

Pengaruh *Holding Temperature* pada *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Terhadap Kekerasan Material *Carbon Steel A105*

Rahmad Dian Saputra^{*1}, Adhe Aryswan^{*} dan Windy Stefani^{*}

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: rahmaddiansaputra23@gmail.com

Abstrak

Banyak perusahaan yang menggunakan material lebih tebal sehingga proses *heat treatment* tidak dapat dihindari lagi. Berdasarkan general prosedur yang digunakan pada umumnya (ASME dan AWS), proses *heat treatment* ini untuk menjaga struktur material dan kualitas material. Material seperti baja karbon mengalami perubahan mikrostruktur selama pemanasan dan pendinginan. Dalam berbagai proses perlakuan panas terdapat faktor penting terdapat pada waktu penahan, temperatur pemanasan, dan laju pendinginan. Adapun metode pelepasan tegangan sisa yang sering digunakan pada pengelasan yakni metode termal melalui *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Penelitian ini untuk melihat Pengaruh *Holding Temperature* pada *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) pada Material *Carbon Steel A105* . Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) merupakan langkah dalam memperbaiki sifat mekanis material *Carbon Steel A105* pasca pengelasan. Pengujian dilakukan dengan kecepatan pemanasan 220°C/h dari suhu *ambient* (32°C) menuju suhu target, diikuti dengan penahanan suhu selama 1 jam, dan pendinginan hingga mencapai suhu 300°C dengan kecepatan maksimal 220°C/h. Hasil PWHT pada suhu 450°C, 650°C, dan 750°C menunjukkan perbedaan kekerasan yang signifikan. Pada suhu 450°C, variasi nilai kekerasan yang besar mengindikasikan perlunya peningkatan konsistensi dalam perlakuan panas untuk mencapai hasil yang lebih akurat. Disisi lain, pada suhu 650°C dan 750°C, nilai kekerasan stabil dan lebih tinggi mencerminkan efektivitas PWHT dalam menghasilkan struktur material yang merata, mengurangi tegangan sisa pengelasan secara optimal. Kesimpulannya kontrol ketat terhadap parameter PWHT, khususnya *holding temperature* , kunci untuk memastikan kualitas dan performa optimal dari material *Carbon Steel A105* . Hal ini penting dalam mengurangi tegangan sisa yang dapat mempengaruhi kestabilan struktur dan mekanis benda uji setelah perlakuan panas.

Kata kunci: Suhu Penahan, Perlakuan Panas Pasca Pengelasan, Kekerasan, Baja Karbon

Abstract

Many companies use thicker materials, making the heat treatment process unavoidable. Based on general procedures commonly used (ASME and AWS), this heat treatment process is employed to maintain the material structure and quality. Materials like carbon steel undergo microstructural changes during heating and cooling. Various heat treatment processes involve critical factors such as soaking time, heating temperature, and cooling rate. One common method to relieve residual stress in welding is thermal treatment through Post Weld Heat Treatment (PWHT). This study aims to examine the Effect of Holding Temperature during Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Carbon Steel A105. PWHT is a step in enhancing the mechanical properties of Carbon Steel A105 after welding. Testing was conducted with a heating rate of 220°C/h from ambient temperature (32°C) to the target temperature, followed by a one-hour soak at temperature, and cooling to 300°C at a maximum rate of 220°C/h. Results from PWHT at temperatures of 450°C, 650°C, and 750°C show significant differences in hardness. At 450°C, a large variation in hardness values indicates the need for improved consistency in heat treatment to achieve more accurate results. Conversely, at 650°C and 750°C, stable and higher hardness values reflect the effectiveness of PWHT in producing a uniform material structure, optimally reducing welding residual stresses. In conclusion, strict control over PWHT parameters, particularly holding temperature, is crucial to ensuring the quality and optimal performance of Carbon Steel A105. This is essential for reducing residual stresses that can affect the stability and mechanical properties of test specimens after heat treatment.

