

PENGUJIAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN *LOW-CARBON STEEL* DAN *AUSTENITIC STAINLESS STEEL*

Nugroho P. Ariyanto*, Andy Parulian Siregar, Hanifah Widiastuti, Wowo Rossbandrio, Aulia Fajrin, Cahyo Budi Nugroho

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani, Batam Center, Batam 29461, Indonesia

*Corresponding author: nugroho@polibatam.ac.id

Article history

Received:

02-06-2022

Accepted:

28-06-2022

Published:

30-06-2022

Copyright © 2022
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Pengelasan antara *stainless steel* dan *carbon steel* rentan terhadap tegangan sisa karena perbedaan koefisien muai. Properti tahan karat dan properti mekanik sambungan juga dapat terpengaruh oleh sensitisasi *stainless steel* yang menghasilkan presipitasi *chromium carbide* dan difusi karbon pada daerah *heat-affected zone carbon steel*. Pengaruh *post-weld heat treatment* pada sambungan *stainless steel* 316 dan AISI 1018 dengan *filler metal* 309L terhadap kekerasan dan struktur mikro menjadi tujuan penelitian ini. Nilai kekerasan sambungan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan temperatur *post-weld heat treatment* pada rentang 400-700°C. Struktur mikro *heat affected zone* juga berubah dengan dominasi butiran *ferrite* yang mengalami *grain growth*.

Kata Kunci: pengelasan logam tak sejenis, *post-weld heat treatment*, kekerasan

Abstract

High residual stress can occur in stainless steel and carbon steel weld joints due to difference of thermal expansion coefficients. Corrosion-resistant and mechanical properties of weld joint is affected by stainless steel sensitization, resulted by chromium carbide precipitation, and carbon diffusion on heat-affected zone. This study is conducted to investigate post-weld heat treatment effects of stainless steel 316 and AISI 1018 weld joint with 309L filler metal. As the post-weld heat treatment temperature rises between 400 and 700°C, the hardness value decreases. Observed microstructure of heat-affected zone shows dominance of ferrite phase which experiencing grain growth.

Keywords: *dissimilar metal welding, post-weld heat treatment, hardness*

1.0 PENDAHULUAN

Pengelasan logam tak sejenis (*dissimilar metals welding*) antara baja karbon (*carbon steel*) dan baja tahan karat (*stainless steel*) semakin banyak diterapkan di pelbagai industri. Misalnya, industri transportasi untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, industri pembangkit, dan proses kimia/petrokimia dengan pelbagai proses pengelasan baik pengelasan fusi maupun non-fusi [1, 2, 3, 4].

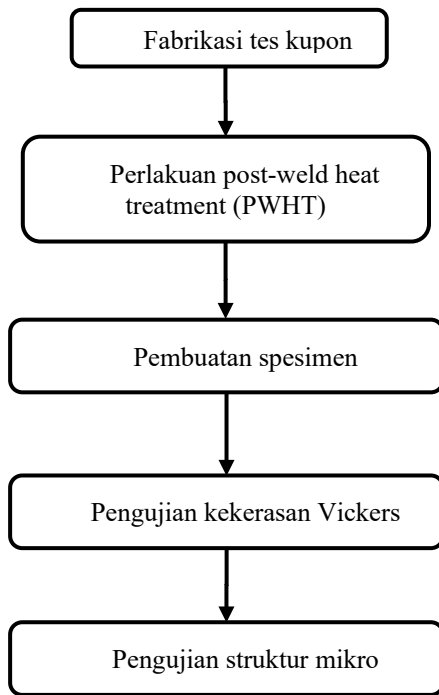
Koefisien muai *stainless steel* yang lebih besar daripada *carbon steel* dapat menyebabkan peningkatan tegangan sisa pada sambungan. Selain itu, pemanasan pada temperatur sensitisasi dapat menyebabkan timbulnya *chromium carbide* yang mengurangi karakteristik tahan karat [5, 6]. Pada *stainless steel austenite* dan *ferrite*, daerah *heat-affected zone* (HAZ) *carbon steel* akan mengalami migrasi karbon dan *dilution* yang akan mempengaruhi karakteristik mekanik sambungan [7].

