



## **Analisa Pengaruh *PWHT* Pada Baja ST41 Pada Proses Laku Panas dengan Variasi Temperatur Pemanasan dan *Holding Time* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro**

**Moch. Ridho Nur Iksan dan Bani Sofwansyah, Edi Santoso**

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

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

email: [mochridho56@gmail.com](mailto:mochridho56@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Pengelasan banyak dipakai dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi bangunan, kendaraan, mesin dan pekerjaan teknik lainnya. Disamping kegunaannya yang sangat luas proses pengelasan juga menimbulkan pengaruh pada material, yaitu munculnya tegangan sisa akibat efek panas dan laju pendinginan yang tidak merata. Tegangan sisa dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu material. Salah satu cara untuk membebaskan tegangan sisa adalah dengan cara *Post Weld Heat Treatment*.

Dalam penelitian ini menggunakan las SMAW dengan posisi pengelasan 1G. *PWHT* menggunakan metode *normalizing* dengan variasi temperatur yang digunakan adalah 900°C, 925°C, 950°C dan waktu tahan 10,20,30 menit. Pengujian yang dilakukan menggunakan uji impact charpy, uji kekerasan rockwell C dan uji struktur mikro.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, variasi temperatur dan *holding time PWHT* dapat mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro baja ST 41. Hasil uji impact menunjukkan sampel *PWHT* temperatur 925°C *holding time* 10 menit memiliki harga impact tertinggi dari beberapa sampel variasi pengujian lainnya, yaitu sebesar 3,53 j/mm<sup>2</sup> lebih tangguh dan ulet dari sampel tanpa *PWHT* 2,19 j/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada uji kekerasan memiliki nilai sebaliknya, sampel tanpa *PWHT* memiliki nilai kekerasan tertinggi dari beberapa sampel variasi pengujian lainnya, yaitu sebesar 53,17 HRC sehingga sifatnya keras namun getas. Pada uji struktur mikromenunjukkan bahwa semakin lama waktu tahan disetiap variasi temperatur akan cenderung menaikkan persentase fasa perlit, sedangkan dengan waktu tahan lebih pendek akan cenderung menaikkan persentase fasa ferit. Dimana semakin tinggi persentase fasa perlit, material akan bersifat keras namun getas sedangkan semakin tinggi persentase fasa ferit material akan bersifat tangguh dan ulet.

**Kata kunci:** Baja ST41, Impact Charpy, Las SMAW, Normalizing, *PWHT*, Rockwell Skala C, Struktur Mikro.

### **ABSTRACT**

*Welding is widely used in the implementation of building construction work, vehicles, machinery and other engineering work. Besides its very wide use, the welding process also has an effect on the material, namely the emergence of residual stress due to the effects of*

heat and uneven cooling rates. Residual stress can affect the mechanical properties of a material. One way to free the residual stress is by means of Post Weld Heat Treatment.

In this study using SMAW welding with a welding position of 1G. PWHT using normalizing method with temperature variations used are 900°C, 925°C, 950°C and holding time 10,20,30 minutes. The tests were carried out using the Charpy impact test, the Rockwell C hardness test and the microstructure test.

From the results of research that has been carried out, variations in temperature and holding time of PWHT can affect the mechanical properties and microstructure of ST 41 steel. The impact test results show that the PWHT sample at 925°C holding time 10 minutes has the highest impact value from several samples of other test variations, which is 3.53 J/mm<sup>2</sup> which is tougher and more ductile than the sample without PWHT 2.19 J/mm<sup>2</sup>. While the hardness test has the opposite value, the sample without PWHT has the highest hardness value from several samples of other test variations, which is 53.17 HRC so that it is hard but brittle. The microstructure test shows that the longer holding time at each temperature variation will tend to increase the percentage of pearlite phase, while with a shorter holding time will tend to increase the percentage of ferrite phase. Where the higher the percentage of the pearlite phase, the material will be hard but brittle, while the higher the percentage of the ferrite phase the material will be tough and ductile.

**Keywords:** ST 41 Steel, Impact Charpy, SMAW Welding, Normalizing, PWHT, Rockwell C, Microstructure.

## PENDAHULUAN

Mengutip dari DIN (Deutsche Industrie Normen) las merupakan gabungan metalurgi yang terdapat pada sambungan logam saat keadaan leleh ataupun cair. Dari pengertian diatas dapat ditarik kesimpulan bahwasannya las merupakan gabungan setempat dari sejumlah logam memanfaatkan energi panas (Harsono Wiryosumarto, 2000:1). Bahan yang umum digunakan sebagai konstruksi las biasanya terbuat dari bahan baja karbon rendah. Hal ini dilatarbelakangi karena baja karbon memiliki harga yang relatif terjangkau serta mudah didapatkan di pasaran. Selain itu, alasan pemakaian material baja karbon rendah sebagai konstruksi las karena baja karbon rendah mempunyai sifat mampu las yang baik. Baja karbon rendah memiliki unsur kimia diantaranya ialah kadar C kurang dari 0,30%, kadar Si <0,01 dan kadar Mn ± 0,25-0,45 (Harsono Wiryosumarto, 2000:90). Baja ST 41 termasuk ke dalam jenis baja karbon rendah. Baja ST 41 umumnya dimanfaatkan pada pembuatan konstruksi jembatan, handle rem sepeda motor, pipa saluran, dan body mobil dll.

