

# ANALISIS TEMPERATUR PWHT DAN HOLDING TIME PADA SAMBUNGAN LAS MATERIAL SA 387 GRADE 11 CLASS 1 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Mukhamad Ilham Rakhmadana Putra<sup>1</sup>, Muhamad Ari<sup>1</sup>, Imam Khoirul Rohmat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya, Indonesia

Email: [ilhamrakhmadana@gmail.com](mailto:ilhamrakhmadana@gmail.com)<sup>1</sup>, [m.ari@ppns.ac.id](mailto:m.ari@ppns.ac.id)<sup>2</sup>, [imamkhoirulrohmat@ppns.ac.id](mailto:imamkhoirulrohmat@ppns.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Material SA 387 Grade 11 Class 1 tergolong material 1.25Cr-0.5Mo sangat sensitif terhadap hydrogen cracking serta nilai kekerasan yang tinggi setelah dilakukan proses pengelasan. Untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya hydrogen cracking pada Heat Affected Zone (HAZ) dan nilai kekerasan yang tinggi maka direkomendasikan untuk dilakukan preheat dan post weld heat treatment (PWHT). Pada penelitian ini PWHT dilakukan dengan variabel temperatur dan holding time pada masing-masing spesimen, yaitu 590°C, 620°C, dan 650°C dengan holding time 30 dan 60 menit. Pemanasan dan pendinginan dilakukan di dalam automatic muffle furnace. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa perbedaan temperatur dan holding time dapat mempengaruhi struktur mikro. Pada uji struktur mikro diketahui bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama holding time mengakibatkan dominasi fasa bainit semakin berkurang. Hasil uji kekerasan tertinggi terletak pada temperatur dan holding time terendah, yaitu 590°C dan holding time 30 menit dengan nilai kekerasan 153,08 HVN pada base metal, 215,23 HVN pada HAZ, serta 239,28 HVN pada weld metal. Nilai kekerasan terendah didapatkan pada temperatur dan holding time tertinggi, yaitu 650°C dan holding time 60 menit dengan nilai kekerasan 138,71 HVN pada base metal, 173,65 HVN pada HAZ, serta 215,52 HVN pada weld metal.

**Kata Kunci:** Post Weld Heat Treatment, temperatur, holding time, hardness, mikrostruktur

## Abstract

Material SA 387 Grade 11 Class 1 classified as 1.25Cr-0.5Mo material is very sensitive to hydrogen cracking and high hardness due to welding process. To minimize the possibility of hydrogen cracking in the Heat Affected Zone (HAZ) and high hardness, it is recommended to do preheat and post weld heat treatment (PWHT). In this study, PWHT was conducted with temperature and holding time variables in each specimen, namely 590 °C, 620 °C, and 650 °C with holding time of 30 and 60 minutes. Heating and cooling are carried out in an automatic muffle furnace. The results of microstructure testing show that temperature and holding time has affect to microstructure. Microstructure test result says that the higher temperature and longer holding time resulting in the dominance of the bainite phase decreases. The highest hardness test result is obtained at temperature 590°C and holding time 30 minutes with a hardness value of base metal, HAZ and weld metal respectively are 153.08, 215.23 and 239.28 HVN. The lowest hardness value is obtained at temperature 650°C and holding time 60 minutes with a hardness value of base metal, HAZ and weld metal respectively are 138.71, 173.65 and 215.52 HVN.