Pengaruh tegangan sisa yang muncul ketika pengelasan umumnya dapat diminimalkan dengan melakukan *post-weld heat treatment* (PWHT). Pada temperatur 550 – 850°C, *stainless steel* akan mengalami proses *sensitization*, di mana akan terjadi pembentukan *chromium carbide* di batas butir (*grain boundary*). Presipitasi *chromium carbide* tersebut akan mengakibatkan timbulnya daerah yang kekurangan *chromium* pada batas butir. Hal ini mengakibatkan karakteristik tahan korosi *stainless steel* berkurang [6]. Dalam studi ini pengaruh temperatur PWHT terhadap nilai kekerasan sambungan dan struktur mikro diamati.

2.0 METODE

Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah berikut seperti ditunjukkan Gambar 1, yaitu fabrikasi tes kupon, perlakuan PWHT, pembuatan spesimen uji, pengujian

kekerasan Vickers dan pengujian *micro-etching* untuk mengetahui struktur mikro sambungan.

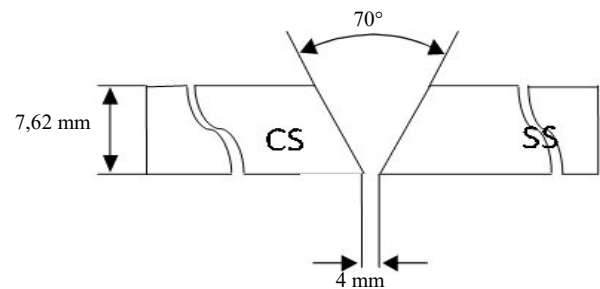


Gambar 1: Diagram alir penelitian

Dalam studi ini, pengujian dilakukan terhadap sambungan *dissimilar metal* antara *carbon steel* AISI 1018 dengan *stainless steel* 316. Tes kupon yang digunakan berupa pipa OD 3 inci dengan ketebalan 7,62 mm (*schedule 80s*). Hasil pengujian *Optical Emission Spectroscopy base metal* menunjukkan komposisi unsur seperti pada Tabel 1. Komposisi kimia *filler metal* 309L menunjukkan komposisi karbon yang kurang lebih sama dengan *base metal*.

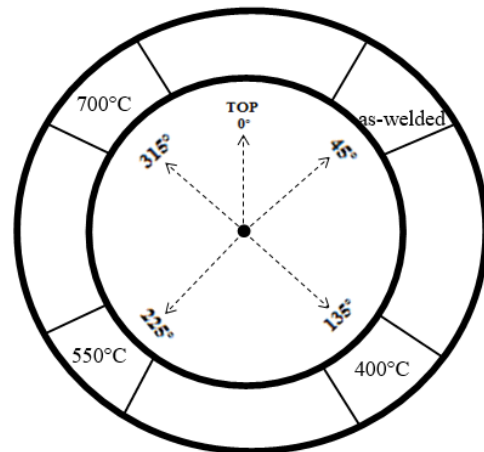
Pengelasan dilakukan menggunakan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) pada posisi 6G. Proses las tersebut dilakukan pada mesin Lincoln Electric Flextec 650. Detil sambungan *di-fit-up* mengikuti Gambar 2, dengan *groove angle* 70°, *root gap* 4 mm dan *root face* 2 mm. Pengelasan dilakukan dengan *filler metal* OK Tigrod 309L dengan diameter 1,6 mm untuk *root pass* dan 2,4 mm untuk *pass* lainnya. Pengaturan arus pengelasan dilakukan sesuai dengan parameter yang

tercantum dalam prosedur WPS-ASME-TM3-P1P8 dengan arus *root pass* 61 A, arus *hotpass* 80 A, arus *filler pass* 135 A, dan arus *capping* 125 A. *Shielding gas* dan *purgig gas* yang digunakan adalah 99,99% Ar.



Gambar 2: Detil sambungan

Tes kupon kemudian dipotong 35 × 15 mm tegak lurus pada daerah *weldbead* sebanyak 4 sampel yang digunakan untuk PWHT, seperti ditunjukkan Gambar 2. Temperatur PWHT divariasikan menjadi 400°C, 550°C, 700°C, dan tanpa PWHT (*as welded*). PWHT dilakukan mulai dari temperatur ruang hingga mencapai temperatur PWHT dan dipanaskan selama 1 jam. Selanjutnya pendinginan dilakukan dengan media udara terbuka (*air-cooled*) hingga mencapai temperatur ruang.