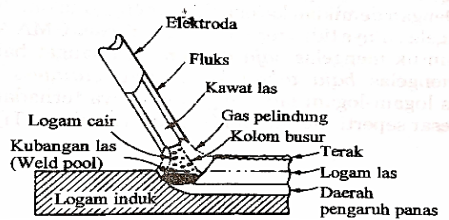
Dalam praktek pengelasan, umumnya meninggalkan tegangan sisa. Tegangan sisa terjadi di daerah hasil lasan karena adanya deformasi plastis akibat perlakuan panas dan laju pendinginan yang tidak merata dalam bahan. Hal tersebut dapat berakibat pada perubahan sifat mekanik material contohnya kekuatan, ketangguhan, keuletan, dan kekerasan. Selain itu, tegangan sisa yang terjadi setelah pengelasan juga menimbulkan retak las. Akibat dari adanya retak las ini, apabila diberi beban maka akan dapat membahayakan bagi konstruksi pengelasan. Salah satu cara yang digunakan untuk membebaskan tegangan sisa adalah dengan cara PWHT. Selain itu, PWHT juga berfungsi untuk menaikkan ketangguhan pada sambungan las serta memperbaiki butir-butir kristal material.

Berdasarkan uraian diatas, penulis melakukan penelitian mengenai pengaruh PWHT menggunakan variasi temperatur pemanasan dan waktu tahan (*holding time*) pada sifat mekanik dan *microstructure* baja ST 41 pasca pengelasan SMAW. Pada penelitian ini, penulis melakukan pengujian berupa uji impact, uji kekerasan dan uji *microstructure*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Pengelasan SMAW

SMAW merupakan proses las dengan menggunakan busur listrik. Dalam prosesnya, busur listrik yang mengalami pemanasan dapat memberikan pengaruh berupa mencairnya *base metal*. Elektroda memiliki nama lain kawat las, yaitu sebuah kawat yang terbungkus oleh pelindung (fluks). Selama berlangsungnya proses pengelasan, *base metal* dan elektroda akan mengalami pencairan secara bersamaan. Pencairan tersebut memberikan dampak berupa terisinya kumpuh las oleh logam cair akibat logam induk dan elektroda yang bersama-sama mengalami pencairan.



Gambar 1. Skema Las SMAW

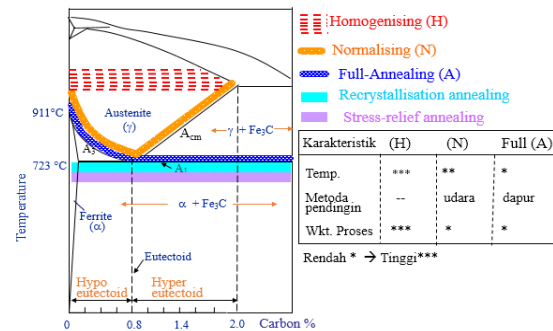
### Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Post Weld Heat Treatment dapat diartikan sebagai rangkaian proses pemanasan dan pendinginan pasca las yang digunakan untuk mendapatkan sifat tertentu pada material. Pada umumnya, tujuan dari proses PWHT sendiri untuk membebaskan tegangan sisa (*stress relieving*). Pembebasan tegangan sisa dilakukan guna meminimalisir adanya distorsi saat proses permesinan, mengurangi resiko getas (*Brittle Fracture*) maupun resiko korosi tegangan (*stress corrosion cracking*). PWHT mempunyai tiga dasar yaitu :

- 1) *Heating* ialah proses pemanasan yang mana titik panas mencapai atas maupun bawah temperatur kritis.
- 2) *Holding* ialah proses menahan material dengan temperatur pemanasan yang telah ditentukan guna memperoleh perubahan pada struktur mikro.
- 3) *Cooling* ialah proses pendinginan yang diinginkan.

### Normalizing

Normalizing merupakan proses laku panas yang menggunakan udara sebagai media pendinginannya dengan tujuan menghasilkan perlit halus. Material hasil dari perlakuan normalizing memiliki sifat yang lebih kuat dan keras dari hasil perlakuan anil. Proses pemanasan dilakukan hingga mencapai diatas temperatur kritis. Pada baja hypoeutectoid dipanaskan pada temperatur  $50^{\circ}$  melebihi garis A3, sedangkan untuk baja hypereutectoid dipanaskan pada temperatur  $50^{\circ}$  diatas garis acm. Proses *normalizing* umumnya memiliki tujuan yaitu meningkatkan kemampuan material agar mudah di *machining* (mampu mesin), penguatan batas butir (*grainstructure refinement*) dan menyeragamkan struktur mikro



Gambar 2. Diagram Temperatur Normalizing

### Baja ST 41

Salah satu contoh material *low carbon steel* yaitu baja ST 41. Hal tersebut dikarenakan kandungan karbonnya sekitar 0,08%-0,20%. Baja ST 41 umumnya dimanfaatkan pada pembuatan kontruksi jembatan, handle rem sepeda motor, pipa saluran, body mobil dll. *Mechanical properties* dari baja ST 41 yaitu bersifat lunak cenderung ulet, memiliki kekuatan yang rendah namun memiliki ketangguhan yang cukup baik.

