



## **Analisis Pengaruh *PWHT* Terhadap Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja S45C Pada Hasil Pengelasan *SMAW* Dengan Variasi Waktu Tahan Dan Media Pendingin**

**Aldifa Gita Maulana, Maula Nafi**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: [aldifagm99@gmail.com](mailto:aldifagm99@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Menggunakan energi panas supaya melelehkan bahan yang akan dilas, pengelasan adalah proses penyatuan dua potong logam hingga mengkristal kembali, baik dengan atau tanpa masuknya bahan lain. Sebagaimana diketahui, proses pengelasan selalu menyisakan tegangan sisa pada material akibat panas yang masuk. Residu disebabkan oleh tegangan sisa pada material. yang terbentuk pada bahan menjadi keras dan rapuh, sehingga diperlukan penerapan suatu teknik untuk menghilangkan tegangan tersebut. untuk memperbaiki struktur mikronya yaitu dengan cara *PWHT*. ujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji bagaimana perbedaan durasi penahanan *PWHT* dan media pendingin mempengaruhi struktur mikro las yang dihasilkan oleh las *SMAW*. material baja S45C dengan menggunakan variasi waktu tahan 20, 40 dan 60 menit dan media pendingin udara, oli, dan larutan garam terhadap sifat mekanik terutama pada ketangguhan dari baja S45C pada hasil pengelasan *SMAW*. Uji struktur mikro dan uji kekerasan Rockwell digunakan untuk melakukan pengujian. Tingkat kekerasan untuk setiap varian pengujian berubah sesuai dengan hasil pengujian kekerasan. Hasil uji kekerasan menunjukkan hal ini, dengan kekerasan rata-rata maksimum dicapai dengan mengubah durasi penahanan 60 menit dengan media pendingin termasuk larutan garam sebesar 123,77 HRB *Base Metal*, 123,27 HRB *HAZ* dan 101 HRB *Weld Metal* sedangkan nilai rata-rata kekerasan paling rendah di dapat pada waktu tahan 20 menit dengan media pendingin udara sebesar 99,1 HRB *Base Metal*, 99,03 HRB *HAZ* dan 84 HRB *Weld Metal*. Waktu penahanan yang lebih lama pada setiap variasi media pendingin sementara durasi penahanan yang lebih pendek cenderung meningkatkan fase ferit. akan cenderung meningkatkan fase perlit, sesuai pengamatan struktur mikro. Berbeda dengan proporsi fase perlit yang lebih besar, yang cenderung membuat spesimen rapuh, persentase fase ferit yang lebih besar cenderung membuat spesimen ulet.

**Kata kunci:** Baja S45C, *PWHT*, Sifat Kekerasan, *SMAW* dan Struktur Mikro

### **ABSTRACT**

*A procedure of uniting two is welding metal pieces to the point of metal recrystallization, using either filler material or not, and employing heat energy to melt the welded material. It is widely known that welding process always induces residual stresses in materials due to the applied heat, resulting in what is known as residual stress. The presence of residual stress in materials causes them to become hard and brittle, necessitating a method to eliminate the generated residual stress and to improve the*

microstructure, such as Post Weld Heat Treatment (PWHT). This study's goal is to examine how different PWHT holding periods and cooling medium affect the microstructure SMAW-welded S45C steel. Three different holding times (20, 40, and 60 minutes) and three cooling media (air, oil, and salt solution) were employed. The mechanical properties, particularly the toughness of the welded S45C steel, were evaluated. Utilizing the Rockwell test to determine hardness test and microstructure examination were conducted. The findings of the hardness test revealed variations in hardness values among the different test conditions. The highest average hardness values were obtained from the 60-minute holding time with salt solution as the cooling medium, measuring 123,77 HRB in the base metal, 123,27 HRB were 101 HRB in the weld metal and in the Heat Affected Zone (HAZ). Conversely, the lowest average hardness values were observed with a 20-minute holding time using air as the cooling medium, measuring 99,1 HRB in the base metal, 99,03 HRB in the HAZ, and 84 HRB in the weld metal. Furthermore, the microstructure analysis indicated that longer holding times with each cooling medium tended to increase the perlite phase, while shorter holding times tended to make ferrite phase more abundant. A greater proportion of perlite phase led to brittleness in the specimens, whereas a higher percentage of ferrite phase resulted in ductility.

**Keywords:** Hardness properties, Microstructure, PWHT, S45C steel, SMAW

## PENDAHULUAN

Pada saat ini teknik pengelasan sebagai metode seiring perkembangan zaman, konektivitas telah berkembang sangat cepat hingga saat ini ada 40 jenis metode baru pengelasan yang telah di pergunakan Wiryosumarto (2000). Teknik pengelasan ini umumnya digunakan dalam operasi penyambungan logam industri konstruksi maupun manufaktur. Menurut Sonawan (2006) Sambungan kontinyu dibuat dengan melelehkan Dengan atau tanpa tekanan, bahan pengisi dapat digunakan dalam proses pengelasan dengan berbagai logam dasar.