Gambar 3: Lokasi pengambilan sampel PWHT

Tabel 1: Komposisi unsur *base metal* dan *filler metal*

Material	Komposisi unsur (%)						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
AISI 1018	0,018	0,082	0,166	NA	NA	0,54	0,15
AISI 316	0,029	0,3	0,274	13,92	12,06	0,03	0,006
OK Tigrod 309L [8]	0,02	1,8	0,4	23,2	13,4	NA	NA

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan *Vickers Hardness Testing Machine* HVS-1000A dengan beban 1 kgf dan waktu pembebanan 15 detik. Pengujian dilakukan pada *base metal*, HAZ, dan *weld metal* dengan masing-masing 3 titik indentasi. Struktur mikro diamati dengan menggunakan mikroskop *inverted metallography* Buehler Viewmet dengan spesimen yang dipreparasi menggunakan 95% nital.

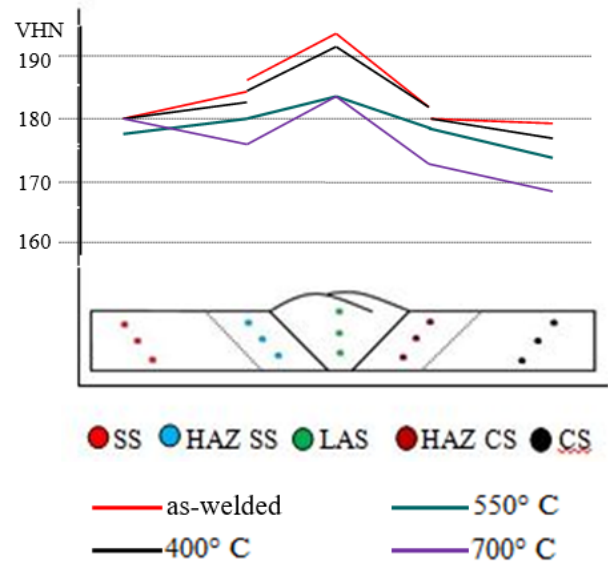
3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kekerasan Vickers pada sambungan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terletak pada *weld metal* dan terendah oleh *base metal carbon steel*. Pada sampel *as-welded*, *weld metal* memiliki kekerasan 197 HV, *stainless steel* 180 HV, dan *carbon steel* 178 HV. *Base metal stainless steel*, HAZ *weld metal – stainless steel*, dan *weld metal – carbon steel* memiliki nilai kekerasan Vickers yang relatif sama seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai kekerasan HAZ *stainless steel* sebesar 183 HV dan HAZ *carbon steel* 180 HV. Nilai kekerasan maksimum terletak pada *weld metal* kemudian berkurang pada HAZ dan yang paling rendah ditunjukkan pada *base metal*.

Tabel 2: Nilai rata-rata kekerasan Vickers sambungan

Temperatur PWHT	Nilai rata-rata kekerasan (HV1)				
	<i>Stainless steel</i>	HAZ <i>Stainless steel</i>	<i>Weld metal (Las)</i>	HAZ <i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
<i>as-welded</i>	180	183	197	180	178
400°C	180	183	192	180	176
550°C	179	180	183	178	176
700°C	180	176	183	173	167

