

Analisis pengaruh arus pengelasan dan urutan pengelasan pada pengelasan pipa orbital terhadap lebar manik las dan distorsi pada pipa baja tahan karat 316L

Agus Widyianto¹, Ario Sunar Baskoro¹, Gandjar Kiswanto¹, Muhamad Fathin Ginanjar Ganeswara¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
Email korespondensi: ario@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pada studi ini pengaruh dari arus pengelasan dan urutan pengelasan terhadap lebar manik las dan distorsi pada pengelasan pada pengelasan pipa orbital dengan sambungan tumpul pipa SS 316L telah dilakukan. Variasi parameter pengelasan pipa orbital yang digunakan adalah arus pengelasan dan urutan pengelasan. Arus pengelasan yang digunakan adalah 100 A, 110 A dan 120 A, sedangkan urutan pengelasan yang digunakan adalah 1 urutan, 2 urutan, 3 urutan dan 4 urutan. Hasil dari pengelasan akan dianalisis dari lebar manik las luar pipa dan distorsi yang terjadi. Lebar manik las luar pipa dan distorsi diukur menggunakan mikroskop digital dan mikrometer luar. Metode pengukuran diameter sebelum pengelasan dan sesudah pengelasan diterapkan untuk mencari besar distorsi. Hasilnya menunjukkan bahwa menaikkan arus pengelasan akan meningkatkan lebar manik las luar pipa dan distorsi, tetapi jika menambah urutan pengelasan akan menurunkan lebar manik las luar pipa dan menaikkan distorsi. Menaikkan arus pengelasan dapat memperlebar manik las hingga 21%, tetapi jika menambah urutan pengelasan dapat mempersempit manik las sampai 18%. Maksimum distorsi aksial, distorsi melintang, keovalan dan ketirusan terjadi pada arus pengelasan 120 A dengan 4 urutan pengelasan masing-masing adalah 445 μm , 300 μm , 195 μm dan 275 μm .

Kata kunci: pengelasan pipa orbital, SS 316L, urutan pengelasan, distorsi.

Abstract

In this study, the effect of welding current and welding sequence on weld bead width and welding distortion in orbital pipe welding with SS 316L pipe butt joints has been carried out. The variation of the orbital pipe welding parameters used is welding current and welding sequence. The welding current used is 100 A, 110 A, and 120 A, while the welding sequence used is one sequence, two sequences, three sequences, and four sequences. The welding results will be analyzed from the outer bead width and distortion that occurs. Outer bead width and distortion were measured using a digital microscope and an outer micrometer. The method of measuring the diameter before welding and after welding is applied to find distortion. The results show that increasing welding current will increase outer bead width and distortion, but raising welding sequence will decrease outer bead width and increase distortion. Increasing welding current can widen the bead width by 21%, but raising the welding sequence can narrow the bead width by 18%. The maximum axial distortion, transverse distortion, ovality, and tapering occurred at a welding current of 120 A with four welding sequences of 445 μm , 300 μm , 195 μm , and 275 μm , respectively.

Keywords: orbital pipe welding, SS 316 L, welding sequence, distortion.

1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan salah satu yang memegang peranan penting dalam bidang konstruksi maupun manufaktur. Hal ini menjadikan pengelasan sebagai bagian penting dari perindustrian. Seiring dengan perkembangan zaman, maka berkembang pula pengelasan yang ada serta pemutakhiran teknologi di

bidang pengelasan. Pada dasarnya perkembangan teknologi tersebut bertujuan untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) adalah salah satu jenis las busur listrik yang banyak digunakan dalam industri karena dapat menggabungkan berbagai jenis material logam baik

sejenis maupun tidak sejenis (*similar or dissimilar metal joint*) dengan hasil kualitas lasan yang tinggi. Proses peleburan logam las terjadi disebabkan pengaruh panas dari busur listrik yang timbul diantara elektroda tungsten (*non-consumable*) dengan benda kerja. Area busur listrik akan dilindungi dari atmosfer oleh gas tidak aktif seperti helium dan argon yang mengalir melalui nosel obor las. GTAW dapat dioperasikan tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) atau disebut juga dengan istilah *autogenous welds* [1], untuk menggabungkan material tipis dengan ketebalan kurang dari atau sama dengan 3 mm [2, 3]. Sedangkan *filler* digunakan ketika menyambungkan material dengan ketebalan lebih dari 3 mm. Pengelasan dengan material tebal, umumnya membutuhkan persiapan pada ujung sambungan dan beberapa tahap fase las untuk mengisi celah sambungan secara penuh. Material yang dilas dapat berupa plat maupun pipa dengan berbagai jenis sambungan.

Pipa merupakan salah satu dari beberapa material yang digunakan sejak dulu untuk sarana transportasi seperti air, minyak maupun gas. Ini merupakan salah satu transportasi yang ekonomis jika dibandingkan dengan sarana transportasi yang lainnya. Sekarang ini pipa banyak digunakan untuk mentransportasikan barang dengan jarak yang jauh. Sehingga memerlukan suatu konstruksi pipa maupun sambungan pipa untuk meningkatkan produktifitas salah satunya dengan pengelasan pipa [4].

