



Analisis variasi arus dan jenis pelarut fluks terhadap struktur mikro dan kekerasan baja tahan karat austenitik tipe 304 yang dilas dengan pengelasan Tungsten Inert Gas

Moh. Syaiful Amri*, Mukhlis, Arya Triananda Kusuma

Program Studi D4 Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Suarabaya, 60111, Indonesia

*e-mail : amri@ppns.ac.id

Abstrak

Baja tahan karat adalah bahan yang banyak digunakan di berbagai industri seperti dirgantara, pemrosesan kimia, dan transportasi. Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) mempunyai tingkat produktivitas yang rendah dibandingkan dengan proses pengelasan yang lainnya. Hal tersebut disebabkan karena penetrasinya dangkal dan nilai efisiensi pengelasannya yang paling rendah. Penggunaan Aktif fluks dapat memberikan efek terhadap penetrasi pada saat pengelasan, karena aktif fluks merupakan serbuk yang mempunyai kandungan oksida didalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari beberapa jenis solvent yaitu aseton, methanol, dan ethanol untuk campuran aktif fluks TiO_2 pada pengelasan A-TIG (*Aktived – Tangsten Inert Gas*) dengan arus 150 A dan 200 A pada material austenite stainless steel tipe 304 terhadap kedalaman penetrasinya, kekerasan dan struktur mikro di daerah weld metal, HAZ dan Base Metal. Penelitian ini di uji hardness dan metalografi. Uji hardness dihasilkan bahwa nilai paling tinggi terdapat pada variasi *solvent ethanol* dengan arus 200 A yaitu sebesar 187,14 HVN. Pada Hasil makro menunjukkan bahwa penetrasi yang paling dalam terdapat di variasi *solvent ethanol* dengan arus 150 A yaitu sebesar 6,99 mm. Hasil struktur mikro yang terjadi pada *weld metal* berbentuk fase *vermicular ferrite* dan *lathy ferrite* yang disebabkan karena *heat input* yang rendah sehingga kecepatan pendinginannya tinggi.

Kata kunci : Aktif – TIG, Arus, Solvent, Kekerasan, Struktur Mikro

Analysis of current variation and solvent flux type on microstructure and hardness of type 304 austenitic stainless steel welded by Tungsten Inert Gas welding

Abstract

Stainless steel is a widely used material in various industries such as aerospace, chemical processing, and transportation. TIG (Tungsten Inert Gas) welding has a low level of productivity compared to other welding processes. This is because the penetration is shallow and the welding efficiency is the lowest. The use of active flux can have an effect on penetration during welding, because active flux is a powder that has an oxide content in it. This study aims to determine the effect of several types of solvents, namely acetone, methanol, and ethanol for the active mixture of TiO_2 flux in A-TIG (Activated – Tangsten Inert Gas) welding with a current of 150 A and 200 A on austenite stainless steel type 304 material to depth. penetration, hardness and microstructure in the weld metal, HAZ and Base Metal areas. This research was tested for hardness and metallography. The hardness test resulted that the highest value was found in the variation of solvent ethanol with a current of 200 A, which was 187.14 HVN. The macro results show that the deepest penetration is in the variation of solvent ethanol with a current of 150 A, which is 6.99 mm. The results of the microstructure that occurs in weld metal are in the form of vermicular ferrite and lathy ferrite phases which are caused by low heat input so that the cooling speed is high.

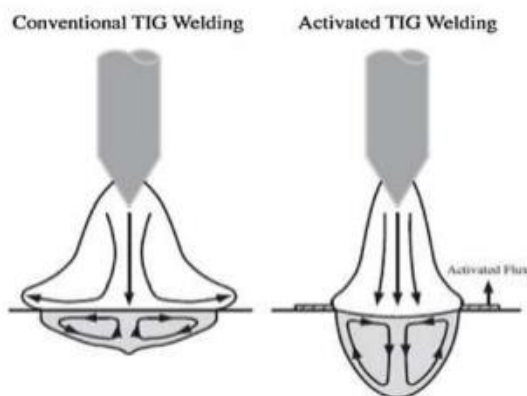
Keywords: Active-TIG, Current, Solvent, Hardness, Micro Structure.