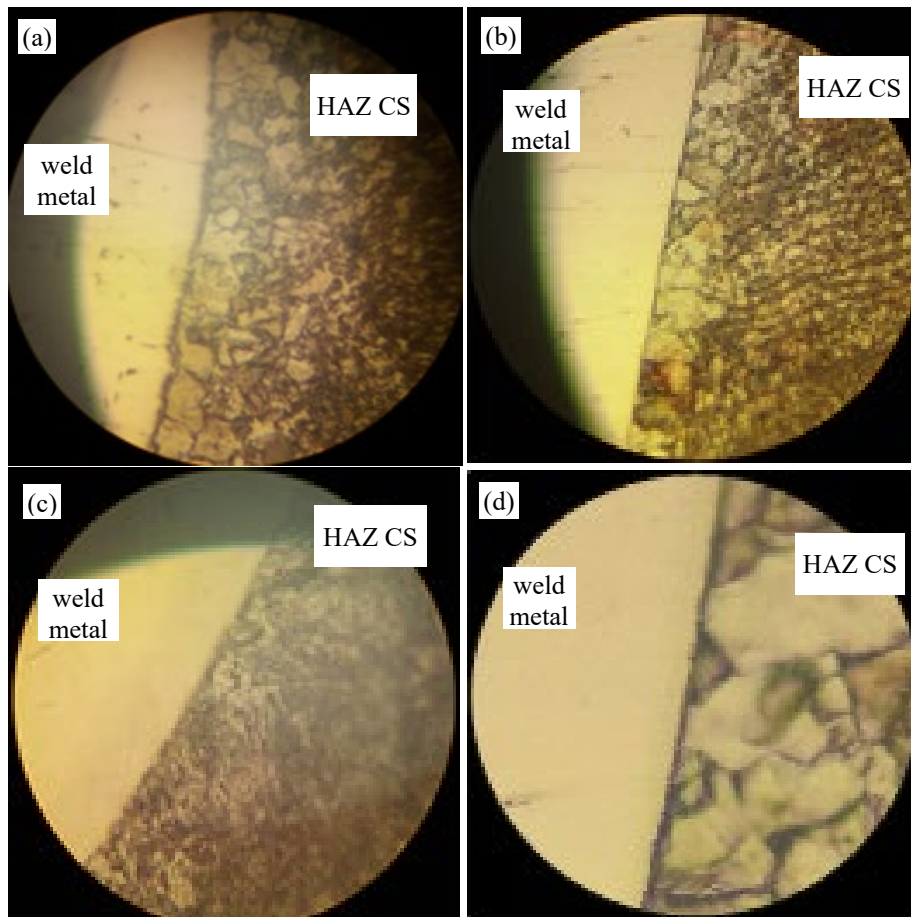
Nilai kekerasan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan temperatur PWHT. Pada *weld metal*, sampel *as-welded* memiliki nilai kekerasan 197 HV, PWHT 400°C memiliki 192 HV, 550°C memiliki 183 HV, dan 700°C memiliki 183 HV. Penurunan nilai kekerasan ini juga berlaku untuk daerah pengujian *base metal* dan daerah HAZ seperti terlihat pada Gambar 4. Peningkatan temperatur PWHT menyebabkan penurunan nilai kekerasan dan kekuatan *stainless steel austenite* [9]. Temperatur PWHT 400 – 700°C selama satu jam dianggap masih belum mempengaruhi sensitisasi dan presipitasi *chromium carbide* di batas butir. Karena itu nilai kekerasan mengalami penurunan seiring dengan temperatur PWHT [10].



Gambar 4: Perubahan nilai kekerasan Vickers akibat PWHT.

Struktur mikro menunjukkan butiran pada *weld metal* 309L, *fusion line* dan HAZ *carbon steel*, dan *base metal carbon steel* ditunjukkan pada Gambar 5. *Ferrite* dan *pearlite* terlihat pada *base metal*. Struktur *ferrite* terlihat mendominasi pada HAZ *carbon steel*. Ukuran butiran *ferrite* ini bertambah besar seiring dengan peningkatan temperatur PWHT. Rentang temperatur PWHT 400 – 700°C yang berada di bawah temperatur *eutectoid* menyebabkan *decarburation* terjadi pada fase *ferrite* [11]. Walaupun demikian, laju difusi karbon pada rentang temperatur ini masih terlalu rendah untuk menyebabkan perubahan komposisi unsur pada daerah HAZ [12].

Proses *decarburation* juga diiringi dengan pertumbuhan butiran (*grain growth*) yang semakin besar ketika temperatur meningkat. Gambar 5 menunjukkan bahwa butiran HAZ *carbon steel* pada sampel *as-welded* memiliki ukuran yang lebih besar daripada butiran *base metal*. Ini dikarenakan paparan panas yang diterima daerah HAZ telah menyebabkan timbulnya *grain growth*. Setelah mengalami PWHT, butiran tersebut mengalami *grain growth* dengan ukuran butiran terbesar ditunjukkan pada sampel dengan temperatur PWHT 700°C dengan fase *ferrite*. Temperatur PWHT tinggi menyebabkan *decarburation* dan difusi karbon ke arah *weld metal* 309L, serta *grain growth* di daerah HAZ [13, 14, 11].