### Pengujian Impact Charpy

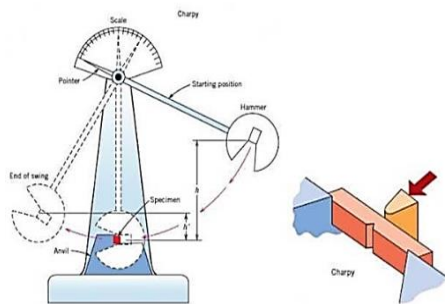
Prinsip utama dari uji impact adalah menggunakan *rapid loading* atau pembebanan yang cepat. Proses penyerapan energi pada uji impact terjadi ketika pendulum (beban) menumbuk spesimen uji.

Pendulum mengandung nilai energi potensial maksimum saat dinaikkan pada ketinggian tertentu. Namun, pendulum akan memiliki nilai energi kinetik maksimum saat pendulum mulai menumbuk spesimen uji. Sehingga spesimen uji akan menyerap energi kinetik maksimum hingga spesimen uji patah.

Rumus uji impact :

$$HI = \frac{E}{A} \quad \text{Joule/mm}^2$$

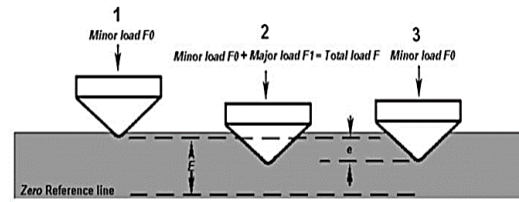
$$E = W \cdot \ell (\cos \alpha^2 - \cos \alpha^1) \quad \text{Joule}$$



Gambar 3. Sketsa Uji Impact Charpy

#### Uji Kekerasan Rockwell C

Contoh pengujian kekerasan yang umum digunakan adalah *Rockwell Hardness Test* atau Uji Kekerasan Rockwell. Hal tersebut karena proses pengujiannya cukup sederhana dan relatif tidak merusak spesimen uji. Selain itu, untuk mengamati jejak penekanan *Rockwell Hardness Test* tidak memerlukan mikroskop. Prosedur pengujiannya yaitu dengan cara menekan sebuah indenter pada permukaan spesimen uji sebanyak dua kali. Beban minor sebagai penekanan pertama sebesar 10 kgf. Selanjutnya beban mayor atau beban utama sebagai penekanan ke dua sebesar 140 kgf. Nilai kekerasan rockwell (HRC) diperoleh dari selisih jejak penekanan dari beban mayor dan beban minor.

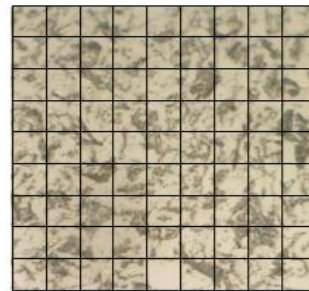


Gambar 4. Skema Uji Kekerasan Rockwell C

#### Uji Struktur Mikro (*Microstructure*)

Informasi mengenai distribusi fasa dan ukuran butir pada suatu material dapat diperoleh melalui uji *Microstructure*. Hasil dari uji struktur mikro dapat dijadikan acuan untuk menentukan sifat suatu material. Prinsip dasar uji struktur mikro diantaranya : cutting (pemotongan), mounting, grinding (pengamplasan), polishing, etching (esta), pengamatan struktur mikro.

Hasil foto mikro yang telah diamati, selanjutnya dilakukan perhitungan persentase fasa. Metode point count merupakan jenis cara yang dipakai untuk menghitung persentase fasa. Metode tersebut dilakukan dengan membuat garis kotak kotak berjumlah 100 titik pada foto struktur mikro. Persentase fasa dapat dihitung dengan rumus dibawah ini. (Tio Gefien, 2017).

