pengelasan *root* dan *hot pass*, hanya satu percobaan inspeksi dilakukan dengan menggunakan alat pengukur *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159*. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, nilai pada titik P1, P2, P3, dan P4 tetap berada dalam batas toleransi 1, sehingga dapat dinyatakan *accept*



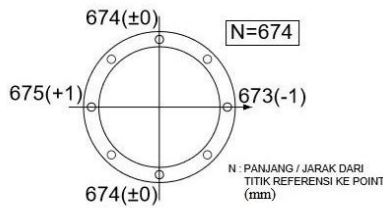
Gambar 9 : (a) *Welding sequence*, (b) Hasil Pengukuran Pada Proses *Root* dan *Hot pass*

Tabel 3. Hasil Konsentrisitas pada Tahap *Root* dan *Hot pass*

Selisih Konsentrisitas	
	1
P1	±0
P2	-1
P3	±0
P4	-1
Toleransi	±1
Status	<i>Accept</i>

3.3. Tahap Inspeksi *Filler Pass* Weld

Inspeksi tahap ketiga dilakukan setelah proses *Filler Pass* weld selesai. Hasil pengukuran pada percobaan 1 *root* dan *Hot pass* digunakan untuk menentukan urutan pengelasan pada *Filler Pass*. Proses perhitungan yang sama digunakan seperti yang tercantum dalam Tabel 4, dengan penyesuaian jumlah percobaan. Pada tahap *Filler Pass*, pengelasan menggunakan metode SMAW dengan elektroda klasifikasi AWS E7018-1. Elektroda memiliki diameter sebesar 2,6/3,2 mm, dan posisi pengelasan dilakukan pada 6G-Uphill. Satu percobaan inspeksi dilakukan dengan menggunakan alat pengukur *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159*. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, nilai pada titik P1, P2, P3, dan P4 tetap berada dalam batas toleransi 1, sehingga dapat dinyatakan diterima.



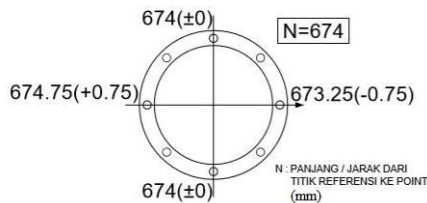
Gambar 10: Hasil inspeksi dengan alat *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159* pada *Filler Pass*

Tabel 4. Selisih Konsentrisitas pada Tahap *Filler Pass*

Selisih Konsentrisitas	
	1
P1	±0
P2	±0
P3	+1
P4	-1
Toleransi	±1
Status	<i>Accept</i>

3.4. Tahap Inspeksi *Capping Weld*

Inspeksi tahap keempat dilakukan setelah proses *capping weld* selesai. Hasil pengukuran pada percobaan *Filler Pass* digunakan untuk menentukan *welding sequences* pada proses *capping*. Proses perhitungan yang sama digunakan seperti yang tercantum dalam Tabel 2, dengan penyesuaian jumlah percobaan. Pada tahap *Capping* pengelasan, dilakukan menggunakan metode SMAW dengan elektroda berklasifikasi AWS E7018-1 berdiameter 2.6/3.2 mm, pada posisi 6G-Uphill. Inspeksi dilaksanakan dengan alat *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159* pada titik P1, P2, P3, dan P4 dengan hasil berada dalam batas toleransi ± 0.75 , sehingga dapat dianggap diterima.



Gambar 10 : Hasil Pengukuran Pada proses *Capping Weld*

Tabel 5 Selisih Konsentrisitas berdasarkan titik Referensi tahap *Capping*

Selisih Konsentrisitas	
	1
P1	±0
P2	±0
P3	+0.75
P4	-0.75
Toleransi	±0.75
Status	<i>Accept</i>

Pada tahap *Capping* pengelasan, dilaksanakan menggunakan metode SMAW dengan elektroda berklasifikasi AWS E7018-1 berdiameter 2.6/3.2 mm, pada posisi 6G-Uphill. Inspeksi dilaksanakan dengan alat *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159* pada titik P1, P2, P3, dan P4 dengan hasil berada dalam batas toleransi ± 0.75 , sehingga dapat dianggap diterima.

Tabel 6. Selisih Konsentrisitas Terukur dan Toleransi

Proses	P1	P2	P3	P4	Toleransi
<i>Before weld</i>	+0.5	-0.5	+1	-1	±1
<i>Root & Hot pass</i>	±0	-1	±0	-1	±1
<i>Filler Pass</i>	±0	±0	+1	-1	±1
<i>Caping</i>	±0	±0	+0.75	-0.75	±0.75

Setelah inspeksi konsentrisitas dilakukan pada keempat tahap pengelasan pipa dengan *flange*, dengan toleransi yang berbeda sesuai dengan Tabel 6, hasilnya menunjukkan bahwa distorsi yang terjadi pada pengelasan pipa dengan *flange* masih memenuhi spesifikasi klien, yaitu 0.75. Penemuan ini dapat diatribusikan pada fakta bahwa distorsi dalam pengelasan lebih terlihat pada tahap setelah pengelasan, khususnya pada saat proses *capping* telah dilakukan. Hasil konsentrisitas sambungan pipa mencerminkan distorsi yang terjadi. *Sequences* pengelasan yang dilakukan sesuai dengan Gambar 9(a) juga menunjukkan efek counter terhadap distorsi pada setiap langkah pengelasan. Hal ini berpengaruh pada nilai distorsi setelah pengelasan yang rendah, yakni sebesar 0,75. Temuan ini sejalan dengan pernyataan Y.P. Yang dalam penelitiannya mengenai tegangan sisa dan distorsi dalam jurnal pengelasan tahun 2021[12].