1. Pendahuluan

Baja tahan karat adalah bahan yang banyak digunakan di berbagai industri seperti dirgantara, pemrosesan kimia, dan transportasi. Proses *Tungsten Inert Gas* (TIG) atau *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) banyak digunakan untuk menyambung bagian tipis baja tahan karat. Namun, itu tidak berguna dalam menggabungkan bagian tebal dalam satu pass [1,2]. Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah Pengelasan yang menggunakan busur antara *non consumable* elektroda tungsten dan benda kerja untuk membentuk kolam las yang menggunakan gas pelindung mulia

sebagai pelindung hasil pengelasannya tanpa penerapan tekanan, dan dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan logam pengisi [3]. Pengelasan TIG mempunyai keterbatasan utama yaitu penetrasi pengelasannya rendah atau dangkal. Bisa saja dengan cara menaikkan arus pengelasan yang dapat meningkatkan kedalaman penetrasi, tetapi hanya saja juga dapat memperlebar hasil pengelasan [4]. Pengelasan A-TIG (*Activated – Tungsten Inert Gas*) ditemukan sekitar tahun 1960 oleh para peneliti di Paton Electric Welding Institute (PWI) di Ukraina. Dengan menerapkan pengolesan lapisan aktif fluks tersebut, maka pengelasan

TIG dengan menggunakan aktif fluks dapat menghasilkan peningkatan kedalaman penetrasi. Aktif fluks adalah penggabungan bubuk anorganik yang dicampur kedalam pelarut organik yaitu solvent. Larutan solvent memiliki viscosity dan *vapour pressure* yang berbeda [5,6]. Untuk meningkatkan penetrasi pada pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*), berbagai analisa telah dilakukan dalam penggunaan aktif fluks. Proses A-TIG (*Activated-Tungsten Inert Gas*) dapat meningkatkan kedalaman penetrasi hingga 300% atau 1,5 – 4 yang hanya membutuhkan pengelasan *single pass* pada material stainless steel hingga ketebalan 10 mm tanpa menggunakan bevel dan tanpa penambahan kawat las (*filler*) [1,2]. Meskipun pengelasan A-TIG (*Activated – Tungsten Inert Gas*) masih dalam penelitian, efek dari kuantitas fluks oksida pada penetrasi las menunjukkan bahwa adanya penyempitan busur dan sehingga cenderung meningkatkan penetrasi dan membuat hasil lasan tidak melebar yang ditunjukkan pada Gambar 1 [7].

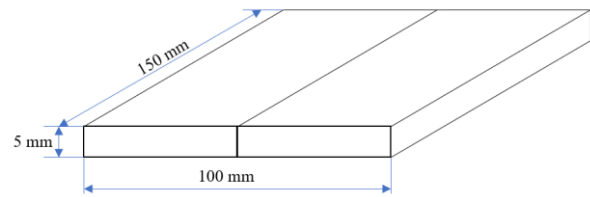


Gambar 1. Perbedaan Bentuk Busur Las TIG Konvensional dengan A-TIG [7]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari beberapa jenis *solvent* yaitu *aseton*, *methanol*, dan *ethanol* untuk campuran aktif fluks TiO_2 pada pengelasan A-TIG (*Aktived – Tangsten Inert Gas*) dengan arus 150 A dan 200 A pada material *austenite stainless steel* tipe 304 terhadap kedalaman penetrasinya, kekerasan dan struktur mikro di daerah *weld metal*, HAZ dan *Base Metal*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan proses pengelasan TIG tanpa kawat pengisi (*filler*) yang biasa disebut *autogeneous weld* dengan arus 150 A dan 200 A, shielding gas 99,99% Argon dengan *flow rate* 12 L/min pada material baja tahan karat tipe *austenitic* yaitu SA 240 tipe 304 dengan dimensi 150 x 50 x 5 mm dan menggunakan *square groove butt joint* sebagai desain sambungannya yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Square groove butt joint