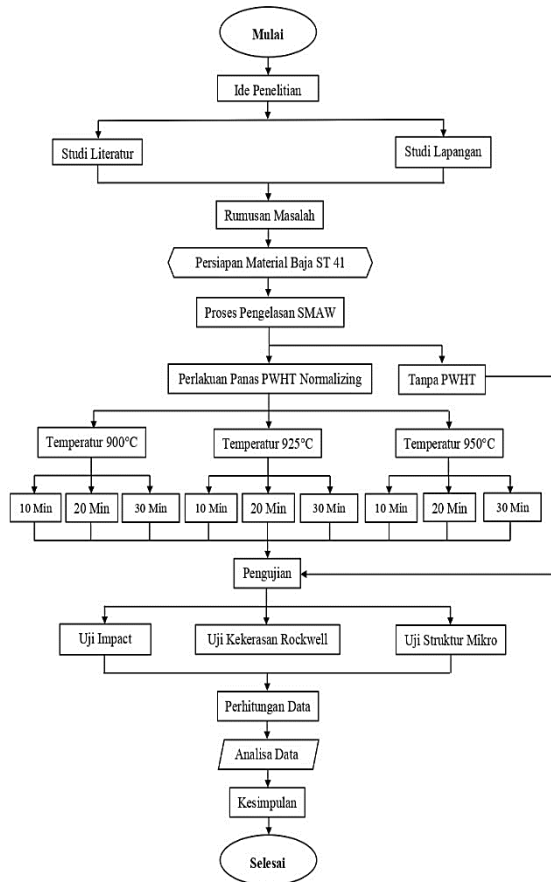


Gambar 5. Titik Perhitungan Fasa

$$\% \text{ Fasa Perlit} = \frac{\text{Jumlah titik fasa perlit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Fasa Ferit} = \frac{\text{Jumlah titik fasa ferit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\%$$

## METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 6. Skema Alur Penelitian

## PROSEDUR EKSPERIMEN

### Alat dan Bahan

#### Alat :

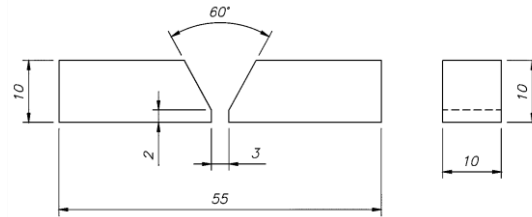
1. Mesin las SMAW
2. Mesin frais
3. Mesin gergaji
4. Dapur pemanas (furnace)
5. Alat uji impact
6. Alat uji kekerasan
7. Alat uji struktur mikro

#### Bahan :

1. Raw material baja ST 41
2. Elektroda E 7018
3. Amplas atau kertas gosok
4. Autosol
5. Cairan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ )

### Pembuatan Kampuh Las

Pengujian diawali dengan proses pemotongan material baja ST 41 yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan spesimen pengelasan kampuh V dengan sudut  $60^\circ$  menggunakan mesin frais.



Gambar 7. Dimensi Kampuh Las



Gambar 8. Kampuh V

### Proses pengelasan SMAW

Setelah proses pembuatan kampuh V, spesimen akan melalui proses pengelasan SMAW. Proses pengelasan menggunakan elektroda E 7018 dengan arus 120 A, tegangan 26 V, dan posisi pengelasan 1G.



Gambar 9. Spesimen Pengelasan

### Pembentukan Spesimen Uji

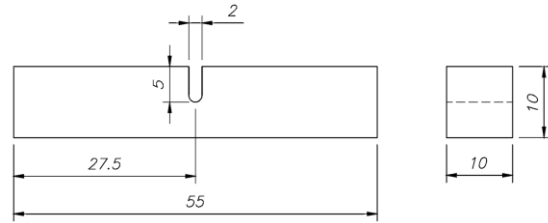
Spesimen uji dibentuk menjadi ukuran  $P = 55 \text{ mm}$ ,  $L = 10 \text{ mm}$ ,  $T = 10 \text{ mm}$ . Pembentukan spesimen uji menggunakan mesin frais. Jumlah keseluruhan spesimen pengujian adalah 60 buah. Spesimen PWHT berjumlah 54 buah dengan rincian 27 buah spesimen Uji Impact dan 27 buah spesimen Uji Kekerasan Rockwell C. Sedangkan



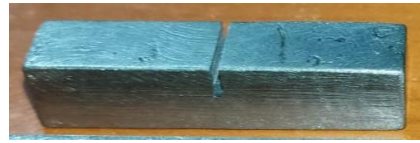
spesimen tanpa perlakuan *PWHT* berjumlah 6 buah dengan rincian 3 buah spesimen Uji Impact dan 3 buah spesimen Uji Kekerasan Rockwell C.



Gambar 10. Spesimen Hasil Pembentukan



Gambar 12. Dimensi Spesimen Uji Impact



Gambar 13. Spesimen Uji Impact

### Proses *PWHT* Normalizing

*PWHT* menggunakan variasi temperatur 900, 925, 950°C dan waktu tahan selama 10,20,30 menit. Spesimen uji dimasukkan ke dalam dapur pemanas pada temperatur yang telah ditentukan sebelumnya lalu ditahan (*holding time*), selanjutnya spesimen dikeluarkan dari dalam dapur pemanas dan didinginkan menggunakan media pendingin udara.



Gambar 11. Spesimen *PWHT*

### Pengujian Impact

Spesimen uji impact berjumlah 30 buah dengan rincian spesimen *PWHT* variasi temperatur dan *holding time* berjumlah 27 buah dan tanpa perlakuan *PWHT* berjumlah 3 buah. Uji impact menggunakan metode charpy. Benda uji ditumpu pada kedua ujungnya dan permukaan takik berlawanan dengan ayunan bandul. Pendulum ditarik dengan sudut awal 110° dan dilepaskan hingga menabrak benda uji lalu mencatat setiap nilai sudut yang diperoleh setelah pembebanan.