Saat ini, pengelasan busur adalah jenis pengelasan yang populer, dengan pengelasan busur tertutup SMAW menjadi salah satunya. Metode ini banyak di gunakan karena bisa dipakai dimana saja, proses pengelasannya sangat mudah, cocok digunakan dalam segala posisi pengelasan, peralatan yang digunakan sederhana dan tidak terlalu sensitif terhadap korosi. Elektroda digunakan sebagai logam pengisi pada teknik las SMAW yang menggunakan energi listrik sebagai sumber panasnya. (Setiawan, 2016).

Pada percobaan ini digunakan baja karbon sedang yang dikenal dengan nama S45C dengan konsentrasi persentase karbon sebesar 0,44%. Baja S45C tidak terlalu keras atau terlalu

lunak dan memberikan kekuatan dan keahlian yang luar biasa. Poros, roda gigi, dan bagian lainnya. termasuk bagian mesin yang dibuat dengan baja S45C. Akibat panas yang masuk ke bahan, pengelasan selalu menyisakan tegangan sisa pada bahan, sesuai dengan yang diketahui terutama pada baja karbon sedang yang memiliki *weldability* cukup. Untuk menghentikan tegangan sisa, tersedia dua teknik mekanis. dua khususnya, metode mekanik dan termal. maka dari itu penelitian ini menggunakan metode *hardening* sebagai perlakuan panasnya. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi kinerja dalam upaya pengurangan sisa tegangan pada PWHT adalah pembatasan tingkat, tingkat manasan, dan waktu tersingkir. Fungsi PWHT juga meningkatkan butir-butir kristal sebagai material selain mengurangi sisa tegangan.

Berdasarkan uraian di bagian bawah halaman, penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh variasi waktu tahan PWHT dan media pendingin terutama terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada baja S45C hasil pengelasan SMAW.

### **PWHT (Post Weld Heat Treatment)**

Menurut (Amanto, 1999) Dalam proses "pengerjaan panas", bahan dipanaskan hingga suhu tertentu dan cepat dingin. Pengerjaan panas dilakukan untuk memberikan kualitas material

yang lebih sempurna. Dalam kasus baja, besi tuang, atau keduanya, pengerjaan panas sangat penting.

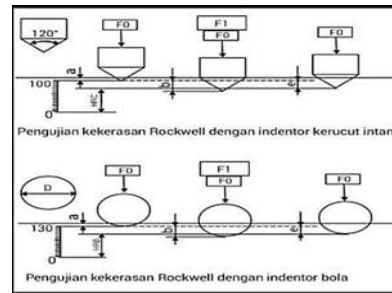
Dengan mengubah ukuran dan bentuk butiran dan, pada tingkat yang lebih rendah, elemen pelarut, perlakuan panas dapat mempengaruhi karakteristik baja. Memanaskan butiran ke suhu yang lebih tinggi dari suhu rekristalisasi dapat mengubah bentuk butiran. Temperatur, lamanya proses pemanasan, dan kecepatan baja mendingin setelah pemanasan semuanya dapat mempengaruhi ukuran butir. Dengan memanaskan baja pada suhu yang cukup tinggi untuk menyebabkan austenit menjadi padat dan unsur karbon menyebar, pelarut dapat diubah. Untuk mencapai struktur yang diperlukan, kemudian didinginkan pada kecepatan pendinginan yang tepat.

#### Baja S45C

Baja S45C adalah baja keras sedang yang tepat. Dengan persentase karbon sebesar 0,44%, baja S45C termasuk dalam kategori baja karbon sedang. Baja S45C menawarkan karakteristik kekuatan dan kemampuan kerja yang tinggi. Baja ini sering digunakan dalam pembuatan perkakas tangan, alat pertanian, dan barang lain yang membutuhkan tingkat daya tahan rendah.

#### Pengujian Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan ini dimaksudkan untuk memberikan jawaban seberapa keras logam tersebut, bukan keras atau tidaknya material tersebut. Standar satuan standar digunakan untuk menentukan tingkat kekerasan logam. Akibatnya, proses pengujian kekerasan kini diatur dan diakui oleh standar industri global sebagai unit standar. Dalam pendekatan Rockwell yang lebih cepat dan andal, mesin melakukan pengukuran langsung dan menampilkan angka kekerasan material yang diperiksa. Pengujian ini menggunakan kekerasan *rockwell* skala B (HRB) menggunakan beban indentor bola baja 1,59 mm (1/16"), Berat total yang digunakan adalah 100 kgf, dengan beban mula 10 kgf dan beban pokok 90 kgf.