Gambar 5: Struktur mikro sambungan *weld metal* dengan HAZ *carbon steel* sampel (a) as-welded, (b) 400°C, (c) 550°C, dan (d) 700°C pada perbesaran 600X.

4.0 KESIMPULAN

Nilai kekerasan terbesar terletak pada *weld metal*, kemudian nilai kekerasan turun pada HAZ dan paling rendah pada *base metal* terutama *carbon steel*. Proses PWHT pada sambungan *stainless steel* 316 dan *carbon steel* 1018 menyebabkan penurunan nilai kekerasan sepanjang sambungan. Selain itu, PWHT menghasilkan struktur mikro pada daerah HAZ mayoritas berupa fase *ferrite* dengan ukuran besar. Hal ini terjadi akibat *decarburization* dan *grain growth* ketika PWHT pada rentang 400 – 700°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Kah and M. S. J. Martikainen, "Trends in Joining Dissimilar Metals by Welding," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 440, pp. 269-276, 2014.
- [2] L. Osoba, I. Ekpe and R. Elemuren, "Analysis of Dissimilar Welding of Austenitic Stainless Steel to Low Carbon Steel by TIG Welding Process," *International Journal of Metallurgical & Materials Science and Engineering*, vol. 5, no. 5, pp. 2278-2524, 2015.
- [3] W. Chuaiphan, S. Chandra-ambhom, S. Niltawatch and B. Sornil, "Dissimilar Welding between AISI 304 Stainless Steel and AISI 1020 Carbon Steel Plates," *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 268-270, pp. 283-290, 2013.
- [4] J. K. Kim, S. G. Hong, K. B. Kang and C. Y. Kang, "Microstructure and High Temperature Properties of the Dissimilar Weld between Ferritic Stainless Steel and Carbon Steel," *Metals and Materials International*, vol. 15, no. 5, pp. 843-849, 2009.
- [5] V. Kumar, P. Joshi and S. Dhakar, "Analysis of the Effect of Sensitization on Austenitic Stainless Steel 304L Welded by GTAW Process," *International Journal of Technology Innovation and Research*, vol. 14, 2015.
- [6] S. Kumar, A. Shahi, V. Sharma and D. Malhotra, "Effect of Welding Heat Input and Post-weld Thermal Aging on the Sensitization and Pitting Corrosion Behavior of AISI 304L Stainless Steel Butt Welds," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 30, no. 3, pp. 1619-1640, 2021.
- [7] A. Bahador, E. Hamzah and M. F. Mamat, "Effect of Filler Metals on the Mechanical Properties of Dissimilar Welding of Stainless Steel 316L and Carbon Steel A51 Gr 70," *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, vol. 75, no. 7, pp. 61-65, 2015.

- [8] ESAB, *Specification of OK Tigrod 309L*.
- [9] American Iron and Steel Institute, "High Temperature Characteristic of Stainless Steel".
- [10] S. Tukur, M. Dambatta, A. Ahmed and N. Mu'az, "Effect of Heat Treatment Temperature on Mechanical Properties of the AISI 304 Stainless Steel," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [11] C. R. Oldani, "Decarburization And Grain Growth Kinetics During The Annealing Of Electrical Steels," *Scripta Materialia*, vol. 35, no. 11, pp. 1253-1257, 1996.
- [12] L. T. Nhung, P. M. Khanh, N. D. Thang and B. S. Hoang, "Microstructure in HAZ after Heat Treatment of Carbon Steel and Austenitic Stainless Steel Welds," *Materials Science Forum*, vol. 985, pp. 137-14, 2020.
- [13] M. Prabakaran and G. Kannan, "Effects of Post Weld Heat Treatment on Dissimilar Laser Welded Joints of Austenitic Stainless Steel to Low Carbon Steel," *International Journal of Pressure Vessel and Piping*, vol. 191, 2021.
- [14] A. Akhatova, F. Robaut, M. Verdier, M. Yescas, F. Roch, C. Tassin and H. P. van Landeghem, "Microstructural and Mechanical Investigation of the Near Fusion Boundary Region in Thermal aged 18MND5/Alloy 52 Narrow-gap Dissimilar Metal Weld," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 788, p. 139592, 2020.