### Pengujian Kekerasan Rockwell C

*Rockwell hardness test* menggunakan skala C (HRC) dengan indenter penekanan berupa *diamond cone* yang memiliki sudut 120° dan beban total pengujian yaitu 150 kgf. Spesimen uji kekerasan berjumlah 30 buah dengan rincian spesimen *PWHT* variasi temperatur dan *holding time* berjumlah 27 buah dan tanpa perlakuan *PWHT* berjumlah 3 buah. Uji kekerasan difokuskan pada daerah *Weld Metal*.

### Pengujian Struktur Mikro

Uji Struktur Mikro dapat memberikan informasi berupa kandungan fasa-fasa yang terdapat pada spesimen uji. Spesimen uji struktur mikro berjumlah 10 buah diambil dari spesimen uji kekerasan yang memiliki nilai kekerasan terendah disetiap variasi pengujiannya dengan rincian 9 buah spesimen *PWHT* variasi temperatur dan *holding time* dan 1 buah spesimen tanpa perlakuan *PWHT*. Proses pengamatan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x dan fokus pengamatan pada daerah *weld metal*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

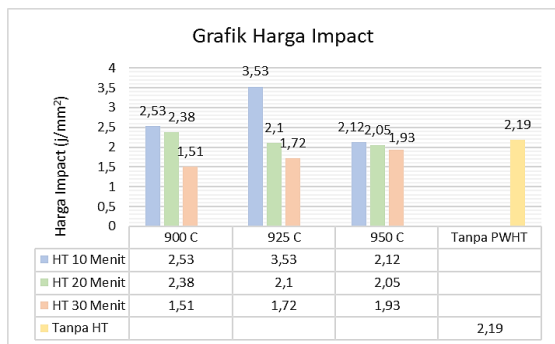
### Hasil Uji Impact

Hasil uji impact berupa Energi (Joule) dan Harga Impact (Joule/mm<sup>2</sup>). Hasil perhitungan uji impact disajikan ke dalam tabel berikut ini :

Tabel 1. Hasil Data Pengujian Impact

NO	SAMPEL PENGUJIAN	JUMLAH SAMPEL	A (mm)	sudut	sudut	w (kg)	(m)	E (j)	HI (j/mm <sup>2</sup> )	RATA RATA HARGA IMPACT	RATA RATA SAMPEL UJI
1	SAMPEL PWHT 900°C HT 10 MIN	1	50	110	71	255,6	0,75	127,98	2,56	2,53	2,14
		2	50	110	72	255,6	0,75	124,80	2,50		
		3	50	110	71,5	255,6	0,75	126,40	2,53		
	SAMPEL PWHT 900°C HT 20 MIN	1	50	110	68,5	255,6	0,75	135,82	2,72	2,38	
		2	50	110	76	255,6	0,75	111,94	2,24		
		3	50	110	77	255,6	0,75	108,69	2,17		
	SAMPEL PWHT 900°C HT 30 MIN	1	50	110	84	255,6	0,75	85,60	1,71	1,51	
		2	50	110	87	255,6	0,75	75,60	1,51		
		3	50	110	90	255,6	0,75	65,57	1,31		
2	SAMPEL PWHT 925°C HT 10 MIN	1	50	110	59	255,6	0,75	164,30	3,29	3,53	2,45
		2	50	110	63	255,6	0,75	152,60	3,05		
		3	50	110	40	255,6	0,75	212,41	4,25		
	SAMPEL PWHT 925°C HT 20 MIN	1	50	110	82	255,6	0,75	92,24	1,84	2,10	
		2	50	110	82	255,6	0,75	92,24	1,84		
		3	50	110	70	255,6	0,75	131,13	2,62		
	SAMPEL PWHT 925°C HT 30 MIN	1	50	110	86	255,6	0,75	78,94	1,58	1,72	
		2	50	110	87,5	255,6	0,75	73,93	1,48		
		3	50	110	78	255,6	0,75	105,42	2,11		
3	SAMPEL PWHT 950°C HT 10 MIN	1	50	110	78	255,6	0,75	105,42	2,11	2,12	2,03
		2	50	110	75,5	255,6	0,75	113,56	2,27		
		3	50	110	80	255,6	0,75	98,85	1,98		
	SAMPEL PWHT 950°C HT 20 MIN	1	50	110	81	255,6	0,75	95,55	1,91	2,05	
		2	50	110	85,5	255,6	0,75	80,61	1,61		
		3	50	110	70	255,6	0,75	131,13	2,62		
	SAMPEL PWHT 950°C HT 30 MIN	1	50	110	72	255,6	0,75	124,80	2,50	1,93	
		2	50	110	83	255,6	0,75	88,93	1,78		
		3	50	110	87	255,6	0,75	75,60	1,51		
4	SAMPEL TANPA PWHT	1	50	110	72	255,6	0,75	124,80	2,50	2,19	
		2	50	110	78	255,6	0,75	105,42	2,11		
		3	50	110	80	255,6	0,75	98,85	1,98		

Hasil perhitungan rata-rata harga impact disajikan ke dalam grafik untuk memudahkan analisa.