Keywords: Holding Temperature, Post Weld Heat Treatment, Hardness, Carbon Steel

1 Pendahuluan

Dalam proses fabrikasi dan konstruksi proyek, *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terkadang diperlukan untuk mengurangi tegangan sisa pada material setelah pengelasan. Material seperti baja karbon mengalami perubahan mikrostruktur selama pemanasan dan pendinginan. Proses pengelasan menurunkan ketangguhan material [1]. Saat ini banyak perusahaan yang menggunakan material lebih tebal sehingga proses *Heat Treatment* tidak dapat dihindari lagi, karna berdasarkan general prosedur yang digunakan pada umumnya (ASME dan AWS) proses *Heat Treatment* ini untuk menjaga struktur material dan kualitas material. Dalam berbagai proses perlakuan panas terdapat faktor penting terdapat pada waktu penahan, temperatur pemanasan, dan laju pendinginan. Hal tersebut juga berlaku pada perlakuan panas setelah pengelasan (PWHT) yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa, meningkatkan kelenturan pada HAZ dan memperbaiki karakteristik kekuatan pengelasan [2].

Terdapat dua metode pelepasan tegangan sisa, yaitu metode mekanis dan termal. Di antara keduanya, metode termal melalui *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) paling sering digunakan. Dalam PWHT, tiga faktor krusial adalah waktu penahan (*Holding Time*), suhu pemanasan, dan laju pendinginan. *Holding Temperature* adalah acuan dalam proses perlakuan panas. *Holding Temperature* berperan penting dalam proses perlakuan panas untuk menghasilkan baja dengan sifat yang optimal [3].

Destructive Test merupakan metode pengujian material atau spesimen yang dilakukan dengan cara merusak material tersebut. Pada sifat mekanik ini menggunakan pengujian *Hardness Test* dengan metode *Vickers* agar mengetahui performa material dan memeriksa kekuatan pada material setelah proses perlakuan panas [4].

Hardness Test merupakan bagian dari pengujian *Destructive Test* (DT). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material atau benda uji. Metode pengujian *Hardness* meliputi *Vickers*, *Rockwell* and *Brinell*. Dalam pengujian ini, lekukan dibuat pada permukaan logam menggunakan bola baja yang dikeraskan dengan tekanan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop setelah beban dihilangkan.

Metode pengujian *Vickers* merupakan pengujian kekerasan logam dengan cara memberikan gaya statis menggunakan indenter berupa *pyramid diamond* terbalik dengan sudut puncak 136° ke permukaan logam yang akan diuji kekerasannya, dan permukaan logam sudah diratakan. Ketika gaya tersebut dilepas dan Indenter diangkat, diagonal bekas indentasi yang akan digunakan sebagai kekerasan logam yang akan diuji. Hasil pengukuran dikenal sebagai kekerasan *Vickers*, disingkat HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*) [5].

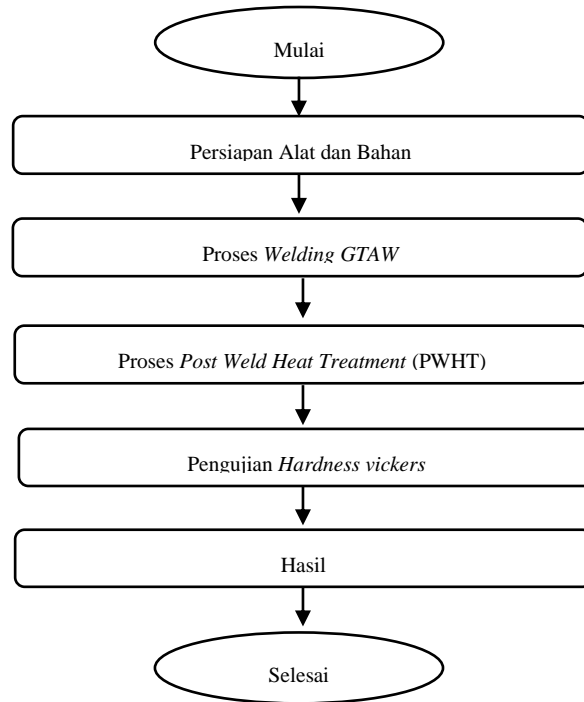
Sehingga penulis melakukan penelitian ini untuk mendapatkan perbedaan angka kekerasan pada material berdasarkan *Holding Temperature* pada proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) agar sesuai dengan prosedur yang disetujui.