Pada pengelasan A-TIG ini menggunakan jenis aktif fluks TiO_2 (Titanium Oxide) dengan 3 macam *solvent* yaitu *aseton*, *methanol*, dan *ethanol*. Dari ketiga *solvent* tersebut mempunyai *viscosity* dan *vapour pressure* yang berbeda, sebagai mana yang ditunjukkan pada Tabel 1. *Solvent* tersebut berfungsi sebagai pelarut dari serbuk aktif fluks, setiap 20 ml *solvent* dicampur dengan 10 gram aktif fluks lalu diaduk dengan menggunakan mixer selama 2 menit sampai berbentuk seperti pasta. Setelah itu dioleskan menggunakan kuas cat yang lembut dengan lebar 10 mm pada permukaan spesimen material yang akan dilakukan proses pengelasan yang dapat dilihat hasilnya pada Gambar 3.

Tabel 1. Karakteristik Solvent [8]

Carrier solvent	Acetone	Methanol	Ethanol
Viscosity (20 °C, mPas)	0,389	0,817	1,770
Vapor pressure (20 °C, mm Hg)	184	96	44



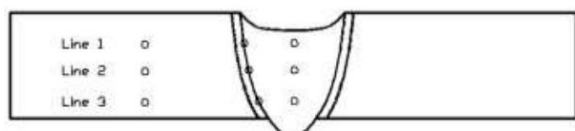
Gambar 3. Pengaplikasian aktif fluks

Pada proses pengelasannya, parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. Yang mana pengelasannya hanya 1 layer atau *single pass* tanpa menggunakan *filler metal*.

Tabel 2. Parameter Pengelasan

Jenis Solvent	Current (Ampere)	Voltage (Volts)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
Acetone	150	17	2,5	1,02
	200	20		1,60
Methanol	150	17	2,5	1,02
	200	20		1,60
Ethanol	150	17	2,5	1,02
	200	20		1,60

Setelah dilakukan proses pengelasan, dilakukan DT *Visual Test*, uji metallography (mikro & makro), dan yang terakhir dilakukan pengujian *hardness*. Sebelum melakukan pengujian metallography, spesimen terlebih dahulu dipoles menggunakan mesin dan kertas gosok hingga grade 2000 sampai terlihat sangat bersih dan tidak ada noda pada permukaannya. Setelah melakukan *polishing*, dilakukan etsa dengan menggunakan larutan (30% HNO₃+ 70% HCL) dan diuji mikro menggunakan mikroskop optik (OLYMPUS) dengan perbesaran 100x, 200x, 500x pada daerah *fusion line* dan *weld metal*. Kemudian dilakukan foto makro, dan yang terakhir dilakukan pengujian *hardness vickers* dengan pembebanan 10 Kgf dan lama identasi 10 detik. Setelah itu ukur diagonal identasi yang terbentuk, lalu lihat pada mesin uji. Pengujian ini dilakukan di daerah *Weld Metal*, *Heat Affective Zone* (HAZ), dan *Base Metal*. Lokasi pengambilan uji tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

**Gambar 4.** Titik Pengambilan Uji Kekerasan

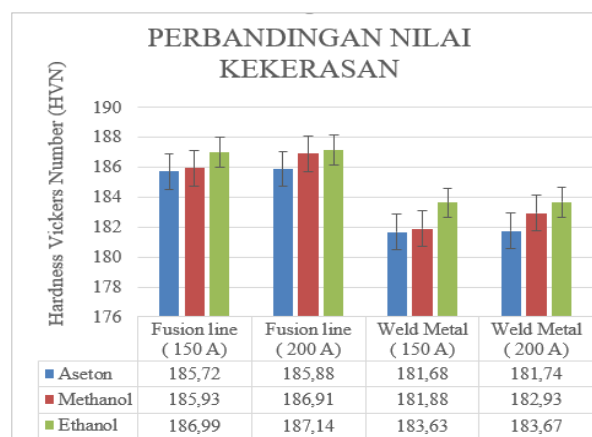
3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian *visual* dari semua variasi terdapat cacat *underfill* pada daerah Capping dan *excessive penetration* pada daerah Root, hal tersebut masih memenuhi syarat keberterimaan. Cacat tersebut diakibatkan karena pengelasannya tanpa menggunakan filler metal dan efek dari kuantitas fluks oksida pada penetrasi las [7].