Gambar 14. Grafik Harga Impact

Dari hasil data uji impact dengan variasi temperatur dan *holding time* diatas didapatkan bahwa nilai harga impact tertinggi terdapat pada sampel uji variasi temperatur 925°C dengan waktu tahan 10 menit yaitu sebesar 3,53 j/mm<sup>2</sup>. Untuk nilai harga impact terendah berada pada sampel uji variasi temperatur 900°C dengan waktu tahan 30 menit dengan nilai 1,51 j/mm<sup>2</sup>. Sedangkan, spesimen hasil uji impact tanpa proses laku panas *PWHT* didapatkan nilai harga impact sebesar 2,19 j/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil tersebut maka sampel uji yang memiliki nilai ketangguhan tertinggi adalah pada variasi temperatur 925°C dengan

waktu tahan 10 menit yang bermakna ulet, sedangkan sampel uji dengan variasi terendah pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 30 menit bersifat getas.

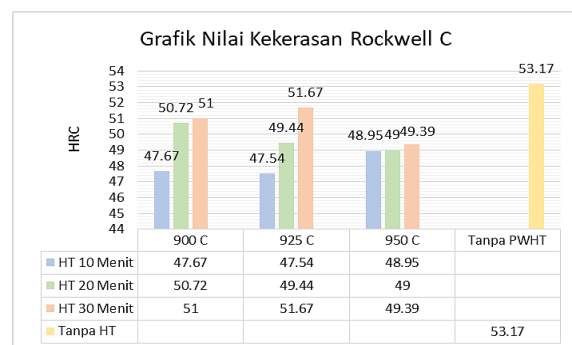
### Hasil Uji Kekerasan Rockwell C

Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 buah sampel disetiap variasi pengujian. Kemudian diambil sebanyak 3 titik pengujian pada setiap sampel yang terfokus untuk menganalisa kekerasan pada daerah logam las (*weld metal*). Hasil dari *Rockwell hardness test* disajikan ke dalam tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Data Rockwell Hardness Test

NO	Variasi Pengujian	Jumlah Titik Uji	Daerah Pengamatan	Rata Rata Nilai Kekerasan (HRC)	Rata Rata II
1	PWHT 900°C HT 10 Menit	3	Weld Metal	48	47,67
		3		48,33	
		3		46,67	
2	PWHT 900°C HT 20 Menit	3	Weld Metal	50	50,72
		3		51,83	
		3		50,33	
3	PWHT 900°C HT 30 Menit	3	Weld Metal	51	51,00
		3		50,67	
		3		51,33	
4	PWHT 925°C HT 10 Menit	3	Weld Metal	49,33	47,54
		3		48,67	
		3		44,63	
5	PWHT 925°C HT 20 Menit	3	Weld Metal	51	49,44
		3		48,5	
		3		48,83	
6	PWHT 925°C HT 30 Menit	3	Weld Metal	50,67	51,67
		3		54	
		3		50,33	
7	PWHT 950°C HT 10 Menit	3	Weld Metal	48,17	48,95
		3		50,67	
		3		48	
8	PWHT 950°C HT 20 Menit	3	Weld Metal	49	49,00
		3		48,67	
		3		49,33	
9	PWHT 950°C HT 30 Menit	3	Weld Metal	50,67	49,39
		3		48,83	
		3		48,67	
10	Tanpa Perlakuan	3	Weld Metal	51,83	53,17
		3		53,17	
		3		54,5	

Spesimen uji dengan nilai kekerasan terendah disetiap variasi pengujian ditandai dengan kolom berwarna ungu pada tabel, spesimen tersebut merupakan spesimen yang akan diuji struktur mikro. Hasil perhitungan rata-rata nilai kekerasan disajikan ke dalam grafik untuk memudahkan analisa.



Gambar 15. Nilai Kekerasan Rockwell C

Dari hasil data uji kekerasan dengan variasi temperatur pemanasan dan waktu tahan (*holding time*) diatas dapat diketahui bahwa sampel uji variasi temperatur 925°C dengan waktu tahan 10 menit memiliki nilai kekerasan terendah yaitu 47,54 HRC. Data kekerasan dengan nilai tertinggi diperoleh sebesar 51,67 HRC yaitu pada sampel uji variasi temperatur 925°C waktu tahan (*holding time*) 30 menit. Sedangkan spesimen hasil uji kekerasan tanpa proses laku panas memiliki nilai lebih tinggi sebesar 53,17 HRC jika dibandingkan dengan spesimen uji variasi temperatur dan waktu tahan.

