

## **Pengaruh Media Pendingin *Post–Weld Heat Treatment* (PWHT) Terhadap Karakteristik Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Hasil Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)**

**Zuldesmi Mansjur<sup>1)</sup>, Moh. Fachruddin Suharto<sup>2)</sup>**

<sup>1)2)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado

E-mail: <sup>1)</sup> [zuldesmi@unima.ac.id](mailto:zuldesmi@unima.ac.id), <sup>2)</sup> [fachruddinsuharto@unima.ac.id](mailto:fachruddinsuharto@unima.ac.id)

### **Abstrak**

*Post-Weld Heat Treatment* (PWHT) selain berfungsi untuk menghilangkan tegangan sisa, juga untuk meningkatkan ketangguhan sambungan di daerah pengaruh panas/*Heat Affected Zone* (HAZ) dan memperbaiki butir-butir kristal suatu material. Parameter PWHT (waktu, temperatur dan media pendingin) sangat mempengaruhi peningkatan karakteristik mekanik dari material las, seperti: kekerasan, kekuatan tarik, keuletan, ketangguhan dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap sifat mekanik (kekerasan dan kekuatan tarik) dan struktur mikro baja karbon rendah ST42 hasil pengelasan SMAW. PWHT dilakukan pada temperatur 800 °C dengan tiga variasi media pendingin yaitu: air, udara, dan tungku. Hasil penelitian yang didapat adalah nilai kekerasan dan kekuatan tarik baja ST42 hasil pengelasan SMAW menjadi turun setelah dilakukan proses PWHT, namun elongation meningkat setelah PWHT. Diantara ketiga variasi media pendingin PWHT (air, udara dan tungku), nilai kekerasan dan kekuatan tertinggi dihasilkan pada baja las ST42 dengan media pendingin air. Struktur mikro baja las S45C terdiri atas fasa ferite, perlite dan bainite. Ukuran butir baja tersebut menjadi lebih halus setelah PWHT dibandingkan dengan tanpa PWHT.

Kata Kunci: Baja karbon, Karakteristik mekanik, Pengelasan, PWHT, SMAW, , Struktur mikro

### **Abstract**

*Post-Weld Heat Treatment* (PWHT) not only serves to eliminate residual stresses, but also to increase the toughness of joints in the *Heat Affected Zone* (HAZ) and improve the crystal grains of a material. PWHT parameters (time, temperature and cooling media) greatly affect the improvement of mechanical characteristics of welding materials, such as: hardness, tensile strength, ductility, toughness and so on. This study aims to determine the effect of cooling media on mechanical properties (hardness and tensile strength) and microstructure of low carbon steel ST42 from SMAW welding. PWHT was carried out at a temperature of 800 °C with three variations of cooling media, namely: water, air, and furnace. The results obtained were that the hardness and tensile strength of ST42 steel from SMAW welding decreased after the PWHT process, but elongation increased after PWHT. Among the three variations of PWHT cooling media (water, air and furnace), the highest hardness and strength values were produced on ST42 welding steel with water cooling media. The microstructure of S45C welded steel consists of ferrite, perlite and bainite phases. The grain size of the steel becomes finer after PWHT than without PWHT.

Keywords: Carbon steel, Mechanical characteristics, Welding, PWHT, SMAW, , Microstructure

## 1. PENDAHULUAN

Baja merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam dunia industri, baik dalam skala besar maupun skala kecil. Selain itu juga baja sering digunakan sebagai bahan utama dari suatu pembuatan material yang dipadu dengan logam atau material lainnya. Salah satu jenis baja yang banyak digunakan yaitu baja karbon. Selain mudah didapatkan dan harga yang cukup terjangkau, baja ini juga memiliki kelebihan sifat yang sangat kuat dan liat dengan struktur butir yang halus, dan dapat dilakukan pengerjaan dalam keadaan suhu tinggi maupun rendah, serta mudah dilas dan dibentuk. Baja karbon ini banyak digunakan dalam konstruksi baja, rangka jembatan, tiang transmisi, menara air, dan lain-lain (Wiryosumarto, 2004).