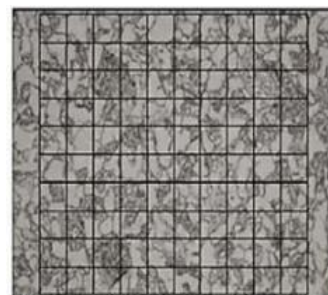


**Gambar 1.** Skema pengujian kekerasan *rockwell*.

#### Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan dilakukan dengan cara diperbesar dan memanfaatkan mikroskop khusus untuk melakukan pengamatan struktur mikro pada struktur bahan. Dengan memeriksa struktur mikro logam, kita dapat melihat bagaimana bentuk dan ukurannya, bagaimana logam tersebut berubah bentuk, bagaimana logam tersebut dipanaskan, dan bagaimana berbagai bahan berbeda dalam susunan kimiawinya.

Proporsi fase baja karbon yang mengandung ferit dan perlit dalam mikrofoto dapat ditentukan setelah data mikrofoto diperoleh. Fasa yang berwarna terang disebut fasa ferit pada hasil uji foto butiran mikro dan sedangkan fase perlit, yang merupakan fase berwarna gelap, dikenal lebih keras dan lebih ulet.. Proporsi fasa tertentu yang tersebar dalam struktur mikro dapat ditentukan dengan menggunakan teknik point count. Gambar struktur mikro dicentang dalam teknik ini hingga dihasilkan 100 titik, pada saat itu persentase fase yang dicari ditentukan dengan menggunakan rumus di bawah ini. (Imami, 2017).



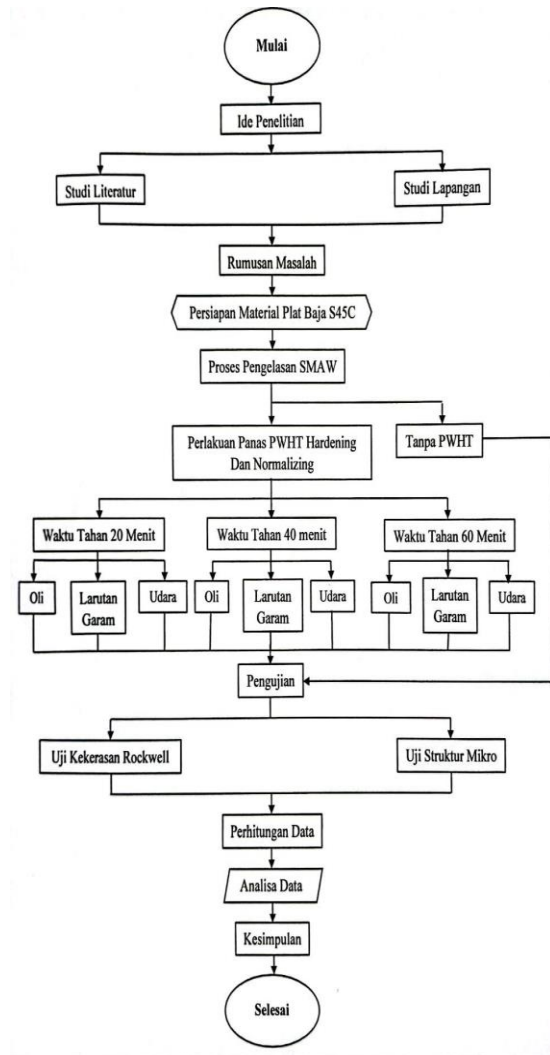
**Gambar 2.** Contoh penentuan titik dalam perhitungan persentase fasa.

$$\% \text{ Fasa Gelap} = \frac{\text{Jumlah Fasa Gelap}}{\text{Jumlah Total Titik}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Fasa Terang} = \frac{\text{Jumlah Fasa Terang}}{\text{Jumlah Total Titik}} \times 100\%$$

## PROSEDUR EKSPERIMEN

### Metode Penelitian



### Persiapan Alat Dan Bahan

Alat :

1. Alat las SMAW
2. Mesin gerinda tangan
3. Mesin frais
4. Busur derajat
5. *Microscope Optic*
6. *Rockwell*

Bahan :

1. Raw Material Baja S45C
2. Elektroda E7016
3. Penggosok
4. Autosol
5. Cairan HNO<sub>3</sub>

### Persiapan Material Plat S45C

Pelat baja S45C baja karbon sedang yang akan diiris menjadi dua bagian untuk penyelidikan ini memiliki ukuran, panjang 250 mm, lebar 125 mm, dan tebal 12 mm.

### Proses Pembuatan Kampuh Las

proses pembuatan kampuh. Dalam penelitian ini, lapisan tipe V digunakan dalam pengelasan. dengan sudut 60° jadi kedua sepesimen yang akan di sambung di beri bevel atau champer dengan masing-masing sudut 30° menggunakan mesin frais.