*Hasil Uji Microstructure*

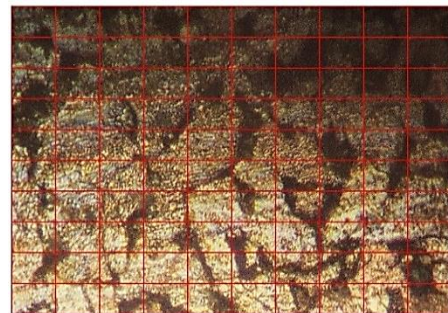
Alat mikroskop optik digunakan untuk pengamatan struktur mikro yang menggunakan perbesaran 500x. Pengamatan difokuskan di daerah logam induk (*weld metal*). Foto pengamatan struktur mikro disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Foto Pengamatan Struktur Mikro

Variasi Uji	Weld Metal		
	Waktu Tahan 10 Menit	Waktu Tahan 20 Menit	Waktu Tahan 30 Menit
900°C			
925°C			
950°C			
Tanpa PWHT			

Contoh perhitungan persentase fasa spesimen uji dengan proses laku panas *PWHT* dan spesimen uji tanpa proses laku panas *PWHT* :

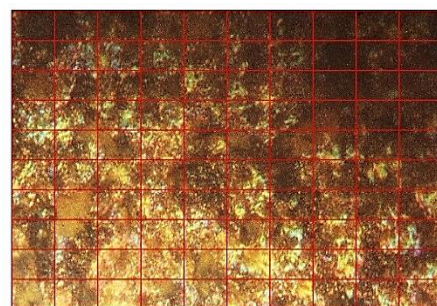
Foto struktur mikro spesimen *PWHT* variasi temperatur 925°C waktu tahan 10 menit



$$\begin{aligned} \% \text{ Fasa Perlit} &= \frac{\text{Jumlah titik fasa perlit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\% \\ &= \frac{(19 \times 1) + (32 \times \frac{1}{2})}{100} \times 100\% \\ &= 35\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Fasa Ferit} &= \frac{\text{Jumlah titik fasa ferit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\% \\ &= \frac{(49 \times 1) + (32 \times \frac{1}{2})}{100} \times 100\% \\ &= 65\% \end{aligned}$$

Foto struktur mikro spesimen tanpa perlakuan *PWHT*



$$\begin{aligned} \% \text{ Fasa Perlit} &= \frac{\text{Jumlah titik fasa perlit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\% \\ &= \frac{(69 \times 1) + (18 \times \frac{1}{2})}{100} \times 100\% \\ &= 78\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Fasa Ferit} &= \frac{\text{Jumlah titik fasa ferit}}{\text{Jumlah total titik}} \times 100\% \\ &= \frac{(13 \times 1) + (18 \times \frac{1}{2})}{100} \times 100\% \\ &= 22\% \end{aligned}$$

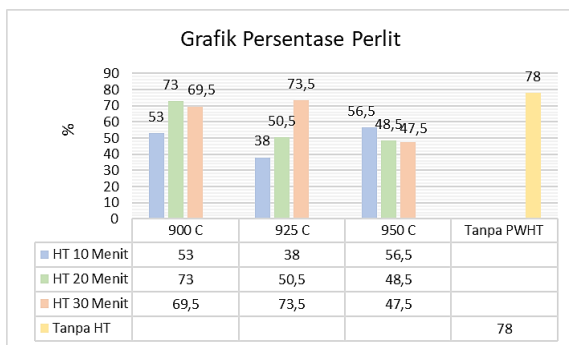


Hasil perhitungan data uji struktur mikro, dapat diamati pada tabel dibawah ini :

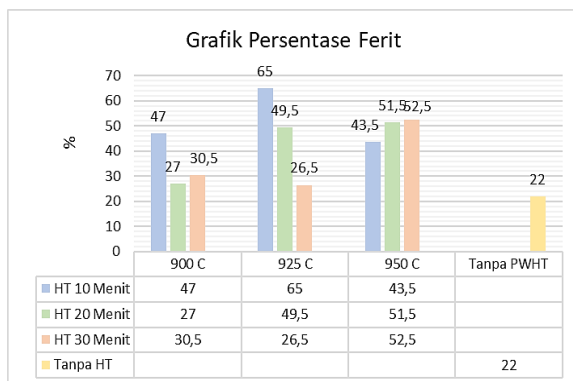
Tabel 4. Hasil Perhitungan Persentase Fasa

NO	Variasi Pengujian	Daerah Pengamatan	Titik Pengamatan Fasa			Jumlah Titik	Persentase Ferit (%)	Persentase Perlit (%)	Jumlah Persentase (%)
			1/2 Ferit-Perlit	Ferit	Perlit				
1	PWHT 900°C HT 10 Menit	Weld Metal	32	31	37	100	47	53	100
2	PWHT 900°C HT 20 Menit	Weld Metal	26	14	60	100	27	73	100
3	PWHT 900°C HT 30 Menit	Weld Metal	29	16	55	100	30,5	69,5	100
4	PWHT 925°C HT 10 Menit	Weld Metal	32	49	19	100	65	35	100
5	PWHT 925°C HT 20 Menit	Weld Metal	21	39	40	100	49,5	50,5	100
6	PWHT 925°C HT 30 Menit	Weld Metal	25	14	61	100	26,5	73,5	100
7	PWHT 950°C HT 10 Menit	Weld Metal	33	27	40	100	43,5	56,5	100
8	PWHT 950°C HT 20 Menit	Weld Metal	31	36	33	100	51,5	48,5	100
9	PWHT 950°C HT 30 Menit	Weld Metal	37	34	29	100	52,5	47,5	100
10	Tanpa Perlakuan	Weld Metal	18	13	69	100	22	78	100

Selanjutnya hasil perhitungan persentase fasa disajikan ke dalam grafik untuk memudahkan analisa.