Proses pembuatan dan perbaikan konstruksi tersebut biasa dilakukan dengan proses pengelasan. Definisi pengelasan menurut DIN (Deutse Industrie Normen) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Dalam proses penyambungan ini adakalanya disertai dengan tekanan dan material tambahan (filler material). Metode pengelasan yang umum digunakan yaitu metode las listrik atau disebut juga las SMAW (Shield Metal Arc Welding). Las SMAW adalah sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mecairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses ini dihasilkan karen adanya lompatan ion (katoda dan anoda) listrik pada ujung elektroda dan permukaan material.

Kelebihan pengelasan SMAW antara lain, dapat diandalkan untuk mengelas berbagai tipe sambungan, posisi serta lokasi yang sulit dikerjakan, biaya pengoperasian yang relatif rendah dan dapat dipakai untuk mengelas di dalam maupun di luar ruangan. Tidak diperlukan hose untuk gas pelindung ataupun air pendingin, serta dapat dioperasikan pada tempat yang jauh dari sumber tenaga, dan kualitas sambungan dapat dirancang sedemikian rupa dengan menggunakan berbagai jenis elektroda. Parameter yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan yaitu arus listrik, tegangan pengelasan, kecepatan pengelasan, diameter kawat elektroda, ketebalan lapisan fluks, dan jenis sambungan las (Wiryosumarto, 2004).

Proses pengelasan dapat mengubah sifat-sifat benda kerja dari keadaan semula dimana pada saat bahan dalam kondisi suhu tinggi dan cair menjadi reaktif terhadap kondisi disekitar seperti udara luar. Hasil reaksi akan menyatu dengan lasan dan mengubah struktur logam lasan, karena perubahan struktur mikro akan mempengaruhi sifat mekanik bahan seperti kekuatan, kekerasan, dan keuletan. Pengelasan juga memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal tersebut menjadi penyebab terjadinya tegangan-tegangan pada daerah las, tegangan inilah yang disebut tegangan sisa. Tegangan sisa yang disebabkan proses pengelasan dapat menyebabkan retak las dan dapat membahayakan konstruksi yang dilas apabila menerima pembebanan. Selain itu, tegangan sifat akan menurunkan sifat mekanik material. Ada dua metode yang digunakan untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari dua cara diatas yang umum digunakan adalah cara termal dengan proses Post-Weld Heat Treatment (PWHT) (Wiryosumarto, 2004). Selain untuk menghilangkan tegangan sisa, PWHT juga berfungsi untuk meningkatkan ketangguhan sambungan di daerah pengaruh panas/Heat Affected Zone (HAZ) dan memperbaiki butir-butir kristal suatu material (F.Liu dkk, 2006, Y.Liu, 2016 dan Gouveia dkk, 2018). Parameter PWHT (waktu, temperatur dan media pendingin) sangat mempengaruhi peningkatan karakteristik mekanik dari material las, seperti: kekuatan tarik, keuletan, ketangguhan dan lain sebagainya.

Berdasarkan pembahasan di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh media pendingin PWHT dalam meningkatkan karakteristik mekanik, dalam hal ini kekuatan tarik dan kekerasan serta struktur mikro baja karbon hasil pengelasan SMAW.

## 2. METODE PENELITIAN

### a. Material yang Digunakan

Material yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk batangan bulat (round bar). Komposisi kimia dari material baja ST 42 ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. komposisi kimia baja karbon rendah ST42(mass %)

C%	Mn%	Si%	S%	P%
0,25	0,80	0,30	0,05	0,05

## b. Pelaksanaan Penelitian

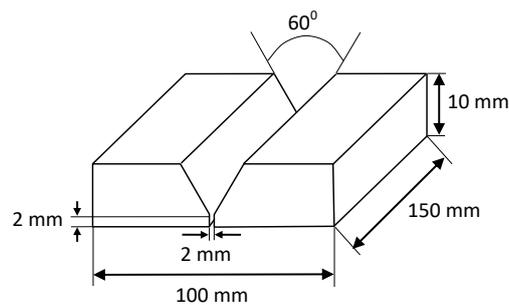
### 1) Prosedur Pengelasan

Proses pengelasan SMAW dilakukan dengan menggunakan parameter pengelasan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. parameter pengelasan SMAW

Voltase (V)	Arus (A)	Kecepatan pengelasan (cm/detik)	Energi masukan panas (kJ/cm)	Voltase (V)
60-85	110	0,37	13,263	60-85