Pengelasan pipa banyak digunakan di hampir setiap aplikasi teknik contohnya adalah industri minyak dan gas, industri otomotif, pembangkit listrik tenaga nuklir dan termal dan lain-lain. Sehingga secara tidak langsung pengelasan pipa memiliki efek langsung pada kualitas produk maupun keselamatan [5, 6]. Peningkatan penggunaan gas alam yang diprediksi 20 tahun kedepan akan berdampak pada industri minyak dan gas yang ada, sehingga industri-industri tersebut menuntut penggunaan pengelasan pipa yang lebih luas [7]. Dengan meningkatnya penggunaan pengelasan pipa ini, maka dibutuhkan sebuah pipa untuk mentransmisikan gas tersebut dan hal ini membutuhkan investasi yang cukup besar. Sehingga perlu adanya pipa yang dapat mentransmisikan gas dengan tekanan operasi yang tinggi dan pemilihan material yang berkekuatan tinggi serta memiliki ketangguhan, keuletan yang lebih tinggi juga. Tetapi yang diharapkan dalam membangun sistem transmisi pipa ini memiliki biaya yang rendah.

Permasalahan yang sering timbul dalam pengelasan pipa adalah kedalaman penetrasi, lebar manik las serta distorsi yang tidak bisa stabil, terutama pada pengelasan pipa orbital. Karena kedalaman penetrasi las, lebar manik las dan besarnya distorsi merupakan

salah satu faktor penting dalam menentukan kualitas hasil lasan, khususnya dalam pengelasan pipa orbital. Peningkatan kedalaman penetrasi dan lebar manik las dalam proses pengelasan GTAW dapat dilakukan dengan cara menaikkan daya arus lasan atau memperlambat kecepatan pengelasan. Akan tetapi, kenaikan arus lasan, penurunan kecepatan atau penambahan urutan pengelasan dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan distorsi akibat tingginya *heat input* dan temperatur [6, 8].

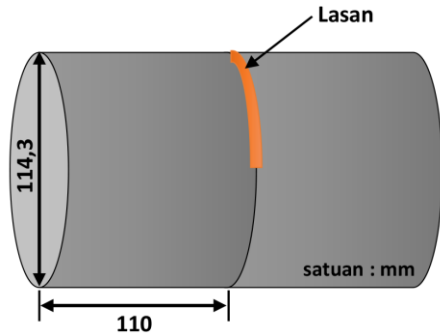
Beberapa peneliti sebelumnya meneliti tentang pengaruh urutan pengelasan terhadap distorsi pada beberapa material seperti plat SS 304 [9], komponen mobil paduan aluminium 6061-T6 [10], struktur pelat pipa segi delapan [10] dan pipa AISI 304 [6]. M Panji dan Ario S. B [11, 12] melaporkan bahwa arus pengelasan memiliki pengaruh yang besar terhadap distorsi yang terjadi dari pada kecepatan pengelasan. Sattari-Far dan Javadi [6] menyelidiki pengaruh urutan pengelasan pada distorsi sambungan pipa-pipa menggunakan metode elemen hingga. Sembilan kasus berbeda dengan jumlah segmen pengelasan yang berbeda diperiksa. Hasil studi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah urutan pengelasan pada sambungan pipa-pipa menurunkan distorsi pengelasan dan pada 4 urutan pengelasan tipe A terjadi distorsi yang paling besar. Metode Taguchi dapat diterapkan untuk mencari parameter pengelasan yang optimal dengan distorsi yang paling rendah seperti yang dilaporkan oleh Ario [13]. Metode pengelasan dengan menggunakan arus berdenyut (*pulsed*) terbukti dapat menurunkan distorsi yang terjadi pada material [14]. Penggunaan cairan nitrogen juga terbukti dapat menurunkan distorsi hingga 64% [15].

Kajian terdahulu menunjukkan bahwa urutan pengelasan dapat memberikan pengaruh terhadap distorsi pada beberapa material. Oleh karena itu kajian ini akan menyelidiki pengaruh dari variasi urutan pengelasan dan arus pengelasan terhadap manik las serta distorsi yang terjadi. Bahan kerja yang digunakan adalah pipa baja tahan karat tipe 316L dengan menggunakan metode pengelasan pipa orbital.

2. Metode

Bahan Kajian

Pada kajian ini bahan yang digunakan adalah pipa baja tahan karat (*stainless steel*) tipe 316L (SS 316L). Diameter pipa yang akan dilas adalah 114,3 mm dengan ketebalan 3 mm dan panjang pipa 110 mm. Pipa disambung tanpa menggunakan bahan tambah dengan sambungan tumpul (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Dimensi benda kerja.

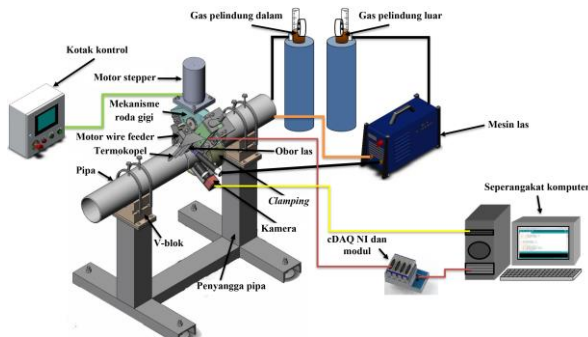
Pengujian *optical emission spectrometer* (OES) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari bahan SS 316L. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia dari bahan pipa SS 316L. Sebelum pengelasan dilakukan, bahan diampas menggunakan ampas dari kekasaran 80 sampai 400, setelah itu dibersihkan dengan cairan aseton.

Tabel 1. Komposisi kimia dari pipa SS 316L (wt %).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,019	0,319	1,79	0,021	0,005	17,6	2,07
Ni	Al	Cu	Nb	Ti	V	Fe
12,2	0,010	0,189	0,015	0,002	0,066	bal.

