

Efek *Post Weld Heat Treatment* terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW

Ahda Arifah^{1*} dan Sidiq Ruswanto¹

¹Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Proses pengelasan dengan GTAW menggunakan elektroda tungsten tak cair dengan diameter 3,2 mm, filler rod NSN - 316LR, dan gas argon 99%. Post Weld Heat Treatment (PWHT) adalah suatu proses untuk menghilangkan tegangan sisa akibat panas yang dihasilkan pada saat pengelasan dengan cara memanaskan kembali material di bawah suhu kritis bawah dan ditahan beberapa waktu kemudian didinginkan dengan pendinginan lambat. Proses PWHT yang memengaruhi sifat mekanik, yaitu suhu, holding time, dan media pendingin. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh holding time pada saat proses PWHT terhadap sifat mekanik AISI 316. Tujuan Penelitian ini adalah menganalisis pengaruh parameter holding time pada proses PWHT terhadap kekerasan mikro dan kekuatan tarik AISI 316 hasil pengelasan GTAW. Metode penelitian ini dilakukan dengan variable bebas yaitu holding time selama 1, 2, dan 3 jam. Parameter tetap yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu 550°C dan pendinginan yang dilakukan dalam furnace tertutup hingga mencapai suhu ruang. Hasil dari uji kekerasan mikro bagian lasan tertinggi 500,5 HV dan terendah 302,1 HV, sedangkan hasil uji kekuatan tarik tertinggi 520 N/mm² dan terendah 411,3 N/mm². Parameter holding time pada proses PWHT berpengaruh terhadap kekerasan mikro dan kekuatan tarik material.

Kata-kata kunci: Post Weld Heat Treatment, GTAW, Sifat Mekanik, Mikrostruktur

Abstract

GTAW process used tungsten electrode with a diameter of 3.2 mm, NSN-316LR filler rod, and 99% argon gas. Post Weld Heat Treatment (PWHT) is a process to eliminate residual stress due to heat generated during welding by reheating the material below the lower critical temperature and holding it for some time and then cooling it with slow cooling. The PWHT process that affects mechanical properties, namely temperature, holding time, and cooling media. This study focused on the effect of holding time during the PWHT process on the mechanical properties of AISI 316. The purpose of this study was to analyze the effect of holding time parameters on the PWHT process on micro hardness and tensile strength of AISI 316 from GTAW process. This research method is carried out with independent variables, there are holding time for 1, 2, and 3 hours. The fixed parameters used in this study are the temperature of 600 °C and the cooling done in the closed furnace until reaches room temperature. The results of the highest micro hardness test on the weld area 500,5 HV and lowest 302,1 HV, while the highest test results tensile strength 520 N/mm² and lowest 411,3 N/mm². The holding time parameter in the PWHT process has an effect on micro hardness and tensile strength.

Keywords: Post Weld Heat Treatment, GTAW, Mechanical Properties, Microstructure

* Corresponding author E-mail address: ahdaarifaa@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pengelasan banyak digunakan dalam industri seperti perminyakan, gas, petrokimia, kelautan, pembangkit listrik, reaktor nuklir, militer dan kedirgantaraan. Dalam kasus ini, pengurangan tegangan sisa sangat penting pada sambungan las untuk aplikasi di bidang – bidang tersebut. Perlakuan panas pasca las adalah salah satu teknik yang paling umum untuk menghilangkan sisa stres. Mengurangi efek tegangan sisa yang disebabkan oleh pengelasan dan peningkatan mekanis properti adalah tujuan utama *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Seringkali, perlakuan panas dalam kisaran suhu kritis tidak tepat dan karena itu pelepasan stres sebagian besar dilakukan di bawah batas kritis [1].

Beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian telah dilakukan tentang efek PWHT pada pengelasan. Penelitian Betham Sadeghi [1], menyelidiki efek variasi suhu PWHT terhadap struktur mikro, kekuatan tarik, dan kekerasan material. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu PWHT maka kekuatan tarik semakin menurun, dan kekerasan menurun signifikan seiring dengan naiknya suhu PWHT. Penelitian Smith dan Pistorius [2], menyelidiki efek dari perlakuan panas pasca las pada sambungan las dalam baja bejana tekan. Mereka mengamati bahwa kekerasan mikro dan kekuatan zona las dan HAZ berkurang dan ketangguhan meningkat setelah PWHT. Menurut penelitian Cho [3], mempelajari tegangan sisa dan perlakuan panas pasca pengelasan *multi pass weld*. Mereka menemukan tegangan sisa pada logam las adalah 316 MPa yang menurun menjadi 39 MPa setelah melalui proses PWHT. Penelitian Brito [4], meneliti efek dari perlakuan panas pasca las pada properti kapal bertekanan busur las ASTM A537 yang dilas. Kekerasan di zona logam las meningkat dan *Heat Affected Zone* (HAZ) dan logam dasar menurun. Mereka mengklaim bahwa ini disebabkan oleh deposisi beberapa senyawa di zona ini setelah PWHT. Penelitian Lochhead [5], mempelajari efek perlakuan panas pada sifat tarik ASTM A533 dan menyimpulkan bahwa kekuatan tarik berkurang dengan perlakuan panas pasca las. Bahkan, keuletan dan ketangguhan meningkat dan kekuatan tarik menurun dengan bertambahnya waktu dan suhu perlakuan panas. Penelitian Agus Duniawan [6], menurut hasil penelitiannya kekerasan mikro tertinggi terjadi pada material yang dilas namun tidak mengalami PWHT, dan yang terendah adalah material yang mengalami PWHT setelah dilakukan pengelasan. Sedangkan kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh spesimen hasil pengelasan yang tidak mengalami PWHT dan yang kekuatan tarik terendah dimiliki oleh material hasil pengelasan yang mengalami PWHT.

Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara parameter *holding time* pada proses PWHT dengan kekerasan dan kekuatan tarik AISI 316 setelah mengalami proses pengelasan dengan metode GTAW agar dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan.