Batasan masalah pada penelitian ini agar sesuai dengan tujuan maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini berfokus pada pengujian *Hardness* pada material *Carbon Steel* berdasarkan perbedaan *holding temperature* pada proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT),
2. Penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan *Hardness Vicker type Ecotype Piccolo 2* .
3. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh angka kekerasan pada benda uji, berdasarkan *Holding Temperatur* pada proses PWHT.

2 Metodologi Penelitian

Pada Alur Pengujian di bawah ini menunjukkan tahapan untuk mencapai tujuan Pengaruh *Holding Temperature* pada *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Material *Carbon Steel A105* :



Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

2.1.1 Material

Material yang digunakan adalah *Carbon Steel A105* berdasarkan prosedur yang telah disetujui dengan komposisi material dan *Mechanical Properties* for “Grade A105” yang terlampir pada gambar berikut :

Tabel 1

Komposisi material

CHEMICAL COMPOSITION % (ASTM A105)

Steel designation	Chemical composition												
	C max	Si	Mn	P Max	S max	Cu max	Ni max	Cr max	Mo max	V max	Nb max	Cu+Ni+Cr+Mo Max	Cr+Mo max
ASTM 105	0,35	0,10 ÷ 0,35	0,60 ÷ 1,05	0,035	0,040	0,40	0,40	0,30	0,12	0,08	0,02	1,00	0,32

Tabel 2

Mechanical Properties for Grade A105

Mechanical Properties for “grade A105”

Tensile Strength (psi) min	70.000 psi
Yield Strength (psi) min	36.000 psi
Elongation in 2”(%) min	22%
Reduction area (%) min	30%
Brinell hardness (BHN) max	187

2.1.2 Heat Treatment

Untuk melakukan proses PWHT memerlukan beberapa alat, seperti mesin *transformer Globe Type GHT 1001* dengan kemampuan 50kVA yang digunakan sebagai penyuplai aliran listrik kepada *heating element*, *Heating Rope Element* yang memiliki resistensi 0.06 ohm pada nilai 1 *bead*-nya ini sebagai elemen pemanas, *Type EH 3127-001 series* sebagai perekam temperatur, *Type P159TDA* sebagai pemrogram temperatur, dan beberapa kabel koneksi yang diperlukan untuk menyambung antara mesin, *heating element*, program dan *recorder* yang digunakan untuk merekam temperatur.



Gambar 2:Peralatan Heat Treatment

2.1.3 Hardness Equipment

Hardness dilakukan menggunakan alat *Brand Ecotype Piccolo 2* dengan detail fisik alat sebagai berikut:



Gambar 4:Alat Pengujian Vickers

2.2 Proses Pengerjaan

2.2.1 Proses Welding

Pada material *Carbon Steel A105* menggunakan proses GTAW dengan *Filler Metal ER70S-2* dengan *typical properties* sebagai berikut:

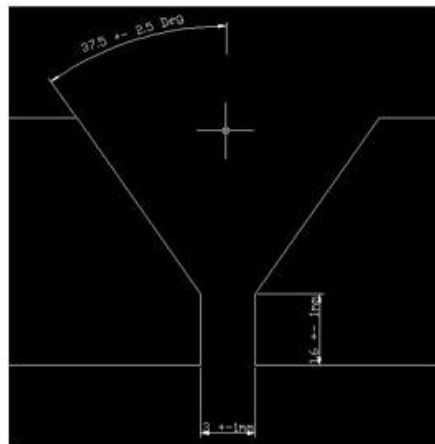
Tabel 3

Typical Mechanical Properties ER70S-2

MECHANICAL PROPERTIES ER70S-2 (as welded):