Proses Pengelasan

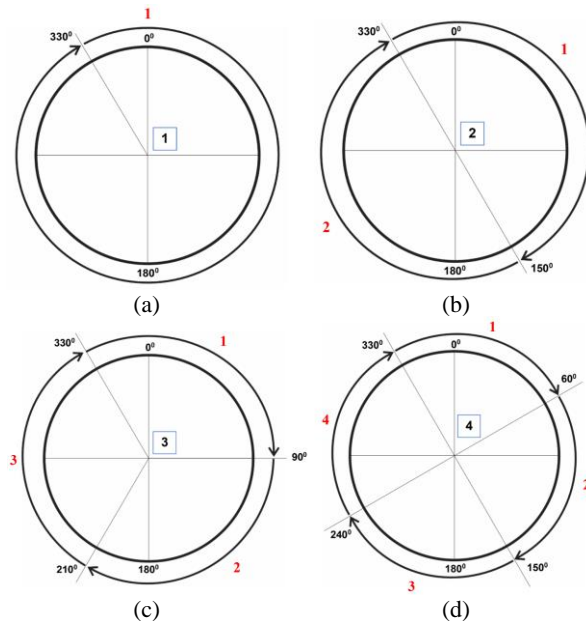
Jenis pengelasan yang digunakan dalam kajian ini adalah pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan sambungan tumpul tanpa bahan tambah. Mesin las yang digunakan dalam kajian ini adalah mesin las TIG Miller tipe Dynasty 210 DX AC/DC. Gas argon murni (99,99%) digunakan untuk melindungi bagian luar dan dalam pipa dari oksidasi dengan laju aliran masing-masing 11 L/min dan 5 L/min. Gambar 2 menunjukkan skematik proses pengelasan pipa orbital.



Gambar 2. Skematik proses pengelasan pipa orbital.

Posisi pengelasan yang diterapkan dalam kajian ini adalah posisi 5G, dimana pipa diletakkan secara horizontal dengan keadaan diam (*fix*) sedangkan obor las yang berputar mengelilingi pipa (orbital).

Kemudian metode pengelasan menggunakan metode urutan pengelasan (*welding sequence*) pada pipa (lihat Gambar 3). Terdapat 4 variasi urutan pengelasan yang digunakan untuk mengelas pipa. Pengelasan pipa dilakukan dari 1 urutan pengelasan (1 kali proses pengelasan) sampai 4 urutan pengelasan (4 kali proses pengelasan). Di mana untuk proses pengelasan yang kedua menunggu sampai bahan mencapai temperatur ruangan, begitu pula untuk proses pengelasan yang ketiga dan keempat. Pengelasan dimulai pada sudut pipa 330° dan berputar searah jarum jam sampai obor las kembali ke posisi awal.



Gambar 3. Urutan pengelasan pipa orbital: (a) 1 urutan, (b) 2 urutan, (c) 3 urutan dan (d) 4 urutan.

Parameter pengelasan yang digunakan dalam kajian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

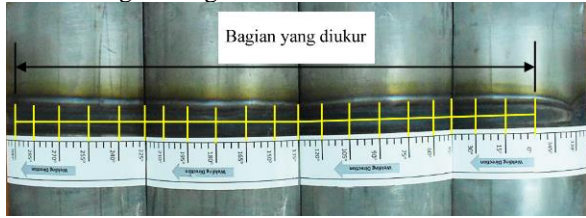
Tabel 2. Parameter pengelasan pipa orbital.

Parameter	Nilai
Arus pengelasan	1) 100 A
	2) 110 A
	3) 120 A
Urutan pengelasan	1) 1 urutan
	2) 2 urutan
	3) 3 urutan
	4) 4 urutan
Kecepatan pengelasan	1,4 mm/s
Jenis elektroda	EWCe-2 garis abu-abu
Diameter elektroda	2,4 mm
Jarak elektroda ke benda kerja	3 mm
Celah antara spesimen	1 mm

Metode Analisis Data

Lebar manik las

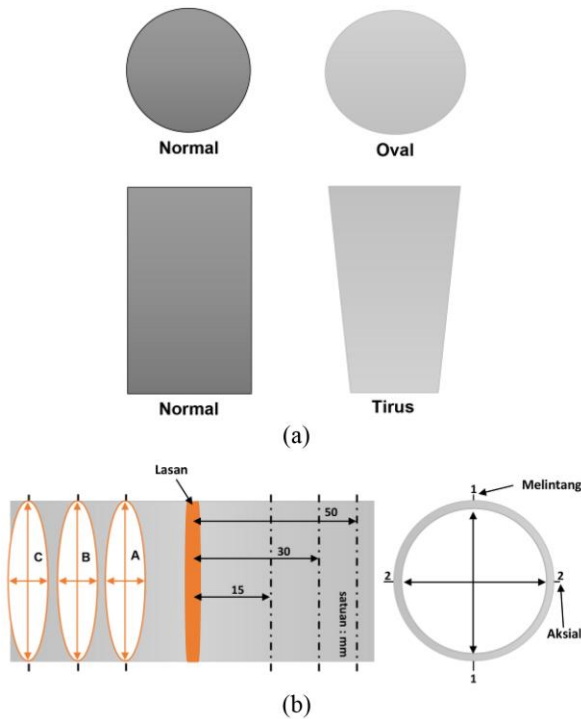
Pengukuran lebar manik las bagian luar pipa hasil pengelasan. Pengukuran dilakukan menggunakan mikroskop digital Dino-Lite AM4115 Series. Pengukuran dilakukan setiap 15^o posisi pipa dan dimulai dari 0^o sampai 300^o (lihat Gambar 4). Sehingga ada 21 titik pengukuran kemudian diambil rata-rata lebar manik lasnya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui geometri hasil lasan.