Gambar 3. Pembuatan kampuh las

### Proses Pengelasan

Arus yang digunakan 120 A, dan Tegangan 26 Volt menggunakan elektroda jenis E7016 dan posisi pengelasan 1G (mendatar di bawah atau flet)

### Proses Pembuatan Spesimen Uji

memproduksi spesimen uji kecil sebagai prosedur. dan kekerasan dengan dimensi ukuran spesimen panjang 125 mm, lebar 10 mm dengan ketebalan 12 mm.

### PWHT

Proses *post weld heat treatment* ini dikerjakan menggunakan pemanasan furnace / tungku. Spesimen uji dipanasi sampai dengan temperatur 830°C dengan variasi waktu tahan 20, 40, dan 60 menit. Selanjutnya material di dinginkan denganmemvariasikan larutan garam media pendingin, oli, dan udara.



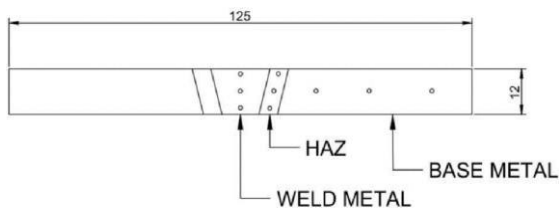
Gambar 4. Proses PWHT



Gambar 6. Proses pengujian struktur mikro

### Pengujian Kekerasan

Laboratorium pengujian bahan teknik mesin Universitas Negeri Surabaya adalah tempat pengujian ini dilakukan. menggunakan kekerasan *Rockwell* skala B (HRB) menggunakan beban indentor bola baja 1.59 mm (1/16”), berat total yang digunakan adalah 100 kgf , dengan beban awal 10 kgf dan beban utama 90 kgf . Monitor mesin uji kekerasan *Rockwell* , lihat permukaan bekas indentor tekanan dan periksa berapa nilai kekerasannya .. untuk mengetahui daerah *HAZ*, *Weld Metal* dan *Base Metal* kemudian dilakukan penandaan sebanyak 9 titik pengujian kekerasan dengan masing-masing 3 titik di setiap daerah pengamatan



Gambar 5. Titik pengujian kekerasan *Rockwell*

### Pengujian Struktur Mikro

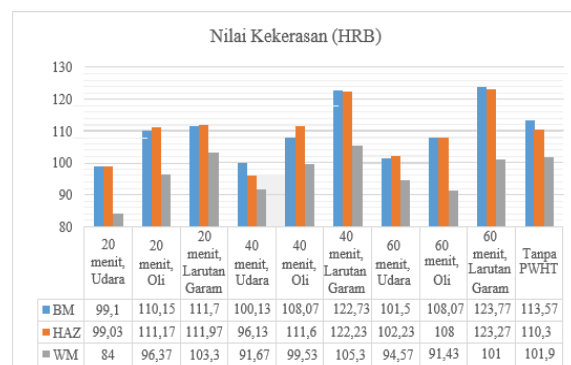
Pengujian dilakukan di Pranata Laboratium Pendidikan Politeknik Negeri Malang. Material diamati dengan menggunakan mikroskop perbesaran 1500x di area *weld metal*, *HAZ*, dan *Base metal*, lalu selanjutnya di foto.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Kekerasan *Rockwell*

Tabel 1. Data hasil perhitungan nilai rata-rata nilai kekerasan

No.	Variasi Pengujian	Daerah Pengamatan	Nilai Kekerasan (HRB)
1.	Udara dengan waktu tahan 20 menit	Base Metal	99,1
		HAZ	99,03
		Weld Metal	84
2.	Udara dengan waktu tahan 40 menit	Base Metal	100,13
		HAZ	96,13
		Weld Metal	91,67
3.	Udara dengan waktu tahan 60 menit	Base Metal	101,5
		HAZ	102,23
		Weld Metal	94,57
<hr/>			
4.	Oli dengan waktu tahan 20 menit	Base Metal	110,15
		HAZ	111,17
		Weld Metal	96,37
5.	Oli dengan waktu tahan 40 menit	Base Metal	108,07
		HAZ	111,6
		Weld Metal	99,53
6.	Oli dengan waktu tahan 60 menit	Base Metal	108,07
		HAZ	108
		Weld Metal	91,43
<hr/>			
7.	Larutan garam dengan waktu tahan 20 menit	Base Metal	111,7
		HAZ	111,97
		Weld Metal	103,3
8.	Larutan garam dengan waktu tahan 40 menit	Base Metal	122,73
		HAZ	122,23
		Weld Metal	105,3
9.	Larutan garam dengan waktu tahan 60 menit	Base Metal	123,77
		HAZ	123,27
		Weld Metal	101
<hr/>			
10	Tanpa PWHT	Base Metal	113,57
		HAZ	110,3
		Weld Metal	101,9