2. METODE PENELITIAN

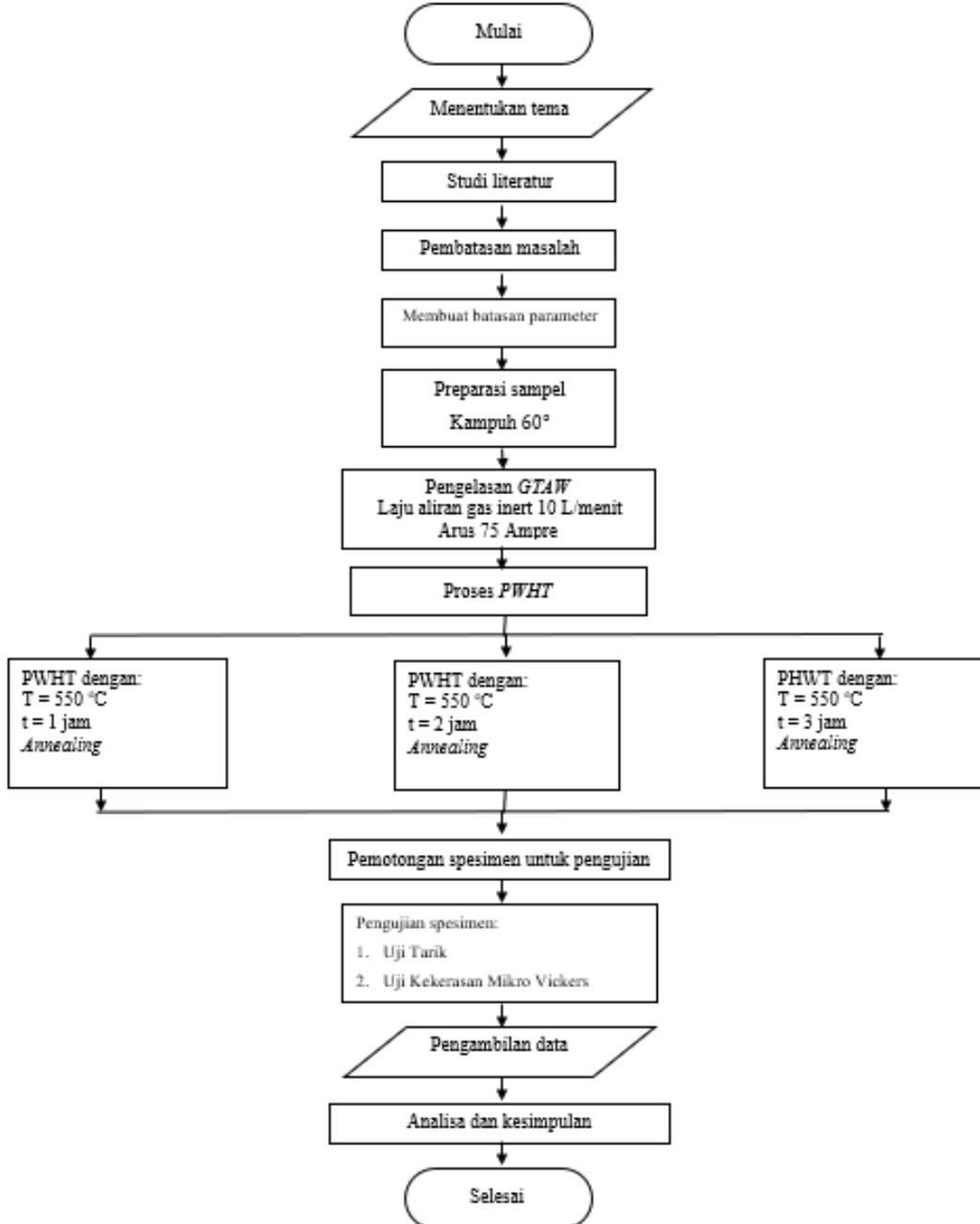
Langkah – langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Persiapan sampel dari bahan AISI 316 dipotong menjadi sampel dengan ukuran $100\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ sebanyak 11 buah
2. Membuat kampuh 60° pada bagian sisi 100 mm yang dilas menggunakan mesin gerinda tangan yang terdapat pada Bengkel Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
3. Melakukan pengelasan pada 10 buah material tersebut menjadi 5 buah sambungan dengan menggunakan mesin las GTAW dengan *filler rod* NSN – 316LR yang ada di Pusat Pelatihan Kerja Khusus Pengembangan Las, Condet.
4. Lima sambungan dipotong menjadi 12 sampel uji tarik dengan dimensi global $200\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ dan 12 sampel uji keras dengan dimensi global $70\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, sedangkan 1 buah *raw material* dipotong menjadi 3 sampel uji tarik dan 3 sampel uji keras.
5. Melakukan *heat treatment annealing* menggunakan *furnace* di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
6. Parameter tetap yang dilakukan pada penelitian ini adalah:
 - Arus Pengelasan : 75 Ampere
 - Laju Aliran gas inert : 10 Liter/menit
 - Jenis gas inert : Argon 99%
 - Polaritas pengelasan : polaritas terbalik
 - Suhu PWHT : 550°C
 - Jenis PWHT : Pendinginan lambat dalam furnace (Annealing)
7. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah:
 - *Holding time* PWHT : 1 jam, 2 jam, dan 3 jam

8. Dilakukan uji kekerasan mikro *Vickers* sebanyak lima belas sampel uji keras di Laboratorium BATAN Serpong. Pengujian dilakukan sebanyak 18 sampel dan dilakukan pengambilan data sebanyak 9 titik indentasi pada tiap sampel.

Dilakukan uji kekuatan tarik pada lima belas sampel uji Tarik. Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Pusat Pelatihan Kerja Khusus Pengembangan Las, Condet Jakarta Timur. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* GOTECH model GT 7001 LC 100. Pengujian diawali dengan pembuatan spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM E8 *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, kemudian spesimen uji tarik dijepit pada *chuck* mesin uji tarik dan mesin mulai bergerak dengan kecepatan dan beban tertentu untuk menarik spesimen hingga putus dan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh akan didapatkan.