Gambar 4. Metode pengukuran lebar manik las.

Distorsi

Pengukuran distorsi pipa dapat diukur dengan menghitung perubahan diameter sebelum pengelasan dan setelah pengelasan. Pengukuran dilakukan dengan variasi 3 bagian dari titik pengelasan 15 mm, 30 mm dan 50 mm dan diukur dari arah aksial dan melintang dari posisi pipa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5b.



Gambar 5. (a) Distorsi yang terjadi pada pipa dan (b) skematik pengukuran distorsi pada pipa.

Setiap lokasi pengukuran diukur menggunakan mikrometer luar dengan resolusi sampai 0,01 mm atau dua angka dibelakang koma. Pengukuran ini dilakukan sebelum dan setelah pengelasan pada posisi pipa yang sama pada kedua pipa untuk dilas. Perbedaan dari pengukuran ini digunakan sebagai nilai distorsi yang terjadi setelah proses pengelasan. Ada beberapa jenis deformasi dalam pipa setelah dilas seperti distorsi ke arah aksial dan melintang, keovalan, dan ketirusan (lihat Gambar 5 (a)).

Nilai distorsi melintang (DT) dan distorsi aksial (DA) dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2 berikut.

$$\text{Distorsi Melintang (DM)} = D_{a1} - D_{b1} \quad (1)$$

$$\text{Distorsi Aksial (DA)} = D_{a2} - D_{b2} \quad (2)$$

Di mana D_{a1} , D_{a2} merupakan diameter pipa setelah dilas sementara D_{b1} , D_{b2} merupakan diameter pipa sebelum dilas dalam arah melintang dan aksial.

Selain melihat perubahan diameter pipa (distorsi melintang dan distorsi aksial), keovalan pipa juga dapat dihitung di setiap bagian dari pipa. Jika hasil perhitungan untuk setiap bagian dari pipa tidak sama maka diameter pipa telah menjadi oval. Ketirusan adalah dimana diameter pipa di salah satu ujungnya dengan ujung pipa tidak sama ke arah pipa aksial atau melintang. Perhitungan keovalan dan ketirusan pipa dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 dan 4 berikut.

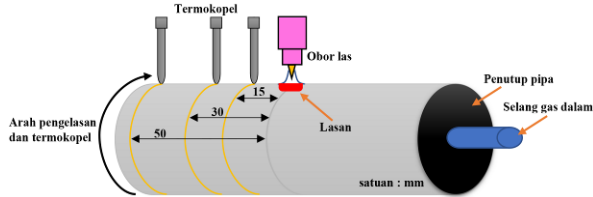
$$\text{Keovalan} = DA - DM \quad (3)$$

$$\text{Ketirusan} = DA_{maks} - DA_{min} \text{ atau } \quad (4)$$

$$DT_{maks} - DT_{min}$$

Distribusi Temperatur

Pengukuran distribusi temperatur dilakukan menggunakan termokopel, cDAQ-9174 dan NI-9210 *module temperature*. Terdapat 3 termokopel tipe K yang dipasang dengan jarak masing-masing 15 mm, 30 mm dan 50 mm dari titik tengah pengelasan (lihat Gambar 6) dengan kecermatan $\pm 1,1$ °C. Pemasangan termokopel ini sejajar dengan obor las dan menempel pada pipa. Mekanisme pegas digunakan pada bagian atas termokopel untuk menjaga agar termokopel selalu menempel pada pipa. Termokopel ini ikut berputar mengelilingi pipa untuk mengukur perubahan temperatur selama proses pengelasan pada setiap jarak yang sudah ditentukan. Pengambilan data temperatur menggunakan *interface software LabView 2019*.

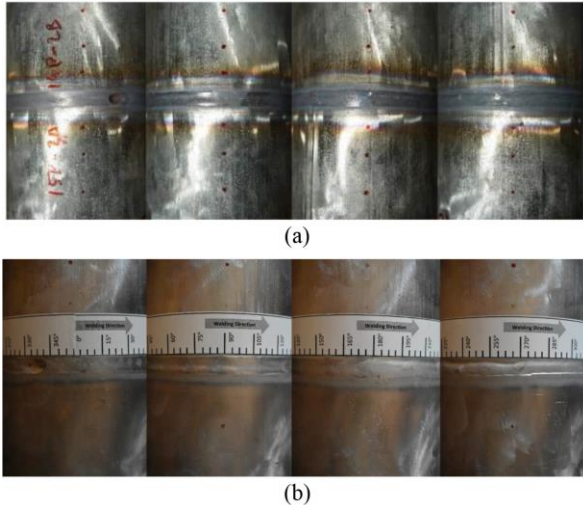


Gambar 6. Skematik pemasangan termokopel.