Gambar 7. Diagram nilai kekerasan pengaruh PWHT waktu tahan dan media pendingin

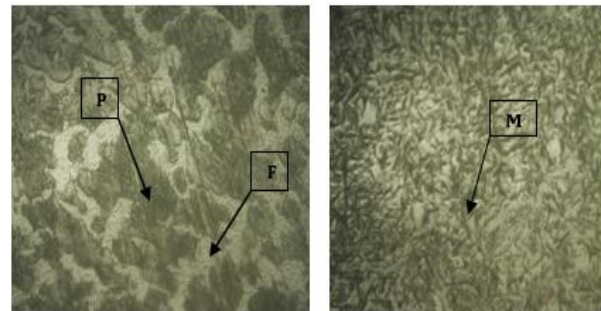


Nilai terendah rata-rata kekerasan terendah rata-rata ketiga daerah pengamatan ( Base Metal, HAZ, dan Weld Metal ) adalah 99,1 HRB untuk Base Metal , 99,03 HRB untuk HAZ , dan 84 HRB untuk Weld Metal, dengan variasi holding period 20 menit dengan udara . media pendingin .nilai kekerasan ketiga daerah pengamatan ( Base Metal, HAZ, dan Weld Metal ) adalah 99,1 HRB untuk Base Metal , 99,03 HRB untuk HAZ , dan 84 HRB untuk Weld Metal , dengan variasi holding period 20 menit dengan media pendingin udara , sedangkan untuk nilai kekerasan rata -rata tertinggi rata-rata tertinggi dari ketiga daerah pengamatanyaitu dengan waktu penahanan spesimen 60 menit dengan media kekerasanlarutan garam dari ketiga daerah pengamatan tersebut memiliki nilai kekerasan ketiga area pengamatan yaitu dengan waktu penahanan spesimen 60 menit dengan media pendingin larutan garam dari ketiga area pengamatan memiliki kekerasan rata - rata nilai 123,77 HRB untuk Logam Dasar , 123,27 HRB nilai untuk rata - rata 123,77 HRB untuk Base Metal , 123,27 HRB untuk HAZ , dan 101 HRB untuk Weld Metal , dapat disimpulkan pengaruh HAZ, dan 101Las dapat disimpulkan bahwa efek bervariasi.

Contohnya tertera pada gambar 4.1 grafik hasil perhitungan rata-rata nilai kekerasan di daerah *Base Metal*, *HAZ* dan *Weld Metal*. media pendingin udara menunjukkan bahwa durasi penahanan PWHT berkurang 20 menit , nilai kekerasan rata - rata turun . media pendingin oli menunjukkan nilai kekerasan rata-rata meningkat pada waktu penahanan 20 dan 40 menit , namun kembali menurun pada waktu penahanan 60 menit .waktu penahanan. Sedangkan dengan media pendingin larutan garam mengalami kenaikan pada waktu tahan 20, 40 dan 60 menit. Hal ini disebabkan fakta bahwa membiarkan masa penahanan yang terlalu lama dapat berdampak pada pertumbuhan nilai kekerasan.. Dapat dilihat bahwa pengaruh dari pemberian waktu tahan *PWHT* dan media pendingin sangat memengaruhi sifat kekerasan di semua daerah pengamatan (*Base Metal*, *HAZ* & *Weld Metal*).

**Hasil Uji Struktur Mikro**

Struktur baja S45C, sebagaimana ditentukan oleh pengujian struktur mikro terdiri dari struktur perlit ). (ditunjukkan dalam warna gelap) dan struktur ferit (terlihat dalam rona terang) dan martensit ditunjukkan seperti jarum tampak lebih kasar dan lebih gelap. Berikut merupakan hasil foto uji struktur mikro dengan perbesaran 1500x yang telah di dapat setelah melakukan pengujian metalografi di laboratorium material Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.



**Gambar 8.** Struktur mikro pada spesimen

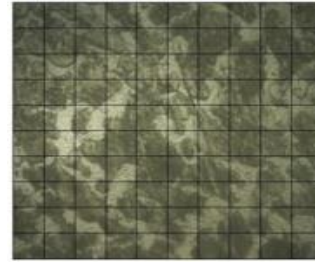
Keterangan : P = Perlit  
 : F = Ferit  
 : M = Martensit

Variasi Pengujian	Base Metal		
	Udara	Oli	Larutan Garam
Waktu Tahan 20 Menit			
Waktu Tahan 40 Menit			
Waktu Tahan 60 Menit			
Tanpa PWHT			

**Gambar 9.** Hasil uji struktur mikro daerah *Base Metal*

Variasi Pengujian	HAZ		
	Udara	Oli	Larutan Garam
Waktu Tahan 20 Menit			
Waktu Tahan 40 Menit			
Waktu Tahan 60 Menit			
Tanpa PWHT			

Gambar 10. Hasil uji struktur mikro daerah HAZ



$$\% \text{ Fasa perlit} = \frac{\text{Jumlah fasa perlit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\% = \frac{(56 \times 1) + (31 \times \frac{1}{2})}{100} \times 100\% = 71,5\%$$

$$\% \text{ Fasa ferit} = \frac{\text{Jumlah fasa ferit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\% = \frac{(13 \times 1) + (31 \times \frac{1}{2})}{100} \times 100\% = 28,5\%$$