<i>Ultimate Tensile Strength (psi)</i>	75,420 psi (520 MPa)
<i>Yield Strength (psi)</i>	63,820 psi (440 MPa)
<i>Percent Elongation</i>	28%
<i>CVN (ft•lbf) @ -20°F</i>	35-45 ft•lbs (47-61 Joules)

Masing-masing proses pada saat *welding* harus disertai dengan *Weld Preparation* dan *Actual Parameter*, dengan detail ukuran *Weld preparation* yang dimiliki pada *bevel angle* $37,5 \pm 2,5$ degree, *root face* $1,6 \pm 1$ mm, *root gap* 3 ± 1 mm, dan *hi-low maximal* 1,6 mm.



bevel angel $37,5 \pm 2,5$ degree
root face $1,6 \pm 1$ mm
root gap 3 ± 1 mm
hi-low maximal 1,6mm

Gambar 5: *Weld Preparation*

Tabel 4

Actual Parameter

Wire Size in	Step	Ampere	Volt	Travel Speed	Heat Input
2.4	Root	125	11	20	2,26875
2.4	Hot Pass	140	9	45	1,848
3.2	Filler	160	9	60	1,584
3.2	Capping	140	8	80	0,924

2.2.2 Proses PWHT

Metode PWHT yang digunakan adalah *localised* (ditempat) dengan parameter yang berbeda-beda pada setiap spesimen. Pada spesimen 1 dilakukan *holding temperature* dengan suhu panas 450°C , pada spesimen 2 dilakukan dengan suhu panas 650°C , pada spesimen 3 dilakukan dengan suhu panas 750°C . Untuk proses PWHT sesuai ASME B31.3 pada tabel 331.1.1 untuk material *carbon steel holding temperature* berada pada $595^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ [6]. Pengujian ini saya lakukan untuk mencari perbandingan 3 spesimen dengan *Holding Temperature* yang berbeda guna mengetahui parameter yang disetujui oleh prosedur. Pemanasan dan pendinginan dilakukan dengan percepatan yang sama sebesar $220^{\circ}\text{C}/\text{hour}$.

Tabel 5

Requirements for Heat Treatment Berdasarkan ASME B31.3 Pada Tabel 331.1.1 [7]

Base Metal P-No. [Note (1)]	Weld Metal Analysis A-Number [Note (2)]	Base Metal Group	Nominal Wall Thickness		Specified Min. Tensile Strength, Base Metal		Metal Temperature Range		Holding Time			Brinell, Hardness, Max. [Note (4)]
			mm	in.	MPa	ksi	°C	°F	Nominal Wall [Note (3)]		Min. Time, h	
									min /mm	hr/ in.		
1	1	Carbon Steel	≤ 20	≤ 3/4	All	All	None	None
			> 20	> 3/4	All	All	595-649	1,100-1,200	2,4	1	1	...

Tabel 6

Parameter *localized* PWHT

Spesimen	Temperatur
Spesimen 1	450°C
Spesimen 2	650°C
Spesimen 3	750°C

2.2.3 Pengujian *Hardness Vickers*

Hardness dilakukan pada masing-masing spesimen yang sudah di-*welding*, dengan posisi spot masing-masing benda spesimen dilakukan pada HAZ 1, *welding area* dan HAZ 2.