Dalam setiap proses pengelasan dilakukan secara manual menggunakan las listrik SMAW dengan besar arus 110 A, sambungan kampuh V dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  (Gambar 1), menggunakan elektroda las RB-26 dengan diameter 2,6 mm, dengan posisi pengelasan datar. Sebelum melakukan pengelasan terlebih dahulu kita menyiapkan spesimen sesuai dengan standar yang ditetapkan lab. Uji seperti yang telah dijelaskan diatas. Polaritas pengelasan yaitu polaritas terbalik dan proses pengisian dari pengelasan terdiri dari 2 layer pada kampuh V.



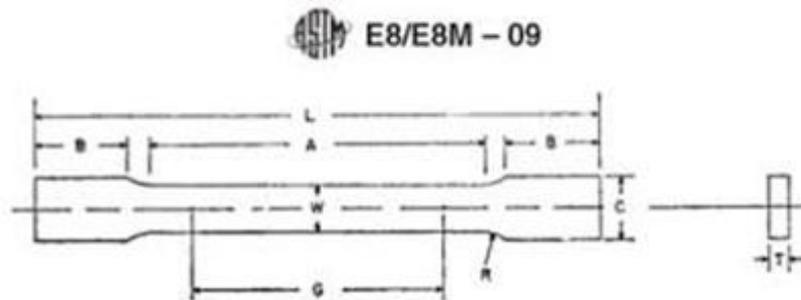
Gambar 1. dimensi spesimen las dengan kampuh V

### 2) Post Weld Heat Treatment

Setelah pengelasan, spesimen dibagi atas dua kelompok. Kelompok pertama adalah spesimen as-welded dan kelompok ke dua adalah spesimen as-PWHT. Spesimen as-PWHT adalah spesimen setelah pengelasan yang dipanaskan ke dalam tungku pemanas pada temperatur  $800^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Kemudian spesimen didinginkan di tiga variasi media pendingin yaitu: air (Quenching), tungku pemanas (Annealing) dan udara terbuka (Normalizing) sampai mencapai temperatur kamar.

### 3) Pengujian Tarik

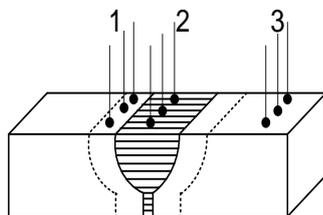
Mesin pengujian tarik yang digunakan Universal Testing Machine Zwick Z100 dengan bentuk spesimen seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Dimensi spesimen uji Tarik

### 4) Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan pengujian kekerasan Vickers. Setelah dilakukan pengelasan, maka terdapat tiga tempat daerah yang terpengaruh akibat proses pengelasan, dimana tiap tempat dilakukan dua titik pengujian. Pada gambar 3 dapat dilihat titik-titik pengujian.



Gambar 3. Titik pengujian kekerasan

Keterangan gambar:

1. Daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone / HAZ*)
2. Daerah logam las (*Weld Metal / WM*)
3. Daerah logam induk (*Base Metal / BM*)