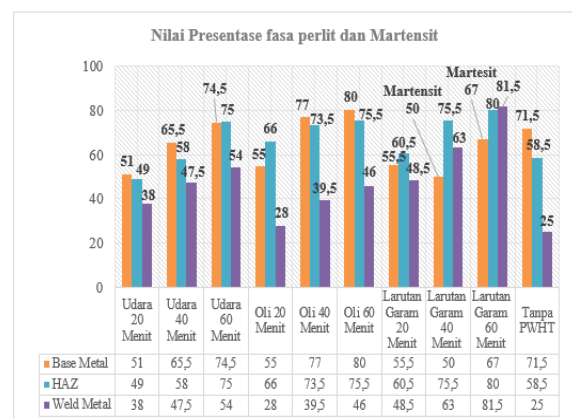
Variasi Pengujian	Weld Metal		
	Udara	Oli	Larutan Garam
Waktu Tahan 20 Menit			
Waktu Tahan 40 Menit			
Waktu Tahan 60 Menit			
Tanpa PWHT			

Gambar 11. Hasil uji struktur mikro daerah Weld Metal

Tabel 2. Hasil perhitungan persentase fasa pada tiap daerah pengamatan

No.	Variasi Perlakuan PWHT	Daerah Pengamatan	Titik Pengamatan Fasa					Jumlah Titik	Presentase Fasa Perlit (%)	Presentase Fasa Ferit (%)	Presentase Fasa Martensit (%)
			1/2 Perlit & Ferit	1/2 Martensit & Ferit	Perlit	Ferit	Martensit				
1.	Media Pendingin Udara Dengan Waktu Tahan 20 menit	Base Metal	48	0	27	25	0	100	51	49	0
		HAZ	64	0	17	19	0	100	49	51	0
		Weld Metal	46	0	15	39	0	100	38	62	0
2.	Media Pendingin Oli Dengan Waktu Tahan 20 menit	Base Metal	42	0	34	24	0	100	55	45	0
		HAZ	50	0	41	9	0	100	66	34	0
		Weld Metal	38	0	9	53	0	100	28	72	0
3.	Media Pendingin Larutan Garam Dengan Waktu Tahan 20 menit	Base Metal	61	0	25	14	0	100	55,5	44,5	0
		HAZ	57	0	32	11	0	100	60,5	39,5	0
		Weld Metal	61	0	18	21	0	100	48,5	51,5	0
4.	Media Pendingin Udara Dengan Waktu Tahan 40 menit	Base Metal	41	0	45	14	0	100	65,5	34,5	0
		HAZ	62	0	27	11	0	100	58	42	0
		Weld Metal	49	0	23	28	0	100	47,5	52,5	0
5.	Media Pendingin Oli Dengan Waktu Tahan 40 menit	Base Metal	26	0	64	10	0	100	77	23	0
		HAZ	33	0	57	10	0	100	73,5	26,5	0
		Weld Metal	45	0	17	38	0	100	39,5	60,5	0
6.	Media Pendingin Larutan Garam Dengan Waktu Tahan 40 menit	Base Metal	0	64	0	18	18	100	0	50	50
		HAZ	35	0	58	7	0	100	75,5	24,5	0
		Weld Metal	58	0	34	8	0	100	63	37	0
7.	Media Pendingin Udara Dengan Waktu Tahan 60 menit	Base Metal	25	0	62	13	0	100	74,5	25,5	0
		HAZ	30	0	60	10	0	100	75	25	0
		Weld Metal	48	0	30	22	0	100	54	46	0
8.	Media Pendingin Oli Dengan Waktu Tahan 60 menit	Base Metal	32	0	64	4	0	100	80	20	0
		HAZ	33	0	59	6	0	100	75,5	24,5	0
		Weld Metal	52	0	20	28	0	100	46	54	0
9.	Media Pendingin Larutan Garam Dengan Waktu Tahan 60 menit	Base Metal	0	38	0	14	48	100	0	33	67
		HAZ	32	0	64	4	0	100	80	20	0
		Weld Metal	25	0	69	6	0	100	81,5	18,5	0
10.	Tanpa PWHT	Base Metal	31	0	56	13	0	100	71,5	28,5	0
		HAZ	59	0	29	12	0	100	58,5	41,5	0
		Weld Metal	36	0	7	57	0	100	25	75	0

Setelah di dapat hasil foto strutur mikro selanjutnya akan dihitung persentase di area pengamatan Logam Dasar, HAZ, dan Logam Las. Perhitungan persentase fasa ini menggunakan metode *Point Count* Tio Grafien (2017). Berikut merupakan contoh perhitungan persentase fasa pada spesimen tanpa perlakuan panas.