Gambar 6: Titik Pengujian

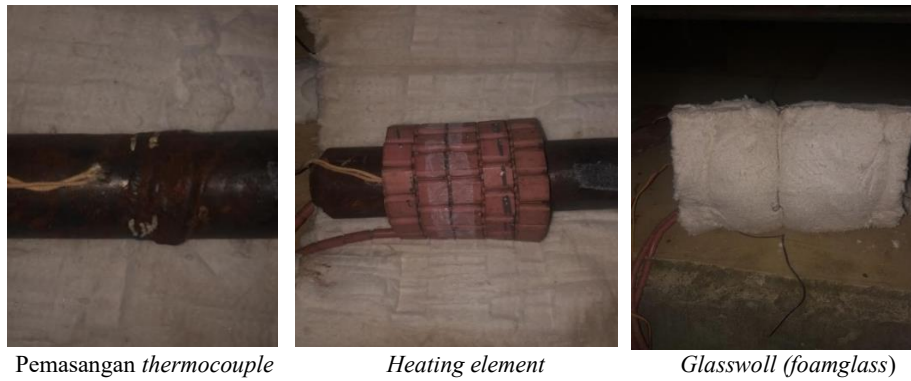
Setiap spot akan dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali. *Acceptance criteria* pada proses *hardness*, berdasarkan *ASTM-A370-21* pada *figure 17.1.3* yang menyatakan untuk material *heat treatment* tidak ada maksimum yang ditentukan [8]. Kekerasan minimum dan maksimum dapat ditentukan berdasarkan kesepakatan proyek.

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Proses *Post Weld Heat Treatment*

Berikut proses *post weld heat treatment* yang dimulai dari pemasangan *thermocouple* guna mengetahui suhu yang telah dihasilkan. Pada pemasangan ini akan dipengaruhi oleh dua elemen, yakni :

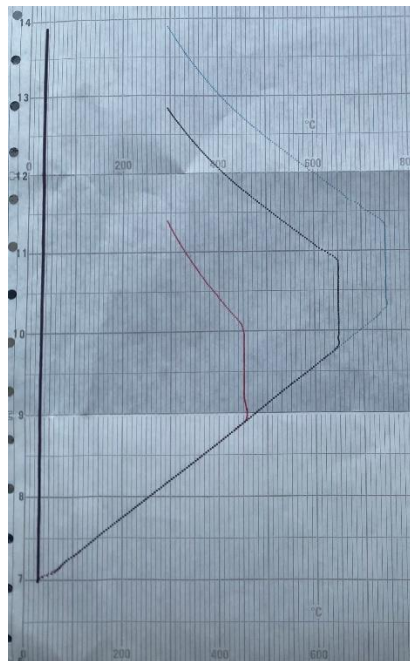
- *Heating element* berfungsi sebagai sumber api / pemanas yang diantarkan melalui listrik dari transformer mesin,
- *Glasswool (foamglass)* berfungsi sebagai menutup proses panas / membatasi proses panas yang sedang berlangsung agar mencapai temperatur panas yang diinginkan.



Gambar 7 Proses *Post Weld Heat Treatment*

3.2 *Post Weld Heat Treatment Chart*

Pada pengujian PWHT dimulai dari suhu *ambient*/suhu ruangan 32°C dengan kecepatan pemanasan 220 °C/hour untuk mencapai suhu yang diinginkan. Setelah mencapai suhu yang diinginkan akan di-*holding time* selama 1 jam. Kemudian pada proses pendinginan semua mesin yang bekerja akan terekam pada sistem program dan berhenti secara bersamaan pada suhu 300°C dengan kecepatan maksimal 220 °C/jam



Gambar 8 : *Post Weld Heat Treatment Chart*

Diatas merupakan laporan berupa grafik yang telah saya buat berdasarkan hasil data yang terekam pada sistem *chart recorder* seperti pada gambar 8. Bisa dilihat pada garis merah merupakan *thermocouple* yang merekam suhu 450°C yang memerlukan waktu 2 jam untuk mencapai suhu *holding time*. Pada proses *holding* dilakukan penahanan suhu selama 1 jam dan dilanjut dengan melakukan pendinginan dari suhu 450°C - 300°C selama 1 jam 10 menit. Garis hitam merupakan *thermocouple* yang merekam suhu 650°C yang memerlukan waktu 2 jam 45 menit untuk mencapai suhu *holding time*. Pada proses *holding* dilakukan penahanan suhu selama 1 jam dan dilanjut dengan melakukan pendinginan suhu dari 650°C - 300°C selama 2 jam. Garis biru merupakan *thermocouple* yang merekam suhu 750°C yang memerlukan waktu 3

jam 20 menit untuk mencapai suhu *holding time*. Pada proses *holding* dilakukan penahanan suhu selama 1 jam dan dilanjut dengan melakukan pendinginan suhu dari 750°C - 300°C derajat selama 2 jam 45 menit.