Diagram alir penelitian yang dilakukan ditunjukkan seperti pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Metodologi Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

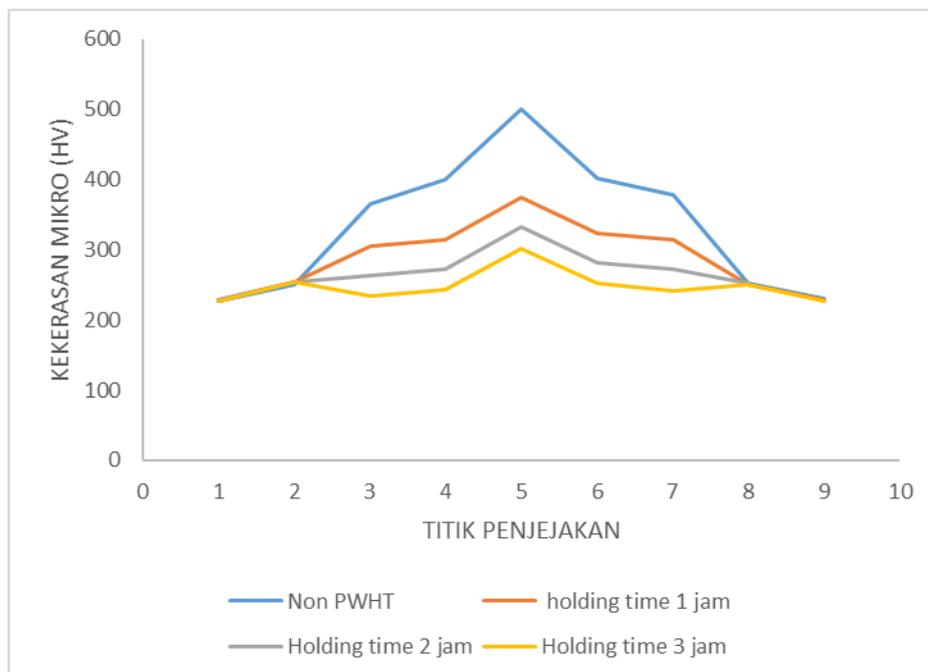
Hasil Uji Kekerasan Mikro

Hasil dari pengujian kekerasan mikro ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Hasil Uji Kekerasan Mikro Vickers

Sampel	Suhu PWHT (°C)	Holding time (jam)	Pengujian Kekerasan (HV)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Raw Material	0	0	228,5								
Non PWHT			227,3	250,5	365,7	400,9	500,5	401,7	378,9	252,8	230,1
1A	550	1	226,7	252,4	306	316	375	325	315	252,3	229,5
1B			228,4	254,1	298	308	367	317	307	250,4	227,6
1C			229,8	255,5	311	321	380	330	320	251	228,2
Rata - rata			228,3	254	305	315	374	324	314	251,2	228,43
2A	550	2	228,5	254,2	251	261	320	270	260	252,2	229,4
2B			227,9	253,6	276	286	345	295	285	251,9	229,1
2C			226,9	252,6	261	271	330	280	270	251,2	228,4
Rata - rata			227,8	253,4	262,7	272,7	331,67	281,67	271,67	251,8	228,97
3A	550	3	225,3	251	232	242	301	251	241	249,7	226,9
3B			229	254,7	233,5	243,5	302,5	252,5	242,5	251,4	228,6
3C			228,7	254,4	234,1	244,1	303,1	253,1	243,1	250,2	227,4
Rata - rata			227,7	253,3	233,2	243,2	302,2	252,2	242,2	250,4	227,63

Hubungan antara kekerasan mikro dan *holding time* ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Hubungan antara kekerasan mikro dan *holding time* PWHT

Berdasarkan grafik pada gambar 2, diketahui bahwa pengaruh *holding time* 1 jam, 2 jam, 3 jam terhadap kekerasan mikro adalah sebagai berikut:

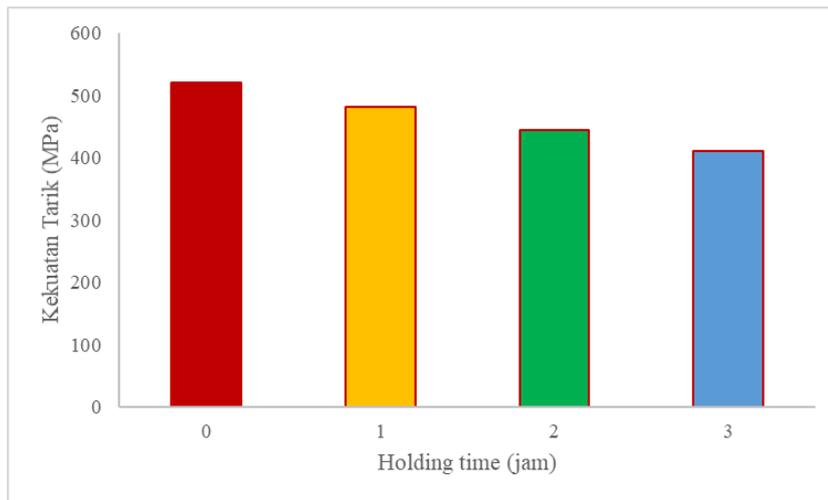
- Sampel yang mengalami pengelasan mengalami kenaikan kekerasan mikro di bagian Heat Affected Zone (HAZ) dan daerah lasan. hal ini terjadi karena pada saat proses pengelasan bagian sambungan terkena temperatur leleh dan pendinginan cepat dengan media udara sedangkan bagian HAZ mengalami panas yang mendekati temperatur leleh dengan proses pendinginan cepat dengan media udara. Hal ini sejalan dengan prinsip proses quenching yang menaikkan nilai kekerasan.
- Daerah HAZ pada masing – masing sambungan juga memiliki nilai kekerasan mikro lebih rendah jika dibandingkan dengan daerah lasannya. Dilakukannya PWHT menyebabkan kekerasan di semua daerah lasan dan HAZ menurun karena di daerah lasan dan HAZ mengalami penurunan tegangan sisa [1].
- Kekerasan mikro tertinggi dimiliki oleh sampel lasan yang tidak mengalami PWHT di bagian daerah lasannya yaitu 500,5 HV, dan bagian lasan yang kekerasannya paling rendah adalah yang mengalami PWHT selama 3 jam yaitu sebesar 302 HV, hal ini menunjukkan bahwa semakin lama *holding time* maka menyebabkan kekerasan daerah lasan semakin menurun.
- Base metal tidak mengalami perubahan kekerasan yang signifikan.
- Kenaikan waktu *holding time* menyebabkan kekerasan mikro di bagian HAZ dan lasan turun. Hal ini didukung dengan penelitian Adnan Sandi (2014) yang menyatakan bahwa perlakuan annealing dengan variasi *holding time* dapat menurunkan kekerasan. Kekerasan pada daerah las mempunyai harga kekerasan lebih tinggi dibandingkan dari HAZ dan logam induk. Penurunan nilai kekerasan berbanding lurus dengan lama waktu penahanan/*holding time*.

2. Hasil Uji Kekuatan Tarik

Tabel 2 Hasil Uji Kekuatan Tarik

No Sampel	Suhu PWHT (°C)	<i> Holding time</i> (jam)	Kekuatan Tarik (MPa)
<i>Raw Material</i>	0	0	515,3
Non PWHT			520
1A	550	1	480,3
1B			481,5
1C			480,5
Rata - rata			480,8
2A	550	2	444,5
2B			443,8
2C			444,1
Rata - rata			444,1
3A	550	3	411,6
3B			411,3
3C			411,1
Rata - rata			411,3

Hubungan kekerasan mikro dan waktu tahan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Hubungan Kekuatan Tarik dan *Holding time* PWHT