**Keywords:** Post Weld Heat Treatment, temperature, holding time, hardness, microstructure

## 1. PENDAHULUAN

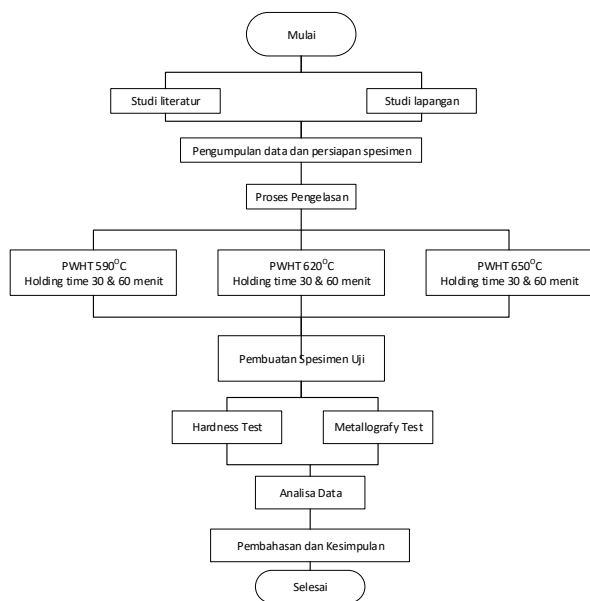
Pada perkembangan dunia industri, teknologi pengelasan menjadi salah satu proses yang tidak terpisahkan dalam dunia manufaktur, engineering, dan konstruksi maupun produksi. Salah satu spesifikasi material yang sering digunakan pada pembuatan ketel uap dan bagian-bagian pendukungnya adalah SA 387 Grade 11 Class 1. Material ini merupakan paduan chrome-moybdenum yang dapat diaplikasikan pada temperatur tinggi [1]. Pada

proses pengelasan banyak hal yang harus diperhatikan, salah satunya adalah perlakuan panas. Perlakuan panas sendiri ada dua macam, yaitu preheat dan post weld heat treatment (PWHT). Untuk mendapatkan hasil las yang baik, setelah proses pengelasan perlu dilakukan perlakuan panas yaitu Post Weld Heat Treatment (PWHT) yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk setelah pengelasan selesai akibat tegangan thermal karena perbedaan temperatur antara logam induk dan daerah las. Material akan

mengalami perubahan struktur setelah proses pemanasan dan pendinginan pada proses pengelasan. Struktur ini menyimpan banyak tegangan sisa yang membuat material getas yaitu bersifat keras namun ketangguhan lebih rendah. Untuk itu perlu dilakukan pemanasan dengan suhu dan jangka waktu tertentu pula sehingga sifat dapat kembali seperti semula. Ketika pelaksanaan PWHT pada pekerjaan fabrikasi tentunya sering terdapat berbagai kendala, seperti temperatur furnace tidak memenuhi temperatur minimum yang diisyaratkan oleh standard. Karena itu temperatur PWHT yang diambil dalam penelitian ini lebih rendah dan lebih tinggi dari standard [2] dengan holding time yang berbeda.

**2. METODE**

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Tahapan ini meliputi studi literatur dan studi lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan, proses Post Weld Heat Treatment pada temperatur 590°C, 620°C dan 650°C dengan holding time 30 dan 60 menit, pembuatan spesimen uji, uji kekerasan dan metalografi, analisa data, serta pembahasan dan kesimpulan.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

**2.1 Persiapan Spesimen**

Pada penelitian ini menggunakan material *low alloy steel* dengan spesifikasi SA 387 Grade 11 Class 1 dengan bentuk kampuh V groove 60°. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) dengan logam pengisi E-81T1. Komposisi kimia material SA 387 Grade 11 Class 1 dapat dilihat pada Tabel 2.1. Sedangkan komposisi kimia E-81T1 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

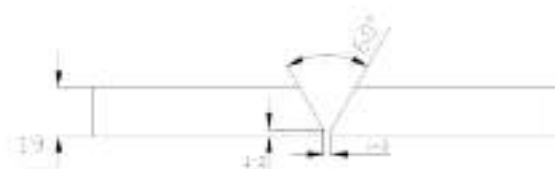
**Tabel 2.1** Komposisi Kimia SA-387 Grade 11 Class 1 [3]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0.16	0.61	0.64	0.016	0.002	1.22	0.47

**Tabel 2.2** Komposisi Kimia E-81T1 [4]

C	Mn	Si	S	O	Cr	Mo
0.05-0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	1.00 - 1.50	0.40-0.65

Pada penelitian kali ini menggunakan material dengan dimensi 200 x 200 x 19 sebanyak 6 *joint*. Untuk detail sambungan, sambungan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.** Disain sambungan

**2.2 Proses Pengelasan**

Dalam penelitian ini dilakukan dengan proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) dengan desain sambungan *butt joint* dengan *beckweld*. Proses pengelasan menggunakan *shielding gas* CO2 100%. Terdapat 6 *joint* yang dilakukan pada proses pengelasan dengan parameter-parameter pengelasan yang sama.