3.3 Proses Kalibrasi Alat *Vickers*

Sebelum melakukan proses *hardness*, yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah mengkalibrasi alat menggunakan kalibrasi *block* berdasarkan prosedur ukuran untuk memastikan kelayakan pada alat yang akan digunakan. Kalibrasi *block* pada alat *Vickers* yang digunakan memiliki angka kekerasan 763 HV dengan toleransi 7 HV.



Kalibrasi *block*



Proses Kalibrasi

Gambar 9 : Proses Kalibrasi Alat *Vickers*

3.4 Hasil Pengujian *Hardness Vickers*

Terlampir detail untuk penyajian hasil dari pengujian *Hardness*.

Tabel 7

Hasil Pengujian *Hardness* sebelum proses *PWHT*

Area Uji	Angka Pengujian Spesimen				
	1	2	3	4	5
HAZ 1	520 HV	521 HV	505 HV	517 HV	510 HV
Welded Area	463 HV	522 HV	232 HV	418 HV	434 HV
HAZ 2	420 HV	398 HV	478 HV	384 HV	324 HV

Berikut adalah tabel yang menunjukkan angka kekerasan sebelum diberi perlakuan panas. Dapat dilihat bahwa angka kekerasan sangat tidak beraturan. tabel ini juga dapat digunakan sebagai referensi untuk melihat perbedaan angka kekerasan pada material uji yang akan diberikan perlakuan panas.

Tabel 8
Hasil Pengujian *Hardness* dengan Suhu 450°C

Area Uji	Angka Pengujian Spesimen				
	1	2	3	4	5
HAZ 1	176 HV	443 HV	157 HV	235 HV	184 HV
Welded Area	188 HV	147 HV	299 HV	447 HV	173 HV
HAZ 2	191 HV	187 HV	454 HV	443 HV	188 HV

Pada tabel 8 merupakan hasil pengujian *hardness* pada benda uji dengan suhu 450°C. Nilai angka kekerasan yang didapatkan sangat tinggi dan diluar karakteristik *mechanical properties base metal carbon steel A105*, hal ini disebabkan karena pada suhu 450°C belum mengalami perubahan struktur material yang cukup signifikan atau kehilangan sifat mekanis yang di inginkan , karena pada suhu 450°C ini proses perlakuan panas kurang tepat dan tidak maksimal dan menyebabkan variasi besar dalam nilai kekerasan yang diukur .

Tabel 9
Hasil Pengujian *Hardness* dengan Suhu 650°C

Area Uji	Angka Pengujian Spesimen				
	1	2	3	4	5
HAZ 1	191 HV	190 HV	196 HV	193 HV	195 HV
Welded Area	195 HV	191 HV	193 HV	193 HV	194 HV
HAZ 2	190 HV	192 HV	194 HV	194 HV	196 HV

Tabel 10
Hasil Pengujian *Hardness* dengan Suhu 750°C

Area Uji	Angka Pengujian Spesimen				
	1	2	3	4	5
HAZ 1	203 HV	200 HV	199 HV	205 HV	204 HV
Welded Area	201 HV	204 HV	203 HV	206 HV	205 HV
HAZ 2	199 HV	199 HV	204 HV	205 HV	203 HV

Pada tabel 9 dan tabel 10, hasil *hardness* pada benda uji dengan suhu 650°C dan 750°C. Pada suhu 650°C proses perlakuan panas seperti PWHT telah menyebabkan perubahan struktur material lebih signifikan. Ini dapat mengurangi tegangan sisa yang terbentuk selama proses pengelasan, karena struktur material yang lebih stabil dan lebih terkendali setelah perlakuan panas. Akibatnya, nilai kekerasan yang diperoleh lebih konsisten dan sesuai dengan karakteristik mekanis yang diharapkan dari *base metal carbon steel A105*.