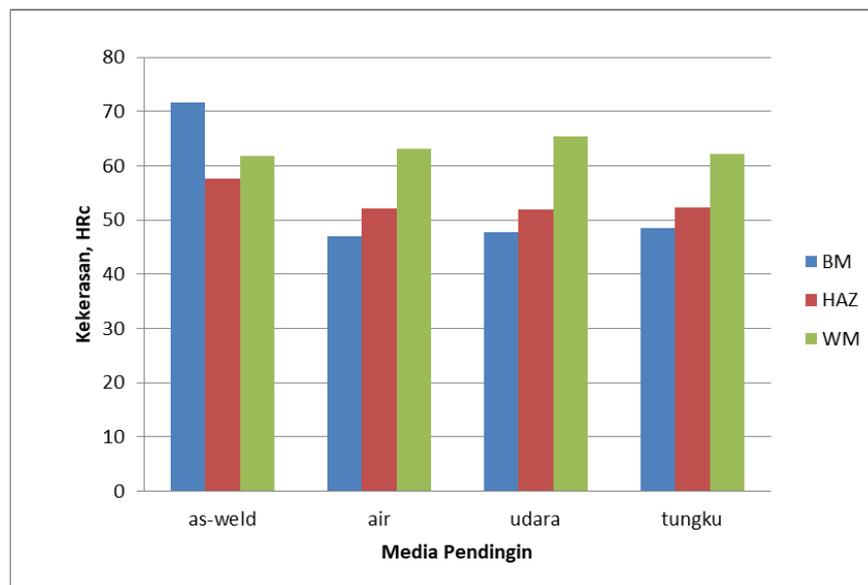
### 5) Pengujian Struktur Mikro

Baja karbon hasil las SMAW dipotong tegak lurus arah pengelasan. Pada tahap awal, spesimen dipersiapkan berdasarkan standar metalografi yaitu: pemotongan, pembersihan, penggerindaan, pemolesan dan pengetsaan dengan zat etsa HNO<sub>3</sub> selama 10–15 detik pada temperatur kamar. Kemudian daerah pengelasan diinvestigasi secara mikrograf menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 50x.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Pengukuran Nilai Kekerasan

Nilai kekerasan material las setelah PWHT sangat dipengaruhi oleh temperatur, waktu dan media pendingin. Pengaruh media pendingin terhadap baja ST42 hasil pengelasan SMAW sebelum dan sesudah PHWT ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



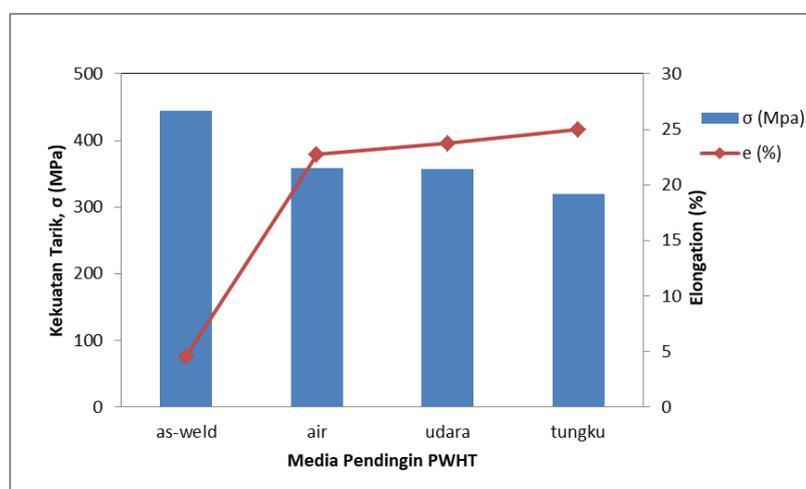
Gambar 4. Pengaruh media pendingin PWHT terhadap kekerasan baja ST42

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada setiap daerah atau titik pengujian (base metal, HAZ dan weld metal) mengalami perbedaan di setiap variasi media pendingin. Pada daerah base metal, nilai kekerasan spesimen hasil las (as-weld) memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan spesimen las setelah PWHT pada ke 3 media pendingin yaitu 71,72 HRC yang diikuti berturut-turut oleh nilai kekerasan pada spesimen setelah PWHT pada media pendingin tungku, udara dan air yaitu 48,58; 47,7; dan 47,03 HRc. Fenomena yang sama juga dapat dilihat pada daerah HAZ, dimana harga kekerasan tertinggi berada pada spesimen as-weld (57,53) dan diikuti oleh spesimen PWHT dengan media pendingin tungku (52,31 HRc), air (52,08 HRc) dan udara (51,87 HRc). Dari gambar 4 juga dapat dilihat bahwa distribusi kekerasan rata-rata tertinggi berada di daerah weld metal, sementara nilai kekerasan rata-rata terendah berada pada daerah base metal. Disisi lain, perbedaan nilai kekerasan pada setiap media pendingin (air, udara dan tungku) tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Terjadinya penurunan