3. Hasil dan Pembahasan

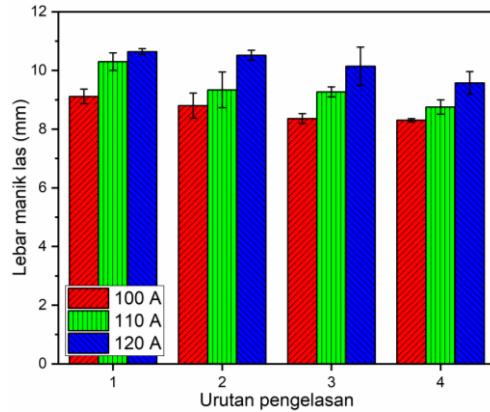
Lebar Manik Las

Profil permukaan las pada bagian luar pipa ditunjukkan oleh Gambar 7. Profil permukaan pipa baja tahan karat setelah dilas akan berwarna hitam karena adanya sisa karbon setelah proses pengelasan (lihat Gambar 7 (a)). Untuk menghilangkan sisa karbon las tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan cairan Hydroflouric Acid (<10%) + Nitric Acid (10-30%). Hasil profil permukaan las yang telah dibersihkan dapat dilihat pada Gambar 7 (b).



Gambar 7. Profil permukaan hasil las (a) sebelum dibersihkan dan (b) sudah dibersihkan.

Gambar 8 menunjukkan rata-rata lebar manik las luar dengan variasi arus pengelasan dan urutan pengelasan. Kenaikan arus pengelasan memiliki pengaruh terhadap lebar manik las luar yang dihasilkan. Rata-rata lebar manik las yang paling lebar adalah 10,64 mm pada arus pengelasan 120 A dengan 1 urutan pengelasan. Sedangkan rata-rata lebar manik las yang paling sempit adalah 8,30 mm pada arus pengelasan 100 A dengan 4 urutan pengelasan. Rata-rata lebar manik las mengalami kenaikan sebesar 21%. Variasi urutan pengelasan juga memiliki pengaruh terhadap rata-rata lebar manik las yang dihasilkan. Semakin banyak urutan pengelasan yang digunakan maka manik las akan semakin menyempit. Terjadi penurunan rata-rata lebar manik las sebesar 18%.



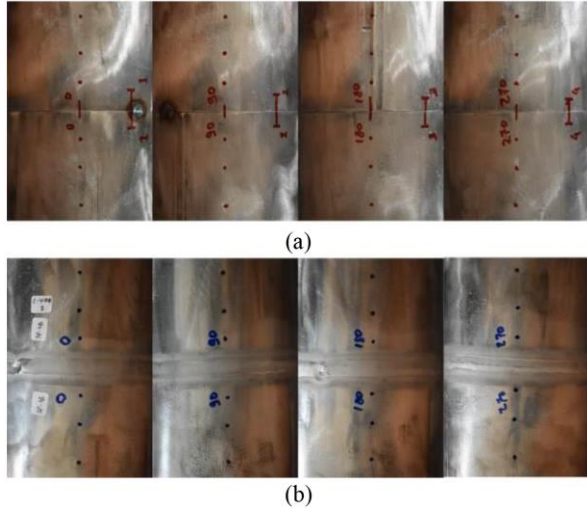
Gambar 8. Perbandingan rata-rata lebar manik las.

Peningkatan arus pengelasan akan mengakibatkan temperatur dan *heat input* semakin meningkat, sehingga lebar manik las semakin lebar. Peningkatan arus pengelasan berbanding lurus dengan lebar manik las yang dihasilkan. Selain itu urutan pengelasan juga berpengaruh terhadap lebar manik las. Memvariasikan urutan pengelasan akan berpengaruh terhadap distribusi temperatur yang diterima oleh spesimen sehingga lebar manik las semakin mengecil. Sehingga variasi urutan pengelasan ini berbanding terbalik dengan lebar manik las yang dihasilkan.

Arus pengelasan berpengaruh terhadap *heat input* sedangkan urutan pengelasan berpengaruh terhadap distribusi temperatur yang diterima bahan. *Heat input* yang besar dan temperatur yang cukup akan menyebabkan logam dasar meleleh dan saling menyatu dan manik las menjadi lebih lebar. Semakin kecil *heat input* dan temperatur kerja, maka logam dasar akan sulit menyatu satu sama lain sehingga menyebabkan manik las menjadi lebih sempit [16].

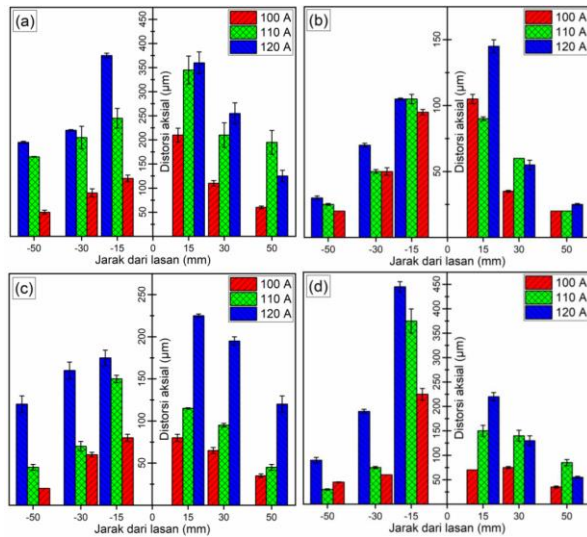
Distorsi

Perhitungan distorsi pada pipa merupakan selisih dari pengukuran diameter pipa sebelum dilas dan sesudah dilas. Gambar 9 (a) menunjukkan profil permukaan pipa sebelum dilas dengan 3 jarak pengukuran dari pusat lasan. Gambar 9 (b) merupakan profil permukaan pipa setelah dilas dengan 3 jarak pengukuran dari pusat lasan.



Gambar 9. Profil permukaan pipa: (a) sebelum dilas dan (b) sesudah dilas.