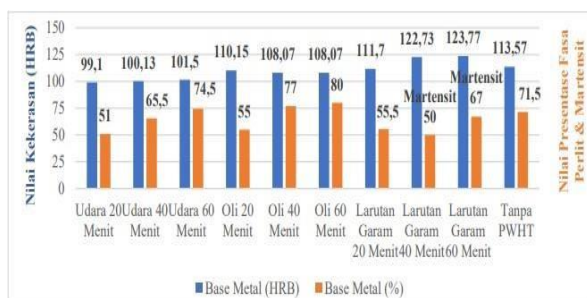


Gambar 12. Diagram pengaruh variasi waktu tahan PWHT dengan media pendingin

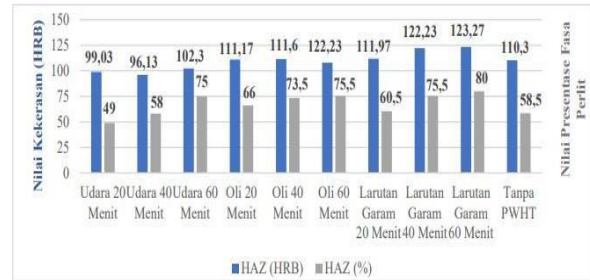
Variasi waktu penahanan 60 menit dengan media pendingin brine menunjukkan nilai persentase perlit dan martensit tertinggi dari ketiga daerah pengamatan (Logam Dasar, HAZ, dan Logam Las), memiliki nilai persentase perlit terendah di antara ketiga daerah pengamatan, dan nilai persentase 67% untuk Logam Dasar, 80% untuk Logam Dasar HAZ, dan 81,5% untuk Logam Las, khususnya dengan variasi.

Dari ketiga Grafik di atas menunjukkan bagaimana penyesuaian holding period PWHT dan media pendingin berdampak pada peningkatan % fasa perlit di semua lokasi pengamatan seperti yang terlihat dari ketiga grafik di atas. yang di beri media pendingin larutan garam memperlihatkan pertumbuhan persentase fasa dominan perlit dan martensit seiring dengan bertambah besarnya waktu tahan PWHT. Sedangkan pada media pendingin udara memperlihatkan pertumbuhan fasa perlit paling terendah. Akan tetapi pertumbuhan persentase fasa perlit kembali bertambah pada media pendingin oli. Hal ini disebabkan fakta bahwa membiarkan waktu penahanan yang terlalu lama dapat berdampak buruk pada perkembangan butir dan kekerasan semakin meningkat.

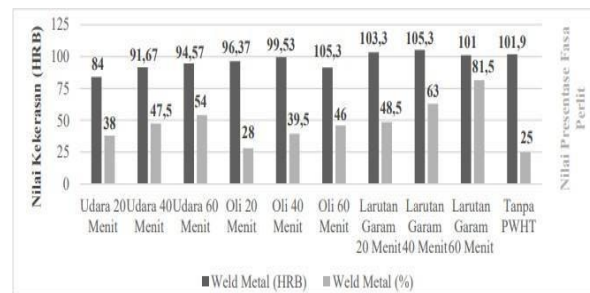
**Hubungan Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dan Media Pendingin Terhadap Hasil Pengujian Kekeerasan dan Struktur Mikro**



**Gambar 13.** Hubungan Pengaruh Variasi Waktu Tahan PWHT Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan & Struktur Mikro (*Base Metal*)



**Gambar 14.** Hubungan pengaruh variasi waktu tahan PWHT dan media pendingin terhadap kekerasan & struktur mikro (*HAZ*)



**Gambar 15.** Hubungan pengaruh variasi waktu tahan PWHT dan media pendingin terhadap kekerasan & struktur mikro (*Weld Metal*)

Prosedur PWHT dengan Waktu penahanan dan berbagai metode pendinginan berdampak pada karakteristik nilai kekerasan. dan proporsi fasa perlit dan martensit pada hasil las SMAW baja S45C. Antara spesimen dengan dan tanpa PWHT terjadi perubahan nilai kekerasan dan proporsi fasa perlit, dengan Nilai % fasa lebih besar pada spesimen yang kekurangan PWHT, sedangkan spesimen dengan variasi waktu tahan PWHT dan medium untuk pendinginan udara ini memiliki kandungan perlit yang rendah dan nilai kekerasan yang rendah. menyebabkan kualitas kekerasan material baja S45C menurun. Sedangkan semakin besar persentase perlit dan martensit maka nilai kekerasan rata-rata bahan semakin tinggi, bahan tersebut cenderung memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Karena pengaruh fluktuasi temporal, Ketiga grafik tersebut menunjukkan proporsionalitas langsung antara struktur mikro dan nilai kekerasan tahan PWHT dan media pendingin. Di mana pada kedua grafik di atas menunjukkan makin tinggi Semakin besar proporsi fasa perlit yang terbentuk, rata-rata nilai kekerasan yang dicapai lebih besar. Kedua grafik



di atas juga menunjukkan bahwa pertumbuhan fasa perlit dan nilai kekerasan rata-rata meningkat dengan bertambahnya waktu penahanan dimana makin besar persentase perlit maka makin tinggi nilai kekerasan material.