kekerasan hasil las baja karbon ST42 setelah dilakukan PWHT sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh J.O. Olalawale (2012) yang menyimpulkan bahwa kekerasan menurun setelah dilakukannya proses PWHT pada hasil las baja karbon rendah. Hal ini disebabkan karena pengurangan tegangan sisa meningkat selama proses pengelasan. Abdulkareem S. Aloraier (2013) juga menginvestigasi karakteristik mekanik baja karbon rendah hasil pengelasan multilayer setelah dilakukan PWHT. Namun, trend kekerasan berbeda pada daerah weld metal. Nilai kekerasan baja ST42 hasil pengelasan di daerah weld metal mengalami peningkatan setelah dilakukannya proses PWHT. Kekerasan spesimen setelah PWHT pada media pendingin udara menunjukkan nilai yang paling tinggi (65,38 HRc) diantara media pendingin air (63,08 HRc) , tungku (62,23 HRc) dan tanpa PWHT (61,75 HRc). Dapat disimpulkan bahwa proses PHWT pada baja ST42 akan memberikan nilai kekerasan yang terbaik di daerah weld metal jika menggunakan media pendingin udara.

### b. Pengukuran Nilai Kekuatan Tarik dan Elongation

Post-weld heat treatment dilakukan bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material setelah pengelasan, salah satunya kekuatan tarik hasil pengelasan. Media pendingin PHWT merupakan salah satu faktor penting untuk mendapatkan karakteristik mekanik lasan yang lebih baik dan optimal. Gambar 5 memperlihatkan pengaruh variasi media pendingin PWHT terhadap kekuatan tarik dan elongation baja ST42 hasil pengelasan SMAW.

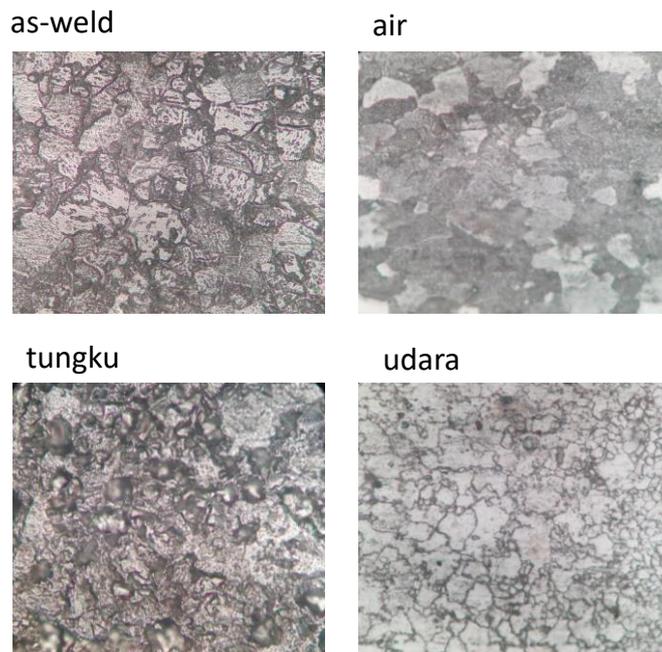


Gambar 5. distribusi kekuatan tarik dan elongation baja ST42 hasil pengelasan SMAW pada 3 (tiga) variasi media pendingin

Walaupun terjadi penurunan kekuatan tarik baja ST42 setelah PWHT, namun dapat dilihat bahwa elongation mengalami peningkatan setelah dilakukannya PWHT yang semula 4,5% menjadi rata-rata 23,8% setelah PWHT. Penurunan nilai kekuatan tarik yang dihasilkan pada penelitian ini sama dengan hasil yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya (J.O. Olalawale, 2012). Dengan meningkatnya elongation baja las ST42, maka dapat dikatakan bahwa sifat kegetasan baja las ST42 menurun seiring dengan dilakukannya PWHT pada berbagai media pendingin (seperti ditunjukkan pada gambar 4). Jika dibandingkan diantara ke 3 media pendingin, nilai kekuatan tarik tertinggi terdeteksi pada media pendingin air sebesar 358 Mpa dengan nilai elongation 22,75% yang diikuti oleh media pendingin udara (kekuatan tarik 357,5 dan elongation 23,75%) dan yang terendah pada media pendingin tungku (kekuatan tarik= 319 Mpa dan elongation=25%). Dari distribusi data yang ditunjukkan tersebut, dapat disimpulkan bahwa PWHT dengan media pendingin air dan udara dapat memberikan kombinasi kekuatan tarik dan elongation yang baik pada baja karbon ST42. Patah pada sampel sebelum dan sesudah PWHT (pada ke 3 media pendingin) terjadi di daerah logam induk (base metal), yang berarti dalam kasus ini, tegangan sisa yang terjadi pada proses pengelasan tidak dapat mempengaruhi hasil perlakuan dan variasi laju pendinginan memberikan efek yang cukup besar terhadap nilai kekuatan tarik baja ST42.