Dari hasil pengujian kekerasan bahwa pengelasan aktif fluks - TIG pada daerah base metal tidak memberikan pengaruh yang signifikan dari ketiga jenis solvent tersebut, karena panas yang dihasilkan oleh pengelasan tidak berdampak

langsung pada daerah tersebut. Nilai kekerasan yang dihasilkan pada daerah *fusion line* dan *weld metal*, yang paling tinggi terdapat pada aktif fluks yang menggunakan solvent ethanol jika dibandingkan dengan solvent aseton dan methanol. Hasilnya bisa dilihat pada Gambar 5.

Dari grafik pada Gambar 5 bahwa hasil nilai rata-rata kekerasan yang paling tinggi terletak pada daerah *fusion line* dengan *solvent ethanol* dan arus 200 A sebesar 187,14 HVN, sedangkan nilai yang paling rendah terdapat pada daerah *weld metal* dengan *solvent aseton* dan arus 150 A sebesar 181,68 HVN. *Solvent ethanol* mempunyai viskositas 1,770 mPas pada suhu 20 °C [8] yang mana nilai tersebut lebih pekat dibandingkan dengan *solvent aseton* dan *methanol*. Karena hal tersebut, *ethanol* mempunyai gaya kohesif yang lebih baik dibandingkan dengan yang lainnya yang mana akan menyempitkan busur las yang lebih maksimal karena pasta oksida yang dioleskan pada permukaan logam induk mempunyai daya rekat yang tinggi.

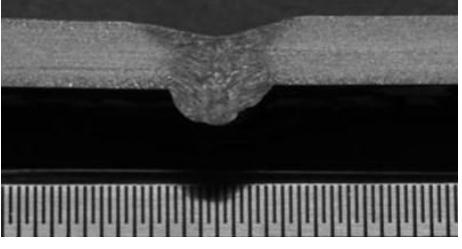
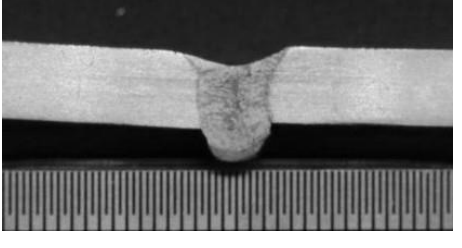
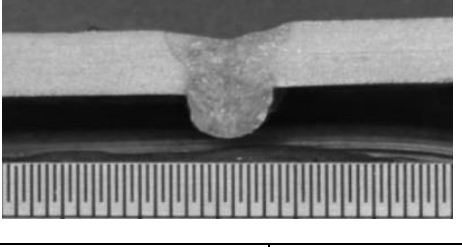
**Gambar 5.** Hasil uji kekerasan pengelasan aktif fluks TIG

Dari grafik diatas bahwa hasil nilai rata-rata kekerasan yang paling tinggi terletak pada daerah *fusion line* dengan *solvent ethanol* dan arus 200 A sebesar 187,14 HVN, sedangkan nilai yang paling rendah terdapat pada daerah *weld metal* dengan *solvent aseton* dan arus 150 A sebesar 181,68 HVN. *Solvent ethanol* mempunyai viskositas 1,770 mPas pada suhu 20 °C [8] yang mana nilai tersebut lebih pekat dibandingkan dengan *solvent aseton* dan *methanol*. Karena hal tersebut, *ethanol* mempunyai gaya kohesif yang lebih baik dibandingkan dengan yang lainnya yang mana akan menyempitkan busur las yang lebih maksimal karena pasta oksida yang dioleskan pada permukaan logam induk mempunyai daya rekat yang tinggi.

Hasil pengujian makro bertujuan untuk mengetahui dan mengamati hasil lasan yang disebabkan pengaplikasian pasta aktif fluks dengan arus 150 A, 200 A dan jenis solvent yang berbeda

seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Untuk mengukur kedalaman penetrasi dan lebar lasan dari masing-masing spesimen, digunakan software AutoCAD.