Pada suhu 750°C semakin tinggi temperature perlakuan panas maka semakin merata dan dapat mengurangi tegangan sisa setelah proses pengelasan dan angka kekerasan yang didapat semakin tinggi. Tetapi semakin tinggi angka kekerasan yang didapat akan mengurangi nilai ketangguhan pada material . Dengan demikian, penggunaan suhu perlakuan panas yang lebih tinggi seperti 650°C dan 750°C tidak hanya meningkatkan stabilitas angka kekerasan, tetapi juga dapat meningkatkan performa mekanis dan meningkatkan kualitas material setelah proses pengelasan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian *hardness* pada material *Carbon Steel A105* dengan menggunakan suhu 450°C, 650°C, dan 750°C, terlihat bahwa setiap suhu pengujian memberikan karakteristik kekerasan yang berbeda. Pada suhu 450°C terdapat variasi yang signifikan dalam nilai kekerasan, hal ini mengindikasikan perlunya perbaikan dalam memastikan konsistensi dan akurasi yang lebih baik pada hasil pengujian berikutnya. Namun di sisi lain, nilai kekerasan yang diperoleh pada suhu 650°C lebih merata dan stabil sesuai dengan acuan requirement heat treatment pada prosedur. Suhu 750°C lebih merata dan lebih tinggi angka kekerasannya namun angka kekerasan yang tinggi dapat meningkatkan potensi nilai ketangguhan yang rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa proses PWHT pada suhu yang lebih tinggi mampu mengurangi tegangan sisa setelah proses pengelasan dan memastikan penggunaan holding temperature yang sesuai berdasarkan prosedur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian ini diperlukan kontrol yang ketat terhadap parameter PWHT, seperti *holding temperature* yang sangat penting untuk memastikan kualitas dan kinerja terbaik dari material agar dapat mengurangi seluruh tegangan sisa yang terdapat pada benda uji yang diberikan perlakuan panas.

5 Daftar Pustaka

- [1] J. Victoria, M. M. Munir, and M. S. Amri, "Analisis Metode Temper Bead Welding Sebagai Alternatif Pengganti PWHT Terhadap Nilai Hardness dan Struktur Mikro Pada Baja Low- Carbon".
- [2] P. Post, W. Heat, T. Terhadap, S. Mekanik, D. A. N. Struktur, and M. Pada, "Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember," 2018.
- [3] M. Femi Imanudin Purba and A. Fathier, "Pengaruh variasi temperatur PWHT dan tanpa PWHT terhadap sifat kekerasan baja ASTM A106 grade B pada proses pengelasan SMAW," *J. Weld. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–18, 2020.
- [4] S. Sahri, "Analysis of the Effect Line Heating on Mechanical Properties and Microstructure of Steel ASTM A36 with Variations Cooling," p. 95, 2015.
- [5] P. . I Dewa Gede Ary Subagia, ST., MT., "Pengujian Mikro Vickers," *Modul Prakt. Metal.*, no. September, pp. 1–45, 2015.
- [6] ANON, "Process Piping," *Chem. Eng.*, vol. 76, no. 8, pp. 95–108, 1969, doi: 10.1016/b978-0-443-23919-9.00002-3.
- [7] U. Hasdiana, "table 331.1.1 requirements for heat treatment," *Anal. Biochem.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2018, [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
- [8] S. T. Method, "iTeh Standards iTeh Standards Document Preview," vol. 08, no. Reapproved 1989, pp. 3–4, 2000, doi: 10.1520/A0370-21.2.