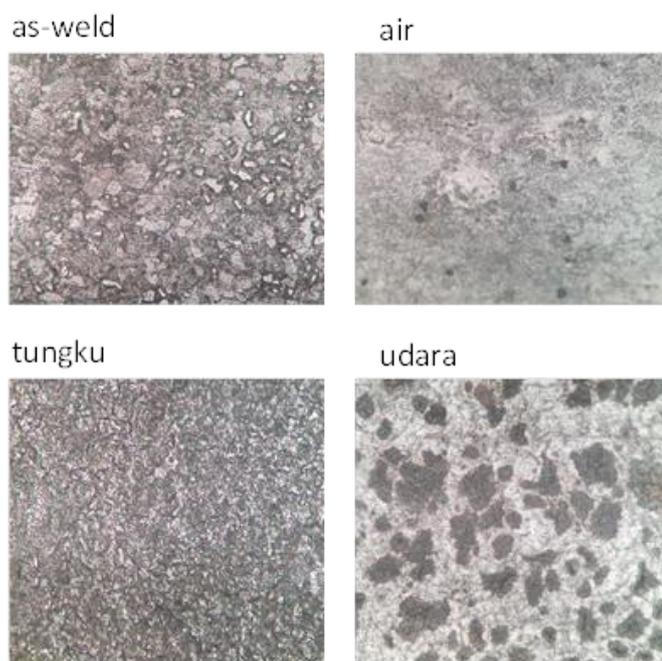
### **c. Analisis Struktur Mikro**

Gambar 6, 7 dan 8 memperlihatkan morfologi struktur mikro baja ST42 hasil pengelasan SMAW sebelum dan sesudah PWHT pada daerah base metal, weld metal dan HAZ. Struktur mikro yang dihasilkan oleh material hasil las setelah PWHT sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan yang dalam hal ini sangat ditentukan oleh media pendingin yang digunakan. Pada gambar 6 terlihat bahwa struktur mikro baja las ST42 sebelum dan sesudah PWHT terdiri atas fasa ferite (berwarna terang) dan fasa perlite (berwarna gelap) di daerah base metal. Ukuran butir terlihat membesar setelah PWHT, dimana hal ini merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan kekerasan setelah dilakukannya proses PWHT.



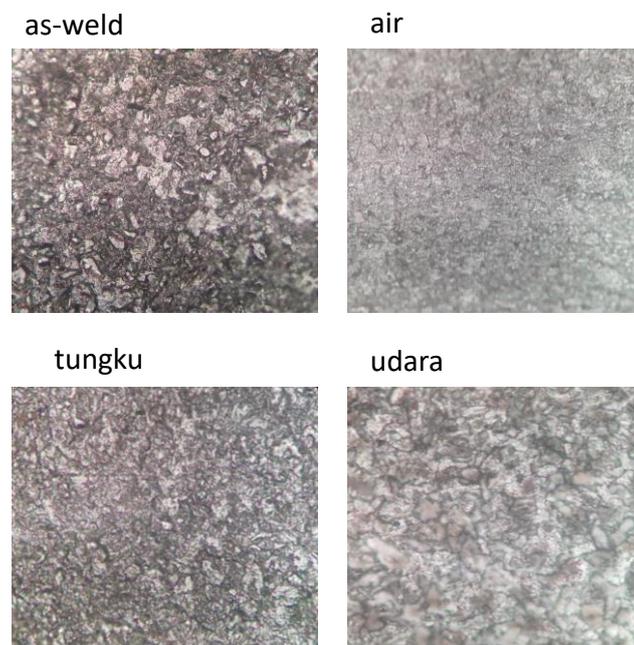
Gambar 6. Struktur mikro baja S45C sebelum dan sesudah PWHT di daerah base metal (pembesaran 50x)

Sementara itu, ukuran butir menjadi lebih halus pada daerah weld metal setelah PWHT diaplikasikan kepada baja las ST42. Ukuran butir yang halus menyebabkan kekerasan lebih tinggi setelah PWHT dibandingkan sebelum dilakukannya PWHT.