1. DoP: *Depth of Penetration* (kedalaman

Solvent		Arus 150 A	
A S E T O N			
	DOP: 6.49 mm	BW: 9.94 mm	
M E T H A N O L			
	DOP: 6.97 mm	BW: 9.41mm	
E T H A N O L			
	DOP: 6.98 mm	BW: 9.90 mm	

penetrasi)

2. BW: *Bead Width* (lebar lasan)

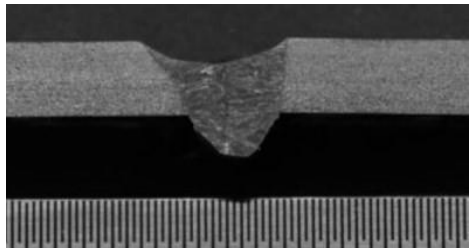
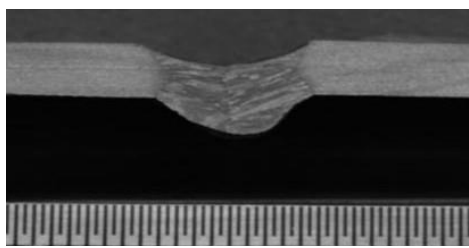
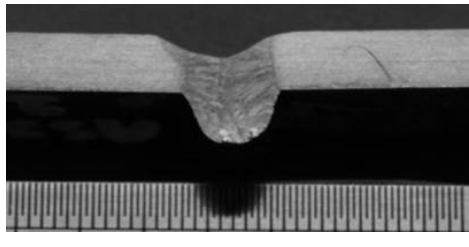
Dari hasil makro yang menggunakan arus 150 A, menunjukkan bahwa penetrasi yang paling dalam terdapat pada variasi *solvent ethanol* jika dibandingkan solvent aseton dan methanol. Hal tersebut karena solvent ethanol mempunyai viskositas yang lebih pekat karena dapat gaya kohesif dari solvent tersebut, sehingga aktif fluks yang dicampur dengan solvent etanol akan lebih maksimal untuk aplikasi penembusan pada proses pengelasan.

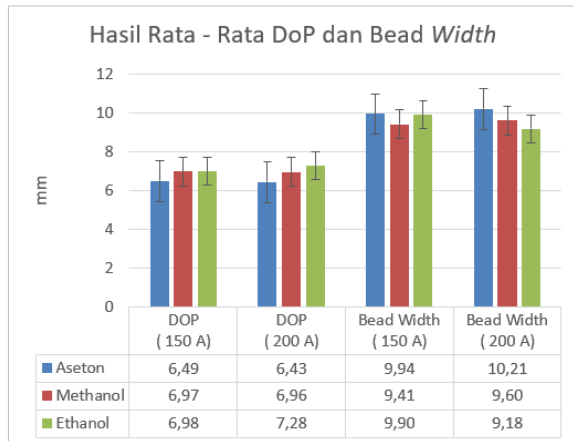
Tabel 3. Foto Makro Variasi Arus 150 A

Hasil foto makro pada arus 200 A menggambarkan bahwa penggunaan ketiga *solvent* tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap

penetrasi karena pada arus tersebut merupakan titik jenuh dari ketiga solvent. Sedangkan hasil *bead width* yang paling sempit pada solvent ethanol yaitu sebesar 9,18 mm dan yang paling lebar pada solvent aseton yaitu sebesar 10,21 mm. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar *Depth of Penetration* maka lebar lasan semakin sempit. aktif fluks yang menggunakan *solvent ethanol* memiliki hasil lebar las yang lebih sempit jika dibandingkan dengan aktif fluks yang menggunakan *solvent aseton* dan *methanol*. Kedalaman penetrasi dipengaruhi oleh arus pengelasan yang digunakan, sedangkan hasil lasan dipengaruhi oleh voltase. Meningkatnya arus dalam proses pengelasan akan diikuti dengan meningkatnya voltase, sehingga kedalaman penetrasi dan lebar lasan akan berbanding lurus.