Dari hasil ketiga grafik di atas bertujuan untuk mencari variasi PWHT yang paling baik diantara variasi spesimen lainnya yaitu variasi waktu penahanan 60 menit dengan media pendingin larutan garam, karena memiliki persentase fasa perlit dan martensit yang tinggi serta mendapatkan nilai kekerasan medium. Kedua grafik di atas juga menunjukkan bahwa perluasan fase perlit dan nilai kekerasan rata-rata meningkat dengan waktu penahanan, dengan proporsi perlit meningkatkan nilai kekerasan material.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan berikut dapat ditarik dari temuan studi pengelasan material baja S45C dengan metode PWHT dengan memanfaatkan waktu penahanan dan media pendinginan yang berbeda:

1. Karakteristik mekanik baja las S45C dipengaruhi oleh proses PWHT, perubahan holding time, dan media pendingin.. Dari pengujian kekerasan terdapat perbedaan nilai kekerasan di setiap variasi pengujian. Hal ini ditunjukkan hasil pengujian kekerasan di mana Kekerasan rata-rata terbesar dicapai melalui variasi temporal tahan 60 menit dengan media pendingin larutan garam sebesar 123,77 HRB *Base Metal*, 123,27 HRB *HAZ* dan 101 HRB *Weld Metal* sekaligus memperoleh nilai kekerasan rata-rata terendah. waktu tahan 20 menit dengan media pendingin udara sebesar 99,1 HRB *Base Metal*, 99,03 HRB *HAZ* dan 84 HRB *Weld Metal*. Spesimen dengan PWHT dengan media pendingin larutan garam memiliki harga nilai kekerasan lebih tinggi dari spesimen tanpa PWHT. Sedangkan dengan media udara dan oli sifat kekerasannya

menurun. Di mana semakin tinggi waktu tahan nilai kekerasan menunjukkan spesimen tersebut bersifat keras.

2. Proses PWHT variasi waktu tahan dan media pendingin berpengaruh terhadap struktur mikro Lasan terbuat dari baja S45C. Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur, semakin lama waktu penahanan pada setiap variasi media pendingin, semakin besar fase perlitnya, dan semakin pendek waktu penahanannya maka semakin besar pula fase feritnya. Sementara proporsi fase perlit yang lebih tinggi menyebabkan spesimen menjadi rapuh, persentase fase ferit yang lebih tinggi menyebabkan spesimen menjadi ulet.

### Saran

1. Perlu dilakukan uji arikimpact atau uji impact untuk menganalisa pengaruh lain terhadap sifat mekanik.
2. Untuk memeriksa kesalahan las harus dilakukan uji NDT (Non Destructive Test).

## REFERENSI

- Achmad, R., & Taufiqis S, M. R. (2022). *Kaji an Experiment of a Mixture of Ti 6% Influences with Variations in Kompaktion and Sinter Temperatures in the Alloy of Al-Ti Against the Density and Violence by the Metallurgy Method of Powder* (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Amanto, H. &. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara,.
- Callister William. Jr. (2004). *Materials Science And Engineering*. Utah: The University of Utah.
- Effendi, N. (2019). Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja S45c Pada Pengelasan Smaw Dengan Variasi Media Quench. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan*, 12(1), 30-37.

- Hadi, I. S. (2018). *Teknologi Bahan Lanjut*. Penerbit Andi.
- Harsono, W., & Okumura, T. (2008). *Teknologi Pengelasan Logam. Cetakan ke sepuluh Jakarta, PT Balai Pustaka (Persero)*.
- MIGAS, P. (2016). *Pelatihan Juru Las . Cepu*.
- MPD<sup>1</sup>, M. H. S., & Setiawan, F. (2016). *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Dan Kuat Arus Dengan Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik*.
- Nasra, K. A., & Kewas, J. C. (2020). *Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon ST42 dengan Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*. ACTUATOR: Jurnal Teknik Mesin, 1(1)
- Robbina, M. A. (2012). *Perbandingan Nilai Kekerasan Struktur Mikro Akibat Variasi Katalis Pada Proses Carburizing Baja S45C*.
- ROCKWELL, U. K. V. D. LAPORAN PRAKTIKUM MATERIAL TEKNIK.
- Sonawan, H., & Suratman, R. (2003). *Pengelasan Logam. Bandung: Alfabeta*.
- Sunaryo, H. (2008). *Teknik Pengelasan Kapal*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Tio Gefien, I. (2017). *Analisis Struktur Mikro Baja Tulangan Karbon. Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik ITB*.