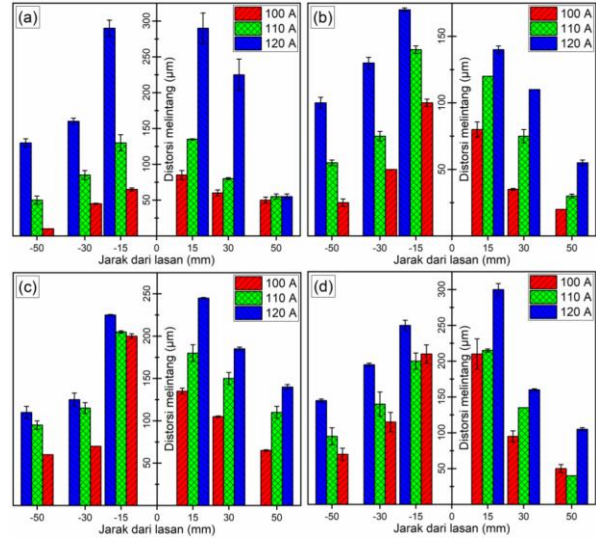
Distorsi aksial dihitung dari selisih diameter pipa sebelum dilas dan sesudah dilas yang diukur pada sumbu aksial. Pengukuran diameter dilakukan pada kedua pipa dengan jarak dari pusat lasan 15 mm, 30 mm dan 50 mm. Perbandingan besarnya distorsi aksial pada setiap urutan pengelasan (1 urutan–4 urutan) ditunjukkan pada Gambar 10 (a)–(d). Berdasarkan hasilnya dapat dilihat bahwa distorsi aksial akan semakin mengecil saat menjauhi titik pusat las. Kemudian jika menaikkan arus pengelasan akan memperbesar distorsi aksial pada setiap jarak lasan.



Gambar 10. Perbandingan distorsi aksial pada setiap urutan pengelasan: (a) 1, (b) 2, (c) 3 dan (d) 4.

Distorsi melintang dihitung dari selisih diameter pipa sebelum dilas dan sesudah dilas yang diukur pada sumbu melintang. Pengukuran diameter dilakukan pada kedua pipa dengan jarak dari pusat lasan 15 mm, 30 mm dan 50 mm. Perbandingan besarnya distorsi melintang pada setiap urutan pengelasan (1 urutan–4

urutan) ditunjukkan pada Gambar 11 (a)–(d). Berdasarkan hasilnya dapat dilihat bahwa distorsi melintang akan semakin mengecil saat menjauhi titik pusat las. Kemudian jika menaikkan arus pengelasan akan memperbesar distorsi melintang pada setiap jarak lasan.



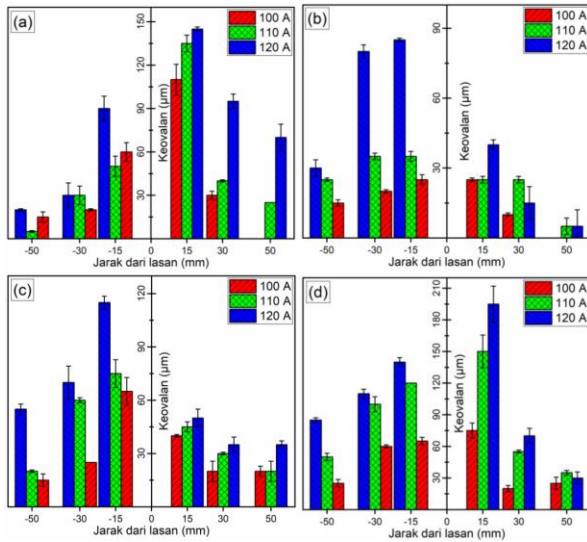
Gambar 11. Perbandingan distorsi melintang pada setiap urutan pengelasan: (a) 1, (b) 2, (c) 3 dan (d) 4.

Keovalan dihitung dari selisih distorsi aksial dan distorsi melintang pada setiap jarak lasan. Perhitungan keovalan dilakukan pada kedua pipa dengan jarak dari pusat lasan 15 mm, 30 mm dan 50 mm. Perbandingan besarnya keovalan pada setiap urutan pengelasan (1 urutan–4 urutan) ditunjukkan pada Gambar 12 (a)–(d). Berdasarkan hasilnya dapat dilihat bahwa keovalan akan semakin mengecil saat menjauhi titik pusat las. Kemudian jika menaikkan arus pengelasan akan memperbesar keovalan pada setiap jarak lasan.

Semakin menjauhi pusat lasan maka distorsi yang terjadi pada pipa akan semakin kecil. Hal ini karena saat menjauhi pusat lasan, temperatur maksimum yang diterima material akan semakin kecil sehingga tidak terjadi panas yang berlebih. Saat proses pendinginan material juga penyusutan yang terjadi pada titik yang jauh dari pusat lasan akan lebih kecil [10]. Hal ini dilaporkan juga oleh Muhammad Asim dkk. [15] bahwa pengaruh cairan pendingin sangat berpengaruh terhadap distorsi yang terjadi. Menggunakan tambahan cairan pendingin dapat memperkecil distorsi.