Tabel 4. Foto Makro Variasi Arus 200 A

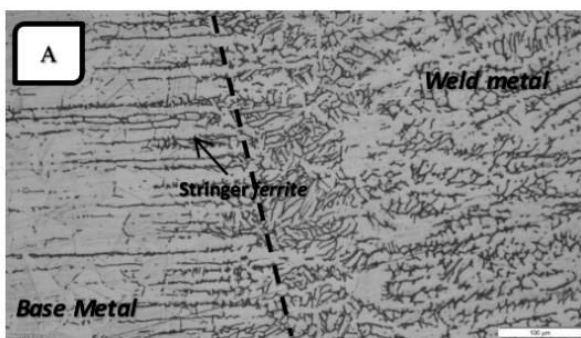
Solvent		Arus 200 A	
A S E T O N			
	DOP: 6.43 mm	BW: 10.21 mm	
M E T H A N O L			
	DOP: 6.96 mm	BW: 9.60 mm	
E T H A N O L			
	DOP: 7.28 mm	BW: 9.18 mm	



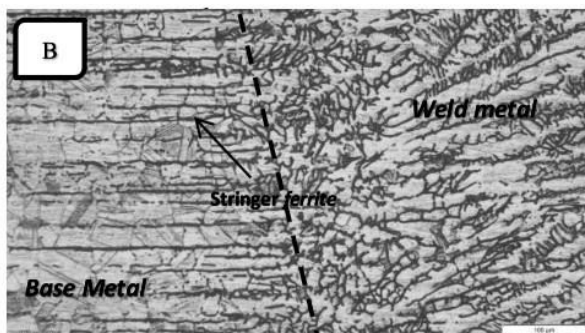
Gambar 6. Grafik rata-rata DoP dan *Bead Width*

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah austenite dan ferrite, yang mana fasa austenite mempunyai warna yang terang sedangkan fasa ferrite mempunyai warna gelap [9].

ferrite stringers dipengaruhi oleh laju pendinginan (*cooling rate*), dimana semakin tinggi *heat input* maka semakin rendah laju pendinginannya, semakin rendah laju pendinginannya maka akan memperbanyak fasa *ferrite* yang terbentuk pada material *austenitic stainless steel* [10]. *Heat input* sendiri dapat dipengaruhi oleh besarnya arus, dimana semakin besar arus maka semakin besar pula *heat input* sehingga akan memperbanyak fasa *ferrite* didalamnya, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.

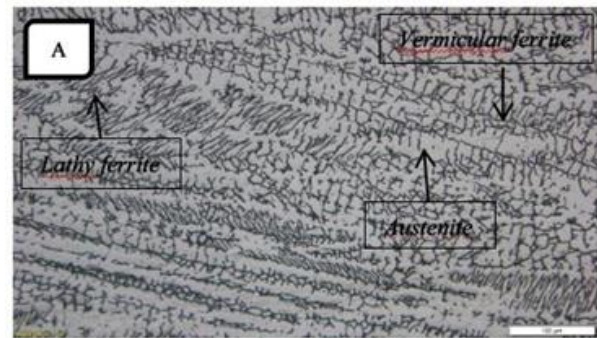


Gambar 7. Morfologi *ferrite* pada daerah *fusion line* (A) arus 150 A

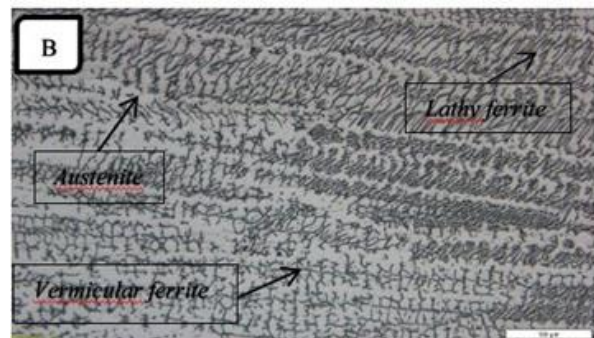


Gambar 8. Morfologi *ferrite* pada daerah *fusion line* (B) arus 200 A

Pada Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa didaerah *fusion line* terdapat fasa *ferrite stringers* yang bentuknya memanjang kearah *base metal* yang diakibatkan oleh *welding process*. Keberadaan