Berdasarkan grafik pada gambar 3, diketahui bahwa pengaruh *holding time* 1 jam, 2 jam, 3 jam terhadap kekuatan tarik adalah sebagai berikut:

- Sampel yang mengalami pengelasan mengalami kenaikan kekuatan tarik menjadi 520 MPa, dan menjadi material yang memiliki kekuatan tarik tertinggi karena material ini tidak mengalami perlakuan panas *annealing* sehingga tidak mengalami penurunan kekuatan tarik [1].
- Kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh sampel lasan yang tidak mengalami PWHT yaitu sebesar 520 MPa, dan yang terendah adalah yang mengalami PWHT selama 3 jam yaitu sebesar 411,3 MPa. Artinya, lamanya *holding time* berbanding lurus dengan penurunan kekuatan tarik.
- Kenaikan waktu *holding time* menyebabkan kekuatan tarik material turun. Hal ini didukung dengan penelitian Adnan Sandi (2014) yang menyatakan bahwa Perlakuan *annealing* dengan variasi *holding time* dapat menurunkan kekuatan tarik sebesar 6,5% untuk tebal plat 9 mm dan 5,3% untuk tebal plat 16 mm, tetapi dapat meningkatkan regangan mencapai 56,1% untuk tebal plat 9 mm dan 49,7% untuk tebal plat 16 mm dibandingkan dengan benda uji non *annealing* .

4. KESIMPULAN

1. *Holding time* PWHT mempengaruhi kekerasan mikro dan kekuatan tarik material.
2. Kenaikan waktu *holding time* menyebabkan kekerasan mikro dan kekuatan tarik di bagian HAZ dan lasan turun.
3. Kekerasan mikro tertinggi dimiliki oleh sampel lasan yang tidak mengalami PWHT di bagian daerah lasannya yaitu 500,5 HV dan bagian lasan yang kekerasannya paling rendah adalah yang mengalami PWHT selama 3 jam yaitu sebesar 302,1 HV.
4. Kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh sampel lasan yang tidak mengalami PWHT yaitu sebesar 520 MPa, dan yang terendah adalah yang mengalami PWHT selama 3 jam yaitu sebesar 411,3 MPa.
5. Kekerasan pada logam induk tidak mengalami perubahan yang terlalu signifikan akibat proses PWHT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pelatihan Kerja Khusus Pengembangan Las (PPKPL) atas dukungan fasilitas tempat dan peralatan pada penelitian ini.

REFERENSI

1. B. Sadeghi, H. Sharifi, M. Rafei, M. Tayebi, "Effects of post weld heat treatment on residual stress and mechanical properties of GTAW: The case of joining A537CL1 pressure vessel steel and A321 austenitic stainless steel", *Engineering Failure Analysis* 94 396–406, 2018.

2. J.R. Cho, B.Y. Lee, Y.H. Moon, C.J. Vantyne, "Investigation of residual stress and post weld heat treatment of multi-pass welds by finite element method and experiments", *J. Mater. Process. Technol.* 155–156, 2004.
3. V. Brito, H. Voorwald, N. Neves, I. Bott, "Effects of a post weld heat treatment on a submerged arc welded ASTM A537 pressure vessel steel", *J. Mater. Eng. Perform.* 10 249–257, 2001.
4. Z. Sterjovski, D.G. Carr, D.P. Dunne, S. Ambrose, "Evaluation of cross-weld properties of quenched and tempered pressure vessel steel before and after PWHT", *Int. J. Press. Vessel. Pip.* 81 465–470, 2004.
5. J.C. Lochhead, A. Speirs, "The effects of heat treatment on pressure-vessel steels", *J. West Scotl, ISI* 80 187–219, 1972.
6. Agus Duniawan, "Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* pada Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) Aluminium 2024", Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI X), 2016.
7. Ami R. Andrea, Wikan Jatimurti, Lukman Noerrochim, "Pengaruh Variasi Holding Temperature dan Holding Time pada Post Weld Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan Material Bisclad 600 Dengan Metode Smaw Di PT. Holcim Indonesia", *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 7, No. 1, 2337-3520, 2018.