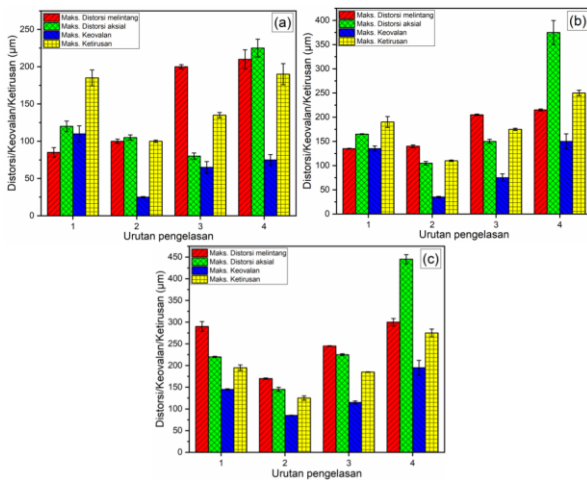
Gambar 13 (a)–(c) menunjukkan maksimum distorsi, keovalan dan ketirusan pada arus pengelasan 100 A, 110 A dan 120 A. Terjadi trend penurunan maksimum distorsi aksial maupun melintang, keovalan dan ketirusan yang terjadi pada 1 urutan pengelasan ke-2 urutan pengelasan. Selanjutnya maksimum distorsi

aksial maupun melintang, keovalan dan ketirusan akan meningkat pada 4 urutan pengelasan.



Gambar 12. Perbandingan keovalan pada setiap urutan pengelasan: (a) 1, (b) 2, (c) 3 dan (d) 4.

Pada 4 urutan pengelasan disetiap arus pengelasan menghasilkan distorsi aksial maupun melintang, keovalan dan ketirusan yang paling besar. Maksimum distorsi aksial, distorsi melintang, keovalan dan ketirusan terjadi pada arus pengelasan 120 A dengan 4 urutan pengelasan masing-masing adalah 445 μm , 300 μm , 195 μm dan 275 μm .



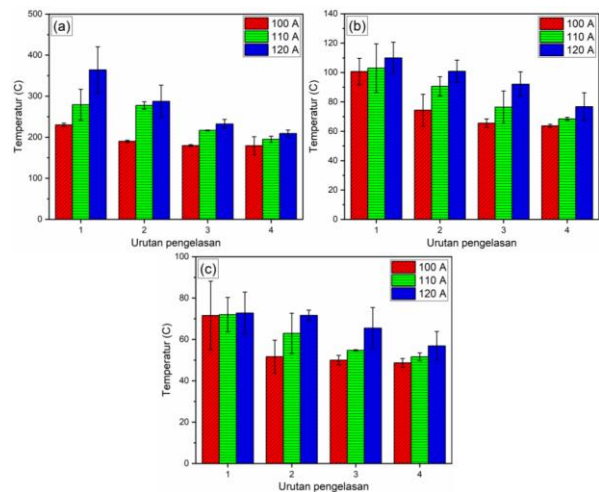
Gambar 13. Perbandingan maksimum distorsi pada setiap arus pengelasan: (a) 100 A, (b) 110 A dan (c) 120 A.

Distorsi terjadi karena panas yang berlebihan pada saat proses pengelasan dan saat proses pendinginan material mengalami penyusutan atau pengembangan sehingga terjadi tarik menarik dan membuat material berubah bentuk. Pada arus pengelasan 120 A panas yang diterima material sangat tinggi, jika dilakukan 4 urutan pengelasan (4 kali proses pengelasan) maka pipa akan mengalami pengembangan dan penyusutan

selama 4 kali. Hal ini menyebabkan distorsi tertinggi terjadi pada arus 120 A dengan 4 urutan pengelasan. Sattari-Far [6] melaporkan bahwa pengelasan dengan 4 urutan pengelasan tipe A menghasilkan deformasi yang paling besar diantara parameter lainnya.

Distribusi Temperatur

Temperatur diukur pada 3 jarak dari pusat lasan yaitu 15 mm, 30 mm dan 50 mm. Pengukuran temperatur dilakukan selama proses pengelasan dari awal hingga akhir. Maksimum temperatur terbesar terdapat pada titik terdekat dengan pusat lasan dan akan semakin mengecil ketika menjauhi pusat lasan. Maksimum temperatur juga akan mengalami penurunan ketika menambah urutan pengelasan. Arus 120 A dengan jarak dari pusat lasan 15 mm menghasilkan temperatur yang paling besar yaitu 364,1°C. Sedangkan temperatur yang paling kecil adalah 48,7°C terjadi pada arus pengelasan 100 A dengan 4 urutan pengelasan. Sementara itu terjadi penurunan temperatur hingga 74% ketika menambahkan urutan pengelasan. Kemudian jika menambahkan arus pengelasan terjadi peningkatan temperatur sebesar 58%. Menambahkan urutan pengelasan pada pengelasan pipa orbital akan sangat berpengaruh terhadap temperatur yang dicapai. Semakin banyak urutan pengelasan yang digunakan maka maksimum temperatur yang dicapai akan semakin kecil [10]. Hal ini juga akan berpengaruh terhadap distorsi yang terjadi. Semakin banyak urutan pengelasan diterapkan pada pipa dengan urutan menurun maka distorsi akan semakin besar. Namun berbeda jika urutan pengelasan yang digunakan urutan loncat/tidak urut maka hasil distorsinya bisa kecil dengan distribusi temperatur yang rendah juga seperti yang dilakukan oleh Sattari-Far [6].