Gambar 9. Morfologi *ferrite* pada daerah *weld metal* (A) arus 150 A



Gambar 10. Morfologi *ferrite* pada daerah *weld metal* (B) arus 200 A

Fasa akhir yang terbentuk pada *weld metal* bisa diprediksi dengan cara menghitung Cr equavalen dan Ni equavalen dengan diagram WRC-1992 berupa *ferrite number*. Pada daerah *weld metal*, fasa yang terbentuk adalah *austenite* dan *ferrite*. Fasa *ferrite* yang ditemukan berbentuk *vermicular ferrite* dan *lathy ferrite*. Diman biasanya fasa *lathy ferrite* berada diantara fasa *vermicular ferrite*. Hal tersebut disebabkan karean transformasi difusinya terbatas dan menghasilkan pola *residual ferrite* yang berlawanan arah dengan original *dendrite* atau arah pertumbuhan *vermicular ferrite* [11]. Pada arus 200 A menunjukkan bahwa fasa *ferrite* tergolong lebih banyak dibandingkan dengan Arus 150 A, hal tersebut dikarenakan semakin besar arus maka *heat input* akan meningkat dan laju pendinginannya rendah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan hasil uji hardness dihasilkan bahwa nilai paling tinggi terdapat pada variasi *solvent ethanol* dengan arus 200 A yaitu sebesar 187,14 HVN, sedangkan nilai yang paling rendah terdapat pada daerah *weld metal* dengan solvent aseton dan arus 150 A sebesar 181,68 HVN. Pada Hasil makro menunjukkan bahwa penetrasi yang paling dalam terdapat di variasi *solvent ethanol* dengan arus 150 A yaitu sebesar 6.99 mm. Hasil struktur mikro yang terjadi pada weld metal berbentuk fase *vermicular ferrite* dan *lathy ferrite* yang disebabkan karena heat input yang rendah sehingga kecepatan pendinginannya tinggi

Referensi

- [1] Dipali Pandya, Amarish Badgujar, Nilesh Ghetiya, “*A novel perception toward welding of stainless steel by activated TIG welding: a review*”, *Materials and Manufacturing Processes*, Volume 36, pages 877-903, 2021.
- [2] Vidyarthi, R. S. and D. K. Dwivedi. “*Activating Flux Tungsten Inert Gas Welding for Enhanced Weld Penetration.*” *Journal of Manufacturing Processes* 22:211–28. 2016
- [3] Annette O’Brien, *Welding Processes, Part 1, Welding Handbook Ninth Edition*, American Welding Society, 2004
- [4] Huang HY, Shyu SW, Tseng KH, Chou CP. “*Study of the Performance of Stainless Steel A-TIG Welds*”. *Journal of Material Engineering and Performance*. 2007
- [5] Khanna, O.P.” *A Text Book of Advance Welding Technology*”. Dhanpat Rai Publication (P) Ltd., 1999.
- [6] Eistein Yazid, *Kimia Fisika Untuk Paramedis*. Penerbit Andi, Yogyakarta. 2005
- [7] Kurtumulus, Memduh. “*Activated TIG Welding of Austenitic Welding*”. Marmara University Technology Faculty, Goztepe Campus, Istanbul, 2017.
- [8] Tseng, Kuang-Hung. “*Development and Application of Oxide-based Flux Powder for Tungsten Inert Gas*”. Institute of Materials Engineering. National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 91201, Taiwan. 2013.
- [9] Sido Kou, “*Welding Metallurgy*”, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2003
- [10] A. Rodrigues and A. Loureiro, “*Effect of Cooling Rate on the Microstructure and Hardness of Austenitic Stainless Steel Welds,*” *Mater. Sci. Forum - MATER SCI FORUM*, vol. 455–456, pp. 312–316, May 2004, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.455- 456.312
- [11] Lippold J.C., Kotecki D.J. “*Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*”, Wiley-Interscience. 2005.