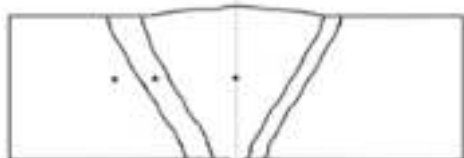
**2.3 Proses Post Weld Heat Treatment (PWHT)**

Setelah proses pengelasan selesai, lalu dilakukan proses PWHT. Dalam penelitian ini

dilakukan variasi temperatur dan *holding time* yang berbeda, yaitu temperatur 590°C, 620°C dan 650°C dengan *holding time* 30 dan 60 menit. Proses PWHT dan pendinginan dilakukan di dalam *automatic muffle furnace*.

## 2.4 Pengujian Metalografi

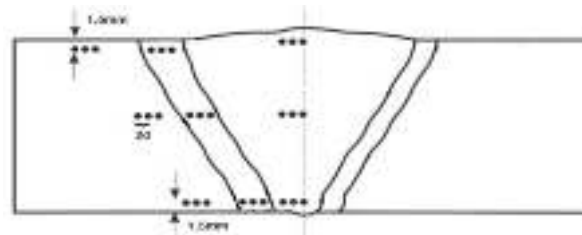
Pengujian mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi setelah dilakukan *Post Weld Heat Treatment* pada masing-masing spesimen dengan temperatur dan *holding time* yang berbeda.. Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500x. Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, spesimen di etsa menggunakan larutan nital 2% dengan komposisi 2ml + 98ml alkohol. Pada penelitian ini pengujian struktur mikro dilakukan pada *base metal*, HAZ dan *weld metal* dengan lokasi pengambilan gambar struktur mikro dan perbesaran yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 3. Lokasi Pengambilan Uji Mikro

## 2.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Vickers. Pengujian ini menggunakan beban sebesar 10 kgf dengan waktu indentasi 15 detik. Pengujian kekerasan dilakukan untuk menguji nilai kekerasan di daerah *Base Metal*, *Heat Affected Zone*, dan *weld metal*. Pada tiap daerah, dilakukan indentasi sebanyak 9 kali pada titik yang berbeda. Hasil indentasi kemudian diamati dibawah mikroskop dan dengan menggunakan bantuan komputer, kekerasan material dapat tampil di layar. Lokasi pengambilan uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 4. Titik Pengambilan Uji Kekerasan [5]

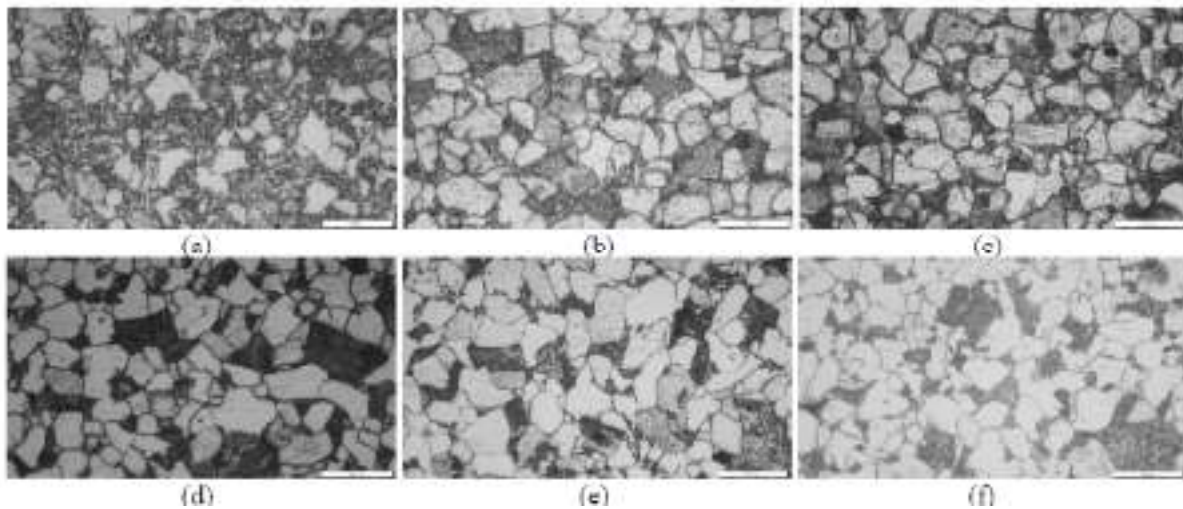
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Uji Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada *base metal* didapatkan fasa ferit dan bainit [6][7]. Pada masing-masing variasi temperatur dan *holding time* terlihat tidak terlalu banyak perbedaan, hal ini karena pada saat proses pengelasan daerah *base metal* tidak terpengaruh oleh panas. Hasil uji struktur mikro pada *base metal* dapat dilihat pada Gambar 3.1.

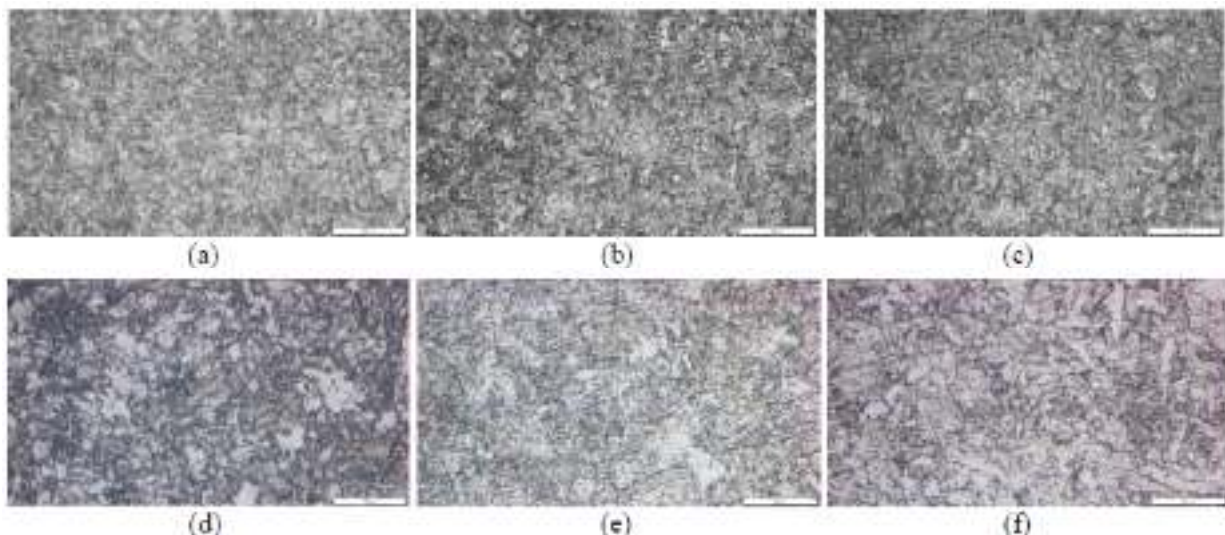
Dari hasil pengamatan pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) didapatkan daerah HAZ ini telah mengalami siklus *thermal* dan pendinginan cepat sehingga terjadi perubahan struktur mikro [8]. Pada daerah HAZ ini terlihat struktur mikro pada masing-masing spesimen terdapat perubahan, pada setiap spesimen dengan penambahan temperatur dan *holding time*, dominasi fasa bainit terlihat semakin berkurang.

Pada spesimen variasi lain dengan temperatur dan *holding time* yang lebih lama terlihat dominasi fasa bainit semakin berkurang kerapatannya sehingga terlihat semakin kasar. Jika diamati dengan diagram TTT material 1.25Cr-0.5Mo, ketika material diberi perlakuan panas pada temperatur yang semakin tinggi dan semakin lama ditahan pada temperatur tersebut, akan memperbesar peluang terbentuknya fasa ferit dibandingkan fasa bainit. Sehingga ketika bainit digambarkan dengan warna gelap dan ferit dengan warna terang, maka dapat mengurangi kerapatan pada struktur mikro seiring bertambahnya temperatur dan *holding time*



**Gambar 5.** Struktur mikro pada *base metal* : (a) PWHT 590°C, 30 menit; (b) PWHT 590°C, 60 menit; (c) PWHT 620°C, 30 menit; (d) PWHT 620°C, 60 menit; (e) PWHT 650°C, 30 menit; (f) PWHT 650°C, 60 menit

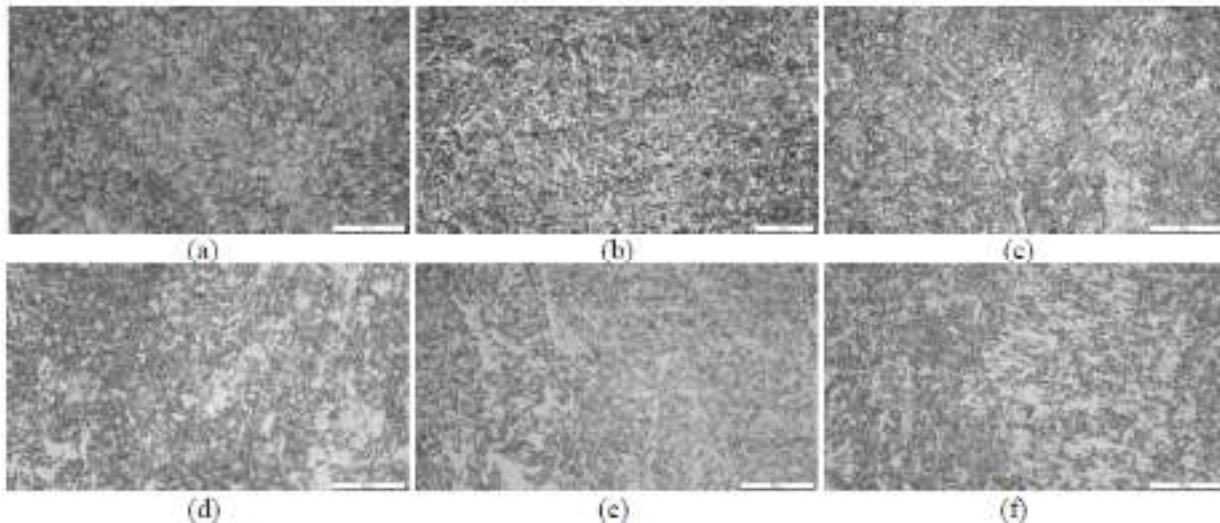
. Hasil uji struktur mikro pada *Heat Affected Zone* (HAZ) dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 6.** Struktur mikro pada *Heat Affected Zone* : (a) PWHT 590°C, 30 menit; (b) PWHT 590°C, 60 menit; (c) PWHT 620°C, 30 menit; (d) PWHT 620°C, 60 menit; (e) PWHT 650°C, 30 menit; (f) PWHT 650°C, 60 menit

Dari hasil foto mikro struktur pada daerah *weld metal* terlihat adanya ferit dan bainit yang terbentuk akibat proses pemanasan dan pendinginan saat proses pengelasan. Pada daerah *weld metal* ini terlihat dominasi fasa bainit pada masing-masing spesimen terdapat perubahan, pada setiap spesimen dengan

penambahan temperatur dan *holding time*, dominasi fasa bainit terlihat semakin berkurang. Dapat dilihat bahwa variasi dengan temperatur dan *holding time* terendah (A1) terlihat struktur mikro yang paling rapat sehingga terlihat lebih halus dibandingkan dengan struktur mikro pada variasi yang lain.



**Gambar 7.** Struktur mikro pada *weld metal*: (a) PWHT 590°C, 30 menit; (b) PWHT 590°C, 60 menit; (c) PWHT 620°C, 30 menit; (d) PWHT 620°C, 60 menit; (e) PWHT 650°C, 30 menit; (f) PWHT 650°C, 60 menit

Pada spesimen variasi lain dengan temperatur dan *holding time* yang lebih lama terlihat struktur semakin berkurang kerapatannya sehingga terlihat semakin kasar.

Jika diamati dengan diagram TTT material 1.25Cr-0.5Mo, ketika material diberi perlakuan panas pada temperatur yang semakin tinggi dan semakin lama ditahan pada temperatur tersebut, akan memperbesar peluang terbentuknya fasa ferit dibandingkan fasa bainit. Hasil uji struktur mikro pada *weld metal* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

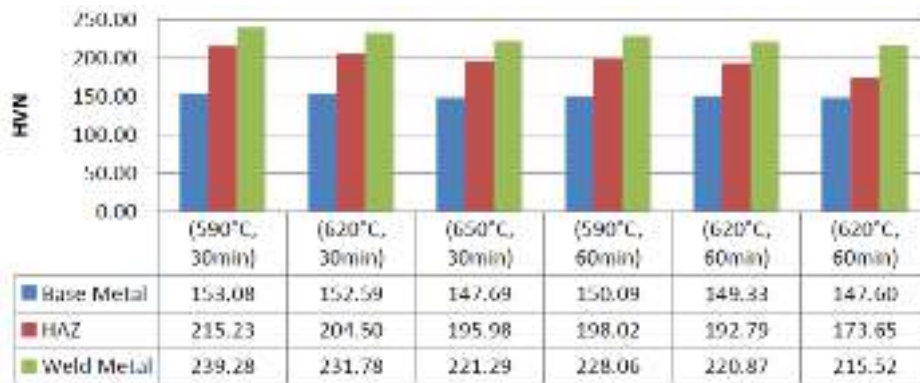
### 3.2 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan pada daerah *base metal*, *Heat Affected Zone*, dan *weld metal*. Hasil uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Dari grafik nilai kekerasan diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada daerah *base metal* cenderung sama karena pada daerah ini tidak mengalami perubahan fasa akibat pengelasan.

Pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) nilai kekerasan cenderung menurun seiring bertambahnya temperatur dan *holding time* pada proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Begitupun dengan nilai kekerasan dari *weld metal*, dimana nilai kekerasan semakin menurun seiring bertambahnya temperatur dan *holding time* pada proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)[9]. Jika dihubungkan dengan fasa yang ditemukan di struktur mikro, dapat dihubungkan bahwa nilai kekerasan naik seiring dengan naiknya dominasi fasa bainit. Dari analisa tersebut dapat dikatakan bahwa nilai kekerasan dapat naik karena fasa bainit yang semakin mendominasi dibandingkan dengan fasa ferit. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan oleh [10][11], dimana fasa bainit menyebabkan naiknya nilai kekerasan. Dominasi fasa bainit berkurang seiring dengan naiknya temperatur dan *holding time*, sehingga pada proses transformasi material akan lebih banyak kesempatan untuk berubah menjadi fasa ferit dari pada fasa bainit [12].





Gambar 8. Grafik Nilai Kekerasan

#### 4. KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan mengenai *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan temperatur 590°C, 620°C, dan 650°C dengan *holding time* 30 dan 60 menit, dapat disimpulkan bahwa: Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa perbedaan temperatur dan *holding time* pada proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dapat mempengaruhi struktur mikro. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* mengakibatkan dominasi fasa bainit berkurang.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa perbedaan temperatur dan *holding time* dapat mengakibatkan perubahan nilai kekerasan material, baik pada *Heat Affected Zone* maupun *weld metal*, namun tidak terlalu banyak perbedaan pada *base metal*. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan temperatur dan *holding time* terendah, yaitu 153,08 HVN pada *base metal*, 215,23 HVN pada HAZ, dan 147,60 HVN pada *weld metal*. Nilai kekerasan terendah terdapat pada spesimen dengan temperatur dan *holding time* tertinggi, yaitu 138,71 HVN pada *base metal*, 173,65 HVN pada HAZ, dan 215,52 HVN pada *weld metal*

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada direktur PPNS surabaya yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmed, S.Riyaz. 2012. *Correlation of Mechanical and Microstructure properties in SMAW welded Cr-Mo Boiler steels subjected to different Post Weld Heat Treatment soaking time*. Lucknow-India
- [2] American Welding Society *Handbook Ninth Edition Volume 4*,(2015), Miami.
- [3] ASME Section II Part A,(2017) *Ferrous Material Specification (SA 240 to end)*, New York THE AMERICA WELDING SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.
- [4] ASME Section II part C.(2017). *Specification for Welding rods, Electrodes, and Filler Metal*, New York THE AMERICA SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.
- [5] API (2008) *Materials and Fabrication of 1.25Cr-0.5Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-pressure Hydrogen Service Operating at or Below 825°F (441°C)*. Washington
- [6] ASM, *Microstructural Atlas: ASM Volume 7*, 1972
- [7] Hye-sung Na. (2017). *Thermodynamic Alloy Design of High Strength and Toughness in 300 mm Thick Pressure Vessel Wall of 1.25Cr-0.5Mo Steel* ., Korea

- [8] Wiryosumatro, H. d. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [9] Shrestha, Triratna. (2015). *Effect of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of Grade 91 Steel*. Moscow
- [10] Gojic, M. (2006). *The Effect of post weld heat treatment on properties of low alloyed CrMoNb steel after submerged welding*. Sisak-Croatia
- [11] Muchtarom, Imam. 2016. *Transformasi Fasa*. Sinar: Balikpapan
- [12] Gde, Tjokro Tirta Nindha. 2018. *Pengetahuan Material Teknik Equilibrium, Logam dan Paduan*. Denpasar : Udayana