Gambar 14. Perbandingan maksimum temperatur pada setiap jarak dari lasan: (a) 15 mm, (b) 30 mm dan (c) 50 mm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil studi tentang pengaruh arus pengelasan dan urutan pengelasan terhadap lebar manik las dan distorsi pada pengelasan pipa orbital, dapat diambil beberapa kesimpulan yakni semakin besar arus pengelasan, maka manik las luar pipa akan semakin lebar dan distorsi yang dihasilkan pada pipa akan semakin besar, sedangkan semakin banyak urutan pengelasan yang digunakan, maka manik las luar pipa akan semakin sempit tetapi distorsi yang terjadi akan semakin meningkat. Arus pengelasan dan urutan pengelasan memberikan pengaruh yang dominan terhadap distorsi. Manik las luar pipa terlebar terjadi pada parameter arus pengelasan 120 A dengan 1 urutan pengelasan sebesar 10,64 mm. Sedangkan manik las lur pipa tersempit terjadi pada parameter arus pengelasan 100 A dengan 4 urutan pengelasan sebesar 8,30 mm. Meningkatkan arus pengelasan dapat memperlebar manik las sampai 21%, tetapi jika menambah urutan pengelasan dapat mempersempit manik las sampai 18%. Distorsi aksial dan distorsi melintang terbesar terjadi pada arus pengelasan 120 A dengan 4 urutan pengelasan masing-masing 445 μm dan 300 μm . Begitu juga keovalan dan ketirusan terjadi pada parameter pengelasan yang sama sebesar 195 μm dan 275 μm . Semakin mendekati dengan pusat lasan maka semakin besar juga maksimum temperatur yang tercapai, sebaliknya semakin menjauhi dengan pusat lasan maka semakin kecil maksimum temperatur yang tercapai. Temperatur maksimum terjadi pada jarak 15 mm dari pusat lasan adalah 364,1°C dengan arus pengelasan 120 A dan 1 urutan pengelasan. Pada arus 100 A dan 4 urutan pengelasan dengan jarak 50 mm dari pusat lasan menghasilkan temperatur maksimum terendah yaitu 48,7°C. Menambahkan urutan pengelasan dapat menurunkan temperatur maksimum hingga 74%, sedangkan menambah arus pengelasan dapat meningkatkan temperatur maksimum sebesar 58%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan kegiatan studi ini melalui skema Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia tahun 2020 dengan nomor kontrak: NKB-1627/UN2.R3.1/HKP.05.00/2019.

Daftar Pustaka

- [1] H. Eisazadeh, D. J. Haines, M. Torabizadeh. 2014, *Effects of gravity on mechanical properties of GTA welded joints*. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 214, no. 5: 1136-1142.
- [2] K.-H. Tseng, K.-J. Chuang. 2012, *Application of iron-based powders in tungsten inert gas welding for 17Cr-10Ni-2Mo alloys*. Powder technology, Vol. 228: 36-46.
- [3] K.-H. Tseng, K.-L. Chen. 2012, *Comparisons between TiO₂-and SiO₂-flux assisted TIG welding processes*. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 12, no. 8: 6359-6367.
- [4] S. S. Gill, J. Singh. 2013, *Artificial intelligent modeling to predict tensile strength of inertia friction-welded pipe joints*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 69, no. 9-12: 2001-2009.
- [5] C.-H. Tsai, K.-H. Hou, H.-T. Chuang. 2006, *Fuzzy control of pulsed GTA welds by using real-time root bead image feedback*. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 176, no. 1-3: 158-167.
- [6] I. Sattari-Far, Y. Javadi. 2008, *Influence of welding sequence on welding distortions in pipes*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 85, no. 4: 265-274.
- [7] I. D. Harris. 2011, *Welding advances in tube and pipe applications*. Welding journal, Vol. 90, no. 6: 58-63.
- [8] S. Okano, M. Mochizuki. 2017, *Transient distortion behavior during TIG welding of thin steel plate*. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 241: 103-111.
- [9] M. Seyyedian Choobi, M. Haghpanahi, M. Sedighi. 2012, *Effect of welding sequence and direction on angular distortions in butt-welded plates*. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, Vol. 47, no. 1: 46-54.
- [10] Y. I. Jie, J.-m. Zhang, S.-f. Cao, P.-c. Guo. 2019, *Effect of welding sequence on residual stress and deformation of 6061-T6 aluminium alloy automobile component*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 29, no. 2: 287-295.
- [11] M. Panji, A. S. Baskoro, 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," vol. 694, p. 012026: IOP Publishing.
- [12] A. S. Baskoro, D. R. B. Prasetya, A. Widyianto. 2019, *Analisis pengaruh arus pengerasan dan kecepatan pengelasan terhadap lebar manik las dan distorsi pada pengelasan gas metal arc welding (GMAW) dengan sambungan tumpul SS 304*. Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Vol. 14, no. 2: 52-57.
- [13] A. S. Baskoro, R. Hidayat, A. Widyianto, M. A. Amat, D. U. Putra, "Optimization of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Parameters for Minimum Distortion of T Welded Joints of A36

- Mild Steel by Taguchi Method,"* vol. 1000, pp. 356-363: Trans Tech Publ.
- [14] A. Widyianto, A. S. Baskoro, G. Kiswanto. 2020, *Effect of Pulse Currents on Weld Geometry and Angular Distortion in Pulsed GTAW of 304 Stainless Steel Butt Joint*. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Vol. 17, no. 1: 7687-7694.
- [15] M. A. Azeem, Z. U. Arif, M. Shah, E. ur Rehman, A. Tariq. 2020, *Influence of liquid nitrogen on residual circumferential distortion, weld penetration and delta-ferrite distribution in clamped tungsten inert gas welded butt joint of 316 stainless steel*. SN Applied Sciences, Vol. 2, no. 10: 1-17.
- [16] P. Mistry. 2016, *Effect of process parameters on bead geometry and shape relationship of gas metal arc weldments*. Int J Adv Res Mech Eng Technol (IJARMET), Vol. 2: 24-27.