Gambar 16. Persentase Fasa Perlit



Gambar 17. Persentase Fasa Ferit

Dari data keseluruhan uji struktur mikro diketahui spesimen uji yang memiliki persentase perlit paling dominan yaitu pada spesimen uji tanpa perlakuan PWHT dengan persentase perlit 78%. Sedangkan persentase perlit terendah yaitu spesimen uji variasi temperatur 925°C waktu tahan 10 menit

didapatkan 35%. Sedangkan nilai persentase fasa ferit berbanding terbalik dengan perlit, spesimen uji variasi temperatur 925°C waktu tahan 10 menit, memiliki persentase fasa ferit tertinggi yaitu 65% sedangkan spesimen uji tanpa perlakuan PWHT memiliki nilai persentase ferit terendah yaitu 22%.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan penulis adalah :

1. Proses *PWHT* variasi temperatur dan *holding time* berpengaruh pada sifat mekanik hasil lasan baja ST 41. Dari hasil pengujian impact dan kekerasan terdapat perbedaan harga impact dan nilai kekerasan disetiap variasi pengujian. Spesimen uji dengan proses laku panas *PWHT* memiliki harga impact lebih optimum dari spesimen tanpa proses laku panas *PWHT*. Dimana semakin tinggi harga impact menunjukkan spesimen tersebut bersifat tangguh dan cenderung ulet. Sedangkan pada uji kekerasan, spesimen tanpa *PWHT* memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dari spesimen *PWHT*. Dimana semakin tinggi nilai kekerasan menunjukkan spesimen tersebut bersifat keras namun cenderung getas.
2. Variasi temperatur dan *holding time* pada proses laku panas *PWHT* juga berpengaruh pada *microstructure* hasil lasan baja ST 41. Pada hasil pengamatan struktur mikro, semakin lama waktu tahan disetiap variasi temperatur akan cenderung meningkatkan fasa perlit, sedangkan waktu tahan yang pendek cenderung meningkatkan fasa ferit. Dimana semakin besar persentase fasa perlit membuat spesimen cenderung getas, sebaliknya semakin besar persentase fasa ferit membuat spesimen cenderung ulet.
3. Harga impact, nilai kekerasan dan struktur mikro cenderung saling berhubungan. Harga impact berbanding terbalik dengan nilai kekerasan namun berbanding lurus dengan persentase fasa ferit sedangkan nilai kekerasan berbanding lurus dengan persentase fasa perlit. Sehingga dapat

disimpulkan semakin tinggi harga impact baja ST 41 akan menurunkan nilai kekerasannya karena struktur mikro yang terbentuk dominan ferit sehingga bersifat tangguh dan ulet, namun sebaliknya semakin tinggi nilai kekerasan akan menurunkan nilai ketangguhan karena struktur mikro yang terbentuk dominan perlit maka bersifat keras namun getas.

Penulis memberikan saran bagi penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukannya uji tarik untuk menganalisa pengaruh lain terhadap sifat mekanik material dan perlu dilakukan uji NDT (*Non Destructive Test*) untuk menganalisa cacat pengelasan.

#### REFERENCES

- Amanto, H. d. (2020). *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Augustino, I. F. (2015). *Pengaruh Lama Waktu Tunggu Pada Proses Pwht Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Baja AAR M201 GR.B+*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hadi, S. (2016). *Teknologi Bahan*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Imami, T. G. (2010). Analisis Struktur Mikro Baja Tulangan Karbon Sedang. 2–7.
- International, A. (2019). Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.
- Iswanto, M. d. (2020). *Buku Ajar Teknologi Pengelasan*. Sidoarjo: UMSIDA Press.
- Manurung, V. A. (2020). *Panduan Metalografi*. Jakarta: LP2M Politeknik Manufaktur Astra.
- Musaikan. (2002). *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nasra, K. A. (2020). Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon ST 42 dengan Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding). *Actuator Jurnal Teknik Mesin*, 26-36.
- Rofiq, A. (2020). *Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Dan Arus Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Baja Komersil*. Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- Santi Deliani Rahmawati, H. S. (2020). Uji Kekerasan Vickers dan Rockwell. 3(2017), 54–67.
- Sonawan, H. d. (2006). *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: CV Alfabeta.
- Suherman, W. (2003). *Ilmu Logam I*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Wiriosumarto, H. d. (2008). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Balai Persero.