Distorsi dalam pengelasan terjadi karena ekspansi dan kontraksi dari lasan dan logam dasar selama proses pemanasan dan pendinginan. Ini berarti komponen yang dilas gagal mempertahankan bentuk aslinya dan mengalami perubahan bentuk atau merenggang di salah satu sisi. Pada tahap setelah pengelasan atau *capping*, distorsi lebih terlihat karena panas yang dihasilkan selama proses pengelasan telah mencapai titik maksimum, sehingga efek ekspansi dan kontraksi menjadi lebih signifikan. Dalam eksperimen penelitian ini, distorsi yang terjadi masih memenuhi *acceptance criteria* berdasarkan client requirement, yaitu 0.75. Selain itu, dalam penelitian ini, material melewati siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan, yang dapat meningkatkan peluang terjadinya distorsi. Beberapa cara dilakukan untuk mencegah atau mengurangi distorsi saat pengelasan, diantaranya dengan melakukan *tack weld*, pengelasan secara berurutan atau *sequence weld*, dan pengelasan selang-seling. Ketiga cara ini telah terbukti melalui eksperimen dalam penelitian ini dapat mengurangi distorsi hingga toleransi ± 0.75 .

4.0 KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dampak distorsi yang timbul akibat proses tacking selama *fit up* dan urutan *Welding sequences* pada proses pengelasan. Dalam penelitian ini, dilakukan *tack weld* dengan urutan pengelasan yang telah ditentukan. Dilakukan pengumpulan data dan pengukuran pada setiap tahap proses pengelasan menggunakan *Total Station Sokkia CX 101 S/N GP1159*. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi potensi distorsi dari batas toleransi yang ditetapkan oleh kode dan standar industri, yaitu $\pm 0,75$ mm dalam keadaan after welding. Inspeksi konsentrisitas pada keempat tahap pengelasan pipa dengan *flange* menunjukkan bahwa distorsi yang terjadi masih memenuhi spesifikasi klien, yaitu pada batas toleransi $\pm 0,75$. Distorsi lebih terlihat pada tahap setelah pengelasan, khususnya saat proses *capping*, akan tetapi, nilai distorsi setelah proses *capping* masih sesuai dengan client requirement. Distorsi terjadi karena ekspansi dan kontraksi dari lasan dan logam dasar selama proses pemanasan dan pendinginan. Dalam eksperimen ini, distorsi yang terjadi masih memenuhi *acceptance criteria* berdasarkan client requirement, yaitu 0.75. Beberapa cara, seperti melakukan *tack weld*, *welding sequence*, dan pengelasan selang-seling, telah terbukti dapat mengurangi distorsi berdasarkan eksperimen dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Wang, Z. Wang, P. Bai, S. Hu, Y. Zhang, and R. Wang, "Optimized segmented heat source for the numerical simulation of welding-induced deformation in large structures," *Advances in Engineering Software*, vol. 117, pp. 1–7, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.ADVENGSOFT.2017.12.005.
- [2] M. De Abreu, M. Iordachescu, and A. Valiente, "Fatigue life assessment of a tack welded high-strength wire mesh for reinforcement of precast concrete bridge girders," *Constr Build Mater*, vol. Volume 197, no. ISSN 0950-0618, pp. 421-427, 2019.
- [3] M. Panji, A. S. Baskoro, and A. Widyianto, "Effect of Welding Current and Welding Speed on Weld Geometry and Distortion in TIG Welding of A36 Mild Steel Pipe with V-Groove Joint," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, , 694, 012026, IOP Publishing, 2019.
- [4] Agus Widyianto, Ario Sunar Baskoro, Ganjar Kiswanto, and M. Fathin Ginanjar Ganeswara, "Effect of *Welding sequence* and welding current on distortion, mechanical properties and metallurgical observations of Orbital pipe welding on SS 316L," *Eastern - European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. (12 (110)), pp. 22–31, 2021, doi: DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228161.
- [5] I. Sattari-Far and Y. Javadi, "Influence of *welding sequence* on welding distortions in pipes," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 85, no. Published by Elsevier Ltd., pp. 265–274, Jul. 2007, doi: doi:10.1016/j.ijpvp.2007.07.003.
- [6] M. Abid and M. Siddique, "Numerical simulation to study the effect of tack welds and *root gap* on welding deformations and residual stresses of a pipe-flange joint," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 82, no. 2005 Elsevier Ltd, pp. 860–871, Jun. 2005.
- [7] Romero, Jesus Saha, Baidya Toledo, Gengis, Beltran-Bqz, and David, " *Welding sequence Optimization Using Artificial Intelligence Techniques, an Overview*," *SSRG International Journal of Computer Science and Engineering (SSRG-IJCSE)*, vol. 3, pp. 91–95, Jan. 2016.
- [8] Chunbiao Wu, Chao Wang, and Jae-Woong Kim, " *Welding sequence optimization to reduce welding distortion based on coupled artificial neural network and swarm intelligence algorithm*," *Eng Appl Artif Intell*, vol. Volume 114, no. ISSN 0952-1976, pp. 105–142, 2022.
- [9] Biswas, Pankaj, Anil Kumar, and Deepati, "A Study on the Effect of *Welding sequence* in Fabrication of Large Stiffened Plate Panels," *J. Marine. Sci. Appl*, vol. 10, Jan. 2011.
- [10] PT SMOE, "Client Specification (Private file)," Batam, 2018.
- [11] PT SMOE, "WPS and PQR (Private file)," Batam, 2018.
- [12] Y. P. Yang, "Recent Advances in Prediction of Weld Residual Stress and Distortion — Part 2," *Weld J*, vol. 100, no. 6, pp. 193S-206S, Jun. 2021, doi: 10.29391/2021.100.016.