Gambar 7. Struktur mikro baja ST42 sebelum dan sesudah PWHT di daerah weld metal (pembesaran 50x)

Sementara itu, ukuran butir menjadi halus pada daerah weld metal di semua media pendingin, terutama pada media pendingin air dan udara, seperti ditunjukkan pada gambar 7. Halusnya ukuran butir menyebabkan nilai kekerasan meningkat pada daerah weld metal disemua media pendingin PWHT dibandingkan pada daerah base metal dan HAZ seperti yang sudah ditunjukkan pada gambar 4. Fasa yang terbentuk di daerah weld metal terdiri atas ferite dan bainit, dimana bainit bersifat lebih keras dibandingkan dengan perlit.



Gambar 8. Struktur mikro baja S45C sebelum dan sesudah PWHT di daerah HAZ (pembesaran 50x)

Pada daerah HAZ, seperti ditunjukkan pada gambar 8, ukuran butir sedikit lebih besar dibandingkan dengan ukuran butir pada daerah weld metal namun lebih halus daripada ukuran butir di daerah base metal. Ini membuktikan bahwa nilai kekerasan di daerah HAZ sedikit lebih rendah dibandingkan dengan daerah weld metal, tapi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan di daerah base metal.

#### 4. SIMPULAN

Penelitian dilakukan dengan mengaplikasikan PWHT pada baja karbon rendah ST42 pada tiga media pendingin. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai kekerasan dan kekuatan tarik baja ST42 hasil pengelasan SMAW menjadi turun setelah dilakukan proses PWHT, namun elongation meningkat setelah PWHT.
2. Diantara ketiga variasi media pendingin PWHT (air, udara dan tungku), nilai kekerasan dan kekuatan tertinggi dihasilkan pada baja las S45C dengan media pendingin air.
3. Struktur mikro baja las ST42 terdiri atas fasa ferite, perlite dan bainite. Ukuran butir baja tersebut menjadi lebih halus setelah PWHT dibandingkan dengan tanpa PWHT.

## 5. SARAN atau UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kemendikbudristek dan Lembaga Penelitian (LPPM) Universitas Negeri Manado yang telah membiayai kegiatan penelitian.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amanto, H. 1999. Ilmu Bahan. Bumi Aksara, Jakarta. Hal 83-87
- [2] F. Liu, Y.H. Hwang, S.W. Nam. 2006. The effect of post weld heat treatment on the creep fatigue behavior of gas tungsten arc welded 308L stainless steel. Mater. Sci. Eng. A 427 (1). Page 35–41.
- [3] Harseno Wiryosunarto dan Toshie Okumura. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Penerbit pradnya Paramita.
- [4] R.M. Gouveia, F.J.G. Silva, O.C. Paiva, M. De Fátima Andrade, L.A. Pereira, P.C. Moselli, K.J.M. Papis. 2018. Comparing the structure and mechanical properties of welds on ductile cast Iron (700 MPa) under different heat treatment conditions, Metals Based 8 (1). Page 72.
- [5] Surdia, T dan Shinroku, S. 1999. Pengetahuan Logam, Cetakan ke-6. Penerbit PT. Pradnya Paramita
- [6] Wiryosumarto. 2004. Teknologi Pengelasan. Penerbit PT. Pradnya Paramita
- [7] Y. Liu, A. Li, X. Cheng, S.Q. Zhang, H.M. Wang. 2016. Effects of heat treatment on microstructure and tensile properties of laser melting deposited AISI 431 martensitic stainless steel, Mater. Sci. Eng. A 666. Page 27–33.
- [8] Houkdcroft P.T, Flux Shielded Arc Welding Process, Cambridge University Press, 2005
- [9] Hendsen J.G, Metallurgical Dictionary, Rheinhold Publishers Corporations, New York, 2004.

- [10] Abdulkareem s. Aloraier, Suraj Joshi, John W. H. Price, khaled Alawadhi (2014) Hardness, Microstructure, and Residual Stresses in Low Carbon Steel Welding with Post-weld Heat Treatment and Temper Bead Welding, Metallurgical And Materials Transactions A, 10.1007/s11